

**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TERMİK İŞLEMİN ORTA YOĞUNLUKTAKİ LİF LEVHALARIN ( MDF ) BAZI ÖZELLİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİSİ**

**H. Rasim KARA**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KASTAMONU  
2011**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Haşimet Rasim KARA tarafından hazırlanan “**Termik İşlemin Orta Yoğunluktaki Lif levhaların (MDF) Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

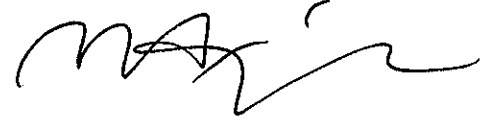
**Danışman : Doç. Dr. Saim ATEŞ**

Jüri Üyeleri :

**Doç. Dr. Saim ATEŞ**  
Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi



**Doç. Dr. Mehmet AKGÜL**  
Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi



**Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ**  
Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi



**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Doç. Dr. Ömer KÜÇÜK**  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TERMİK İŞLEMİN ORTA YOĞUNLUKTAKİ LİF LEVHALARIN ( MDF ) BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

H. Rasim KARA

Kastamonu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Saim ATEŞ

Bu çalışmada; Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) odunu lifleri kullanılarak üretilen orta yoğunlukta ki lif levhaların (MDF) bazı özellikleri (kalınlık artışı, su emme, serbest formaldehit oranı, eğilme, eğilmede elastikiyet modülü, liflere dik ve paralel çekme direnci) üzerine; levha yoğunluğu, ısı işlem sıcaklığı, ısı işlem süresi ve presleme sonrası bekletmenin etkisi araştırılmıştır.

Deneme levhaları, odun karışımı (%50-%50) halinde olmak üzere, yapıştırıcı madde olarak üre formaldehit (UF) tutkalı kullanılarak, iki farklı yoğunluk seviyesi (700, 740 kg/m<sup>3</sup>), üç farklı ısı işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), üç farklı ısı işlem süresi (2,5 saat, 3,5 saat, 4,5 saat) ve üç farklı presleme sonrası bekletme zamanları (30 dk, 120 dk, 600 dk) kullanılarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, ısı işlem sıcaklığının (155, 165, 175 °C) değişmesi ile birlikte Çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü değerleri olumsuz yönde etkilenirken, kalınlığına şişme ve su emme ile serbest formaldehit miktarlarında olumlu yönde artış gözlemlenmiştir.

Isı işlem sürelerinin (2,5, 3,5, 4,5 saat) artması ile birlikte çekme direnci değerleri olumsuz yönde etkilenirken, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, kalınlığına şişme ve su emme ile serbest formaldehit miktarlarında olumlu yönde artış gözlemlenmiştir.

Presleme sonrası bekletme zamanlarının (30, 120, 600 dk) artması ile birlikte Çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü değerleri olumsuz yönde etkilenirken, kalınlığına şişme ve su emme ve serbest formaldehit miktarlarında olumlu yönde artış gözlemlenmiştir.

Levha yoğunluklarının  $700 - 740 \text{ kg/m}^3$  olarak değişmesi ile birlikte çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, kalınlığına şişme ve su emme ile serbest formaldehit miktarlarında artan yoğunluk seviyelerinde olumlu yönde artış gözlemlenmiştir.

**2011, 116 sayfa.**

**Anahtar Kelimeler:** : Lif levha, Termik İşlem, Mekanik Özellikler, Fiziksel Özellikler, Yoğunluk

## ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECTS OF HEAT TREATMENT, ON PROPERTIES OF MEDIUM DENSITY FIBERBOARDS (MDF)

H. Rasim KARA

Kastamonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Forest Industry Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Saim ATEŞ

In this study, The Eastern Anatolian Black Pine (*Pinus nigra* var. *pallasiana*) and oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood fibers produced using a medium density fiberboard (MDF) some of the physical properties (thickness increased, water absorption, rate of release of formaldehyde) and mechanical properties (bending, bending modulus of elasticity, tensile strength fibers perpendicular and parallel) on the properties fiber board density, heat treatment and pressing after the waiting period was investigated.

Fiberboard samples, including in a 50-50 % mixture of wood, as a urea formaldehyde adhesive glue, using the two different intensity level ( $700-740 \text{ kg/m}^3$ ), three different heat treatment temperature (155, 165, 175 °C), three different heat treatment time (2.5 h, 3.5 h, 4.5 h) and three different waiting times After pressing (30 min, 120 min, 600 min) were obtained using.

As a result, the temperature of heat treatment (155, 165, 175 °C) with the alteration of tensile strength, flexural strength, flexural modulus of elasticity values negatively affected, and the thickness swelling and water absorption increase in a positive way with the observed quantities of free formaldehyde.

Thermal processing times (2.5, 3.5, 4.5 hours) with the alteration of tensile strength values are affected negatively, flexural strength, flexural modulus of elasticity,

thickness swelling and water absorption increase in a positive way with the observed quantities of free formaldehyde.

After pressing, waiting times (30, 120, 600 min) with the alteration of tensile strength, flexural strength, flexural modulus of elasticity values negatively affected, and the thickness swelling and water absorption and the amounts of free formaldehyde observed increase in the positive direction.

Fiberboard densities (700 to 740 kg/m<sup>3</sup>), together with the change of tensile strength, flexural strength, flexural modulus of elasticity, thickness swelling and water absorption with increasing density of the amounts of free formaldehyde levels observed increase in the positive direction.

**2011, 116 pages**

**Key words:** Medium Density Fiberboard, Heat Treatment, Mechanical Properties, Physical Properties, Density

## ÖNSÖZ

Yaptığım çalışmada değerli bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen ve bana her konuda yardımcı olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Saim ATEŞ' e katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim için beni teşvik eden Sayın Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ ve tez çalışmalarımdaki yardımlarından dolayı Sayın Sedat BALTACI'ya çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmamı destekleyerek bu tezin oluşmasında maddi manevi büyük katkısı ve desteği olan ve bünyesinde çalışmaktan mutluluk duyduğum S.F.C Entegre Orman Ürünleri ve Sanayii ve Ticaret A.Ş. yönetimine ve ailesine, tezimin hazırlanması sırasında desteklerini esirgemeyen başta Fabrika Müdürüm Sayın Bilal KARAKAYA ve İşletme Müdürüm Sayın Fatih ERGÜVEN'e, araştırma materyalinin elde edilmesinde ve hazırlanmasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım işletme arkadaşlarım, Sayın Faruk BALOĞLU'na, Sayın M. Erdal KARA'ya ve Sayın Kadir DOĞAN'a ayrıca işletme bünyesinde çalışan tüm çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak her zaman yanımda olan ve benden desteğini esirgemeyen eşim Arzu KARA'ya, ayrıca desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen babam Haşim KARA'ya ve annem Mahiye KARA'ya çok teşekkür ederim.

Haşim Rasim KARA

Kastamonu, Eylül 2011

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	xi
SİMGELER DİZİNİ .....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Genel Bilgiler.....	3
1.1.1 MDF'nin tanımı ve sınıflandırılması.....	3
1.1.2 MDF'nin özellikleri .....	3
1.1.3 Üretim yöntemine göre lif levhalar .....	4
1.1.3.1 Yaş yöntemle lif levha üretimi.....	4
1.1.3.2 Yarı kuru yöntemle lif levha üretimi.....	5
1.1.3.3 Kuru yöntemle lif levha üretimi.....	5
1.1.4. MDF endüstrisinde kullanılan hammaddeler.....	6
1.1.4.1. Odun veya lignoselülozik maddeler .....	6
1.1.4.1.1. Lif odunu hakkında genel bilgiler .....	7
1.1.4.2 MDF üretiminde kullanılan tutkal türleri ve kimyasallar .....	8
1.1.4.2.1 Yapıştırıcı maddeler .....	8
1.1.4.2.1.1 Termoset tutkallar.....	9
1.1.4.2.1.2 Üre formaldehid tutkalı (UF) .....	9
1.1.4.2.1.3 Fenol formaldehit tutkalı (FF).....	10
1.1.4.2.1.4 Melamin formaldehit tutkalı .....	10
1.1.4.2.1.5 Rezorsin formaldehit tutkalı.....	11
1.1.4.2.1.6 Melamin-üre formaldehit tutkalı .....	12
1.1.4.2.1.7 İzosiyanat tutkalı .....	12
1.1.4.2.1.8 Doğal tutkallar .....	12
1.1.4.2.1.9 Katkı maddeleri .....	13
1.1.4.2.1.10 Sertleştirici maddeler .....	13
1.1.4.2.1.11 Hidrofobik maddeler.....	14
1.1.5 MDF üretiminde formaldehit .....	14
1.1.5.1 Formaldehit emisyonu ve oluşumu .....	14
1.1.5.2 Serbest formaldehit azaltma yöntemleri.....	16
1.1.5.3 Günümüzde formaldehit sınırlamaları.....	16
1.1.6 Ahşap malzemede ısıt işlemleri .....	20
1.1.6.1 Isıt işleminin sınıflandırılması ve kullanım alanları.....	22
1.1.7 Lif levhada termik işlemleri.....	24
1.1.7.1 Termik işlemleri sırasındaki olayların teorik açıklaması.....	25
1.1.7.2 Termik işlemleri odalarında meydana gelen yangınların önlenmesi.....	26
1.1.7.3 Isıt işleminin levha özellikleri üzerine etkisi .....	27
1.1.7.4 Kimyasal özellikler üzerine ısıt işleminin etkisi.....	28
1.1.7.5 Fiziksel özellikler üzerine ısıt işleminin etkisi.....	30
1.1.7.6 Mekanik özellikler üzerine ısıt işleminin etkisi.....	31
1.1.7.6.1 Çekme direnci .....	33



1.1.7.6.2 Eğilme ve dinamik eğilme (Şok) direnci .....	34
1.1.7.6.3 Eğilmede elastikiyet modülü.....	35
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	36
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	42
3.1. Materyal.....	42
3.1.1 Kullanılan ağaç türleri ve özellikleri.....	42
3.1.1.1 Anadolu Karaçamı ( <i>Pinus nigra var. pallasiana</i> ).....	42
3.1.1.2 Doğu Kayını ( <i>Fagus orientalis Lipsky.</i> ).....	43
3.1.2 Levha üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeleri .....	45
3.2 Yöntem .....	47
3.2.1 Deney levhalarının üretimi .....	48
3.2.2 Deney örnekleri.....	50
3.2.3 Isıl işlem uygulaması .....	52
3.2.4 Isıl İşlem uygulama aşamaları .....	53
3.2.5 Deneylerin yapılması.....	55
3.2.5.1 Suda kalınlığına şişme (24 saat).....	55
3.2.5.2 Su emme (24 saat).....	56
3.2.5.3 Yüzeye dik yönde çekme direnci .....	57
3.2.5.4 Eğilme direnci .....	58
3.2.5.5 Eğilmede elastikiyet modülü .....	59
3.2.5.6 Yüzeye dik ve paralel yönde vida çekme direnci .....	60
3.2.5.7 Formaldehit emisyon miktarlarının ölçülmesi .....	61
3.2.6 İstatistiksel değerlendirme .....	63
4. BULGULAR .....	64
4.1 Levha Yüzeyine Dik Çekme Direncine ait Bulgular .....	64
4.2 Eğilme Direncine ait Bulgular .....	65
4.3 Eğilmede Elastikiyet Modülüne ait Bulgular .....	66
4.4 Vida Çekme Direncine ait Bulgular .....	67
4.4.1 Levha yüzeyine paralel yönde vida çekme direnci .....	67
4.4.2 Levha yüzeyine dik yönde vida çekme direnci.....	68
4.5 Kalınlığına Şişme ve Su Emme .....	69
4.6 Serbest Formaldehit Miktarı.....	71
5. TARTIŞMA.....	72
5.1 Yüzeye dik yönde çekme direnci.....	73
5.1.1 Çekme Direnci Değerlerinin İstatistiksel Analizi .....	77
5.2 Eğilme direnci.....	79
5.2.1 Eğilme Direnci Değerlerinin İstatistiksel Analizi.....	82
5.3 Elastikiyet Modülü .....	84
5.3.1 Elastikiyet Modülü Değerlerinin İstatistiksel Analizi.....	86
5.4 Levha Yüzeyine Paralel ve Dik Vida Çekme Direnci .....	88
5.4.1 Vida Çekme Değerlerinin İstatistiksel Analizi .....	92
5.5 Kalınlığına Şişme.....	95
5.5.1 Kalınlığına Şişme ve Su Emme Değerlerinin İstatistiksel Analizi .....	99
5.6 Serbest Formaldehit Miktarları.....	101
5.6.1 Serbest Formaldehit Miktarı Değerlerinin İstatistiksel Analizi.....	103
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	106
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	116

## SİMGELER DİZİNİ

$\sigma_b$	Eğilme Direnci
$\sigma_c//$	Liflere Paralel Basınç Direnci
$\alpha$	Genişleme
$\beta$	Daralma
$\mu$	Mikron
ASTM	Testler ve Materyaller için Amerikan Standardı
C	Karbon
CEC	Avrupa Topluluğu Komisyonu
Cp	Viskozite
DP	Polimerizasyon Derecesi
EN	Avrupa Standart
HDF	Yüksek Yoğunlukta Lif Levha
H	Hidrojen
IB	Çekme Direnci
ISO	Uluslar arası Standart
IET	Çevre Teknoloji Enstitüsü
İYA	İğne Yapraklı Ağaç
JIS	Japon Standart
LDN	Lif Doygunluğu Noktası
LMDF	Hafif-Düşük Yoğunlukta Lif Levha
Max.	Maksimum
MDF	Orta Yoğunlukta Lif Levha
Min.	Minimum
MF	Melamin Formaldehit
MOE	Elastikiyet Modülü
MOR	Kopma Modülü
MUF	Melamin Üre Formaldehit
N	Azot
O	Oksijen
OSB	Yönlendirilmiş Yonga Levha
PF	Fenol Formaldehit
PVAC	Polivinilasetat
S	Standart Sapma
SMDF	Normal MDF
TS	Türk Standardı
UF	Üre Formaldehit
YA	Yapraklı Ağaç
ULMDF	Çok Hafif Lif Levha
VTT	Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi
$\bar{X}$	Aritmetik Ortalama
WHO	Dünya Sağlık Organizasyonu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Yaş Yöntemde lif levha üretim metotları .....	5
Şekil 1.2 Isıl işlemin ağaç malzemeye kazandırdığı başlıca özellikleri.....	22
Şekil 3.1 Isıl İşlem Fırını.....	52
Şekil 3.2 Fırın içi ızgara ve çıtaların durumu .....	53
Şekil 3.3 Fırın içi dijital sıcaklık göstergesi.....	53
Şekil 3.4 Isıl İşlem uygulanacak deney örnekleri ve dizilişi.....	54
Şekil 3.5 Fırın içersinde deney örneklerinin konumu.....	54
Şekil 3.6 24 saat kalınlığına şişme ve su emme test cihazı.....	56
Şekil 3.7 Yüzeye dik yönde çekme direnci testi.....	58
Şekil 3.8 Eğilme direnci testi .....	59
Şekil 3.9 Yüzeye paralel vida çekme .....	61
Şekil 3.10 Yüzeye dik vida çekme .....	61
Şekil 3.11 Perforatör testi için kesilen küp şeklindeki parçalar .....	62
Şekil 3.12 Formaldehit Emisyon Ölçümü için Perforatör test cihazı .....	62
Şekil 5.1 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Çekme Direnci değerleri.....	73
Şekil 5.2 Isıl İşlem Sürelerine Göre Çekme Direnci değerleri.....	74
Şekil 5.3 Bekletme Sürelerine Göre Çekme Direnci değerleri .....	75
Şekil 5.4 Levha Yoğunluklarına Göre Çekme Direnci değerleri .....	76
Şekil 5.5 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Eğilme Direnci değerleri .....	79
Şekil 5.6 Isıl İşlem Sürelerine Göre Eğilme Direnci değerleri.....	80
Şekil 5.7 Bekletme Sürelerine Göre Eğilme Direnci değerleri .....	80
Şekil 5.8 Levha Yoğunluklarına Göre Eğilme Direnci değerleri.....	81
Şekil 5.9 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Elastikiyet Modülü değerleri .....	84
Şekil 5.10 Isıl İşlem Sürelerine Göre Elastikiyet Modülü değerleri.....	85
Şekil 5.11 Bekletme Sürelerine Göre Elastikiyet Modülü değerleri .....	85
Şekil 5.12 Levha Yoğunluklarına Göre Elastikiyet Modülü değerleri .....	85
Şekil 5.13 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Yüzeye Paralel Vida Çekme değerleri .....	88
Şekil 5.14 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Yüzeye Dik Vida Çekme değerleri.....	88
Şekil 5.15 Isıl İşlem Sürelerine Göre Yüzeye Paralel Vida Çekme değerleri.....	89
Şekil 5.16 Isıl İşlem Sürelerine Göre Yüzeye Dik Vida Çekme değerleri.....	89
Şekil 5.17 Bekletmeye Göre Yüzeye Paralel Vida Çekme değerleri .....	90
Şekil 5.18 Bekletmeye Göre Yüzeye Dik Vida Çekme değerleri .....	90
Şekil 5.19 Levha Yoğunluklarına Göre Yüzeye Paralel Vida Çekme değerleri.....	91
Şekil 5.20 Levha Yoğunluklarına Göre Yüzeye Dik Vida Çekme değerleri.....	91
Şekil 5.21 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Kalınlığına Şişme değerleri.....	95
Şekil 5.22 Isıl İşlem Sürelerine Göre Kalınlığına Şişme değerleri.....	96
Şekil 5.23 Bekletme için Göre Kalınlığına Şişme değerleri .....	96
Şekil 5.24 Levha Yoğunluklarına Göre Kalınlığına Şişme değerleri .....	97
Şekil 5.25 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Formaldehit Miktarları .....	101
Şekil 5.26 Isıl İşlem Sürelerine Göre Formaldehit Miktarları.....	102
Şekil 5.27 Levha Yoğunluklarına Göre Formaldehit Miktarları.....	102

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Özgül ağırlıklarına göre MDF'nin sınıflandırılması.....	3
Çizelge 1.2 MDF üretiminde kullanılan hammaddelerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	4
Çizelge 1.3 Yapıştırıcı Miktarları .....	8
Çizelge 1.4 Formaldehit Test Metotları ve Standartlar .....	15
Çizelge 1.5 Formaldehit Emisyonlarına göre Sınıflandırma.....	17
Çizelge 1.6 Avrupa, Avustralya, Amerika ve Japonya için odun esaslı panellerin Formaldehit Emisyon Standartları .....	19
Çizelge 1.7 İYA ve YA'ların ısıtma işlem sınıflarına göre kullanım yerleri.....	23
Çizelge 1.8 Optimum Sertleşme Süreleri.....	24
Çizelge 3.1 Karaçam Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	43
Çizelge 3.2 Doğu kayını odunu anatomik elemanların diri odundaki oranları .....	44
Çizelge 3.3 Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	45
Çizelge 3.4 Üretimde kullanılan kimyasalların spesifik değerleri .....	46
Çizelge 3.5 Deney levhalarının üretim değerleri .....	48
Çizelge 3.6 Deney Levhalarının Hazırlanışı ve Uygulama Planı .....	50
Çizelge 3.7 Fiziksel ve mekanik özellikler için deney numunelerinin seçimi .....	51
Çizelge 3.8 Deneme levhalarında yapılacak deneylerin adları, numune boyutları, adetleri ve uygulanan standartlar .....	52
Çizelge 4.1 Çekme Direnci Değerleri .....	64
Çizelge 4.2 Eğilme Direnci Değerleri.....	65
Çizelge 4.3 Elastikiyet Modülü Değerleri.....	66
Çizelge 4.4 Levha Yüzeyine Paralel Vida Çekme Direnci Değerleri.....	67
Çizelge 4.5 Levha Yüzeyine Dik Vida Çekme Direnci Değerleri .....	68
Çizelge 4.6 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme değerleri.....	69
Çizelge 4.7 24 saat suda bekletme sonrası su emme değerleri .....	70
Çizelge 4.8 Serbest Formaldehit Miktarları .....	71
Çizelge 5.1 Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası Bekletmeye göre Çekme direncine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	77
Çizelge 5.2 Çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi.....	78
Çizelge 5.3 Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası Bekletmeye göre Eğilme direncine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	82
Çizelge 5.4 Eğilme direnci sonuçlarına ait Duncan testi .....	83
Çizelge 5.5 Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, süresi ve presleme sonrası bekletmeye göre Elastikiyet Modülüne ilişkin varyans analizi sonuçları .....	86
Çizelge 5.6 Elastikiyet modülü sonuçlarına ait Duncan testi.....	87
Çizelge 5.7 Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası bekletmeye göre Vida çekmelere ilişkin varyans analizi sonuçları .....	92
Çizelge 5.8 Levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme sonuçlarına ait Duncan testi	93
Çizelge 5.9 Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası bekletmeye göre Kalınlığına şişme ve Su Emme sonuçlarına ilişkin varyans analizi sonuçları .....	99
Çizelge 5.10 Kalınlığına şişme sonuçlarına ait Duncan testi .....	100
Çizelge 5.11 Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı ve ısıtma işlem süresinin sonuçlarına ilişkin varyans analizi sonuçları .....	103
Çizelge 5.12 Serbest formaldehit miktarlarına ait Duncan testi .....	104
Çizelge 6.1 Isıtma işlem sıcaklıkları, süreleri, bekletme zamanları ve levha yoğunluklarına göre elde edilen deney levhalarının optimum sonuçları .....	106

## 1. GİRİŞ

Yüzyıllardır odunun yüzeyinin ısıyla muamelesi, odunun dış ortamda kullanımında daha fazla direnç sağladığını göstermiştir. Vikingler çit gibi dış ortamda kullanılan ahşap materyalleri bu metot yardımıyla korumuşlardır. Odunun yüksek sıcaklıklarla muamele edilmesi bilimsel olarak ilk defa Almanya'da 1930'lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafından yapılmıştır. 1940'lı yıllarda Amerika'da White ve 1950'li yıllarda Almanya'da Bavendam, Rundel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman ve Schnoider 1960'lı yıllarda buldukları bilgileri yayınlamışlar ve bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır. Rusche ve Burmester 1970'li yıllarda bu tip bilimsel araştırmalarla ilgilenmişlerdir. Son yıllarda bu çalışmalar özellikle 1990'lı yıllardan sonra Finlandiya, Fransa ve Hollanda'da bilim adamları tarafından çalışılmaya başlanmıştır. Çoğu önemli teorik ve bilimsel çalışmalar Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi tarafından yapılmıştır. Uygulama ile ilgili araştırmalar Çevre Teknoloji Enstitüsünde devam etmektedir.

Ağaç malzemenin yapısından kaynaklanan bir takım olumlu ve olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Ağaç malzemenin olumlu özellikleri arasında hücre yapısı ve kimyasal yapısı nedeniyle yoğunluğuna oranla direncinin çok yüksek olması, metal konstrüksiyonlarla karşılaştırıldığında sıcaklık değişimlerine karşı çok az boyutsal değişme göstermesi (Güller ve Korkut 2006), kolay işlenmesi, ısı ve sese karşı iyi bir yalıtıcı olması, renk ve estetik özellikleri, çelik ve betonla karşılaştırıldığında çok yüksek yorulma direncine sahip olması sayılabilir (Akgün 2008).

Higroskopik bir madde olan ağaç malzeme, ortamın bağıl nemi ve sıcaklığına bağlı olarak su alıp vererek çalışmaktadır. Anizotropik yapıda olması ağaç malzemenin farklı yönlerde farklı çalışmasına neden olur (Kollmann and Cote 1968). İstenmeyen bu çalışma özelliğini azaltmak ve boyutsal stabilizasyonu sağlamak amacıyla ağaç malzeme çeşitli işlemlere tabi tutulur. Nem içeriğinin odunun biyolojik direnci üzerinde de önemli bir etkisi vardır. Bu yüzden mantar ve bakterilerden ahşap materyali korumak amacıyla emprenye çok sık kullanılan bir yoldur. Emprenye metodunun dezavantajı ise toksik maddelerin kullanılmasıdır. Bu nedenle biyolojik degradasyon ve boyutsal stabilizasyona karşı ağaç malzemelerin çevreyle dost bir

şekilde korunmasını sağlayan yöntemler araştırılmaya başlanmıştır (Aydemir 2007). Bu yöntemlerin başında da ısıl işlem gelmektedir.

MDF ürünleri en fazla formaldehit yayan ürünlerdir. Yapılan deneylerde formaldehit ve uçucu organik bileşiklerin MDF'den yapılan büro mobilyalarından aylarca yayılabildiği belirlenmiştir. Mobilyalardan ortalama formaldehit yayılımı, ortam sıcaklığı ve nemin artması ile artış göstermektedir. Formaldehitin insanları farklı şekillerde etkilediği, bazı insanlar fazla rahatsızlık duymazken, bazılarının ise düşük düzeyde formaldehitten bile ciddi şekilde etkilenmesi söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, formaldehitin kendisi ya da diğer kimyasallarla hazırlanan bileşikleri mobilya imalatında; boyalarda ve kaplamalarda koruyucu olarak, döşemeler ve perdelerle kalıcı şekil verilmesi amacıyla zıncı ve yapıştırıcıların bileşeni olarak kullanılmaktadır. Evlerde tipik formaldehit kaynakları üretilen formaldehit tutkalı ile üretilen levha ürünleridir (Aksakal vd. 2005).

Bu çalışmada, üretilen MDF levhalarının üretimden sonra farklı koşullarda ısıl işleme tabi tutularak kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip, fiziksel özellikleri iyileşmiş, düşük formaldehit içeriğinde levhalar üretilmesi için gerekli optimum koşulları belirlemek amaçlanmıştır.

## 1.1 Genel Bilgiler

### 1.1.1 MDF'nin tanımı ve sınıflandırılması

Lif levha; bitkisel lif ve lif demetlerinin doğal yapışma ve keçeleşme özelliklerinden yararlanılarak veya ilave yapıştırıcı madde kullanılarak oluşturulan levha taslağının kurutulması ve preslenmesi sonucu elde edilen bir üründür (Eroğlu ve Usta 2000).

Lif levhalar yoğunluk derecelerine göre ayrılmaktadırlar. Çizelge 1.1'de lif levhaların Özgül ağırlıklarına göre sınıflandırılması verilmiştir.

**Çizelge 1.1** Özgül ağırlıklarına göre MDF'nin sınıflandırılması (Eroğlu 1988)

İsim	Açıklama	Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>
ULMDF	Ultra Light Medium Density Fiberboard (Çok Hafif Lif Levha)	0,45–0,55
LMDF	Light Medium Density Fiberboard (Düşük Yoğunlukta Lif Levha)	0,55–0,65
SMDF	Standart Medium Density Fiberboard (Normal Lif Levha)	0,65–0,80
HDF	High Density Fiberboard (Yüksek Yoğunlukta Lif Levha)	0,8–1,1

### 1.1.2 MDF'nin özellikleri

- Doğal odun özelliğinde olup daha homojen bir yapıya sahiptir.
- Levha yüzeyleri yüzey işlemleri için daha uygundur.
- Yonga levha ve odundan üretilen diğer levhalara göre daha düşük kaliteli odunlardan üretilebilmektedirler.
- Rutubete karşı dayanıklı olup, kolay kesilip, çivilenip vidalanabilir.
- Fiziksel özellikleri çok yüksektir
- Levha da sağlamlık her yönde aynı olduğundan doğal oduna oranla daha geniş kullanım imkânı sağlar.
- Büyük boyutlu malzemedir (Eroğlu 1988).

MDF üretiminde kullanılan hammaddelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ait bilgiler Çizelge 1.2’de verilmiştir.

**Çizelge 1.2** MDF üretiminde kullanılan hammaddelerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Eroğlu 1988)

Odun lifi	% 82
UF tutkalı	% 10 – 11
Parafin (wax)	% 0,5–1
Rutubet	% 6–8
Kalınlık	2–30 mm
Yoğunluk	650 – 800 kg/m <sup>3</sup>
Eğilme direnci	20 – 40 N/mm <sup>2</sup>
Elastikiyet modülü	2000–2200 N/mm <sup>2</sup>
Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci	0,70 N/mm <sup>2</sup>
Boyuna Yönde Genişleme	% 0,2–0,3
Boyuna Yönde Daralma	% 0,4

### 1.1.3 Üretim yöntemine göre lif levhalar

Üretim yöntemlerine göre lif levhalar 3’e ayrılmaktadır (Eroğlu 1988 ).

- Yaş yöntem
- Yarı kuru yöntem
- Kuru yöntem

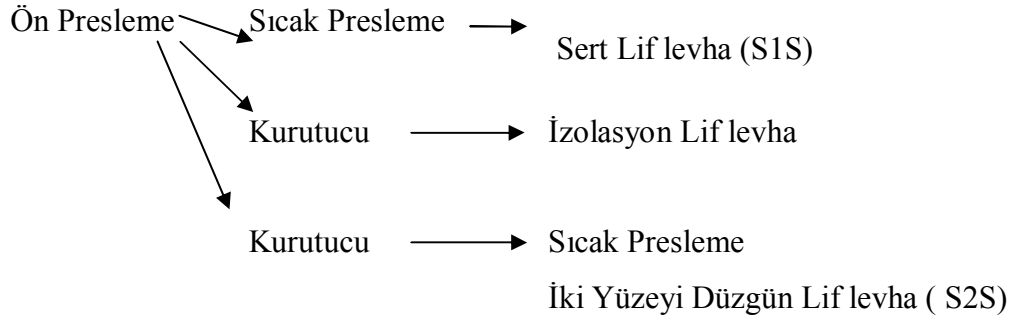
#### 1.1.3.1 Yaş yöntemle lif levha üretimi

Yaş yöntemde levha taslağı, tutkal ve diğer katkı maddeleri de katılarak ön preslemeye taşınması sulu bir sistemde yapılmaktadır. Bu durumdaki taslağın rutubeti % 100’den daha fazladır. Yaş yöntemde yapışmayı yani levha oluşumunu esas itibarıyla orta lameldeki lignin sağladığı için, ligno-selülozik madde oranı % 90 ve üzerindedir. Ancak levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini artırmak



amacıyla isteğe bağlı olarak % 1-3 oranında Fenol Formaldehit tutkalı kullanılabilir. Rutubete karşı hidrofobik madde kullanımı ise % 1-2 oranındadır (Eroğlu 1988).

Yaş yöntemle değişik tipte lif levha üretim yöntemleri Şekil 1.1’de verilmiştir (Suchland ve Woodsen 1991). Levha taslağı sıcak prese girmeden direkt olarak kurutma hattından geçirildiğinde izolasyon lif levhalar elde edilmektedir.



**Şekil 1.1** Yaş Yöntemde lif levha üretim metotları (Suchland ve Woodsen 1991).

### 1.1.3.2 Yarı kuru yöntemle lif levha üretimi

Bu yöntemde levha taslağının oluşturulmasında hava ve mekanik araçlar kullanılmakta olup, oluşan taslağın rutubeti % 12–45 arasındadır. % 1–4,5 oranlarda yapıştırıcı madde kullanılmaktadır (Eroğlu 1988).

### 1.1.3.3 Kuru yöntemle lif levha üretimi

Bu yöntemde rutubet oranı % 5–10 arasındadır. Elde edilen liflerin rutubetinin uzaklaştırılması için özel olarak kurutmaya tabii tutulur. % 8–11 oranındaki tutkal karışımından meydana gelen levha taslağı sıcak preslemeyle levha elde edilir. Orta sert lif levhalar hem kuru hem de yaş yöntemle üretilebilir. Doğal olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninin oluşturduğu bağlar bulunmadığından % 8–11 oranında yapıştırıcı kullanılır. Yapıştırıcı madde olarak genellikle üre formaldehit kullanılır. Özgül ağırlıkları 600–850 kg/m<sup>3</sup> olup, genellikle 1,5–40 mm hatta 60 mm kalınlığında üretim yapılabilir (Eroğlu 1988).

#### **1.1.4. MDF endüstrisinde kullanılan hammaddeler**

MDF üretiminde hammadde olarak odun veya lignoselülozik lifli maddeler ve kimyasal maddeler (tutkal + sertleştirici + parafin + özel kimyasallar) kullanılır. MDF' de en önemli hammaddeyi odun oluşturur. Kuru yöntemle üretilen MDF' nin bileşimi aşağıdaki gibidir;

- % 80 – 90 odun ve diğer lignoselülozik maddeler,
- % 10–13 kimyasallar,
- % 7–10 arasında rutubet içeriğinden oluşur.

##### **1.1.4.1. Odun veya lignoselülozik maddeler**

MDF üretiminde kullanılan ağaç cinsleri geniş sınırlar içinde bulunmaktadır. MDF üretiminde yıllık bitkiler kullanılmaktadır. Bu yıllık bitkiler; şekerkamışı, buğday sapları v.b yeterli lif uzunluğuna sahip, yıllık bitkileri dünyanın bazı fabrikalarında, MDF üretiminde kullanılmaktadır. MDF üretiminde odun kalitesi, dolgun gövde, düzgün liflilik, boy, çap, budak v.b. gibi özellikler pek önemli değildir. YA ile İYA' ların büyük bir kısmı kullanılmaktadır (Eroğlu 1998).

MDF üretiminde odun malzemesinin orta yoğunlukta, fazla budak ihtiva etmeyen, reçine ve tanen gibi ekstraktif madde oranı yüksek olmayan, PH değeri 4 – 5 civarında, rutubeti % 40 – 60 olan, kabuk oranı % 15 – 20 geçmeyen kısmen mantarlaşmaya başlamış her türlü hammadde kullanılabilir. TS 1351 (1974)' e göre lif levha üretiminde kabuk ve budak konusunda sınırlama yok iken budaklar yongalama makinesini kısa zamanda köreltmekte ve kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Kabuk oranı % 20'yi geçer ise levhanın fiziksel ve mekaniksel özelliklerini, yüzey görünümünü ve kalitesini düşürmektedir. Tutkal sarfiyatını artırmakla kum ve ufak taş parçaları defibratör segmentlerini aşındırmakta ve pişirme kazanında çok önemli olan hacmi kaplayarak ısı ve buhar enerjisi kayıplarına neden olmaktadır. Bu yüzden, fiziksel ve mekanik özellikleri yüksek kaliteli MDF için kabukları soyulmuş odun malzemesi kullanılır (Eroğlu 1998).

MDF üretiminde odunun yoğunluğu  $0,35 - 0,75 \text{ gr/cm}^3$ , PH 4,5–6 arasında olan ağaç türleri tercih edilmektedir. Asiditesi yüksek olan kestane ağacı yongaları pişirme kazanına PH değeri biraz daha yüksek olan kayın, kavak yongaları ile birlikte verilmemelidir. Pişirme süreleri farklı olması gerektiğinden liflerin PH değeri de farklı olacaktır. Özellikle sıcak presleme esnasında problemlerin oluşumuna neden olmaktadır. Asıl olan tek tip yâda birbirine yakın ağaç türleriyle çalışmaktır.

Lif levha endüstrisinde kullanılan odunların lif boyutları liflerin keçeleşmesi yeteneği açısından büyük önem arz etmektedir. Y.A. lif boyu  $0,8 - 2 \text{ mm}$  hücrelerden oluşurken, İYA  $3 - 7 \text{ mm}$  lif uzunluğuna sahiptir. Lif levha endüstrisinde uzun lifli odunlar kısa lifli odunlardan daha fazla tercih edilir. Bilindiği gibi lif levha üretiminde keçeleşmenin iyi olması için iğne yapraklı ağaçlar ( $\%70 \text{ İYA} + \%30 \text{ YA}$ ) tercih edilmektedir. Bu karışımdan elde edilen levhanın fiziksel ve mekanik özellikler yüksek olmaktadır. Kuru yöntemle MDF üretimi esnasında tutkal olarak termoset(sıcakta katılaşan) tutkallar kullanılmakta, böylece kısa lifli yapraklı ağaçlarda büyük oranda üretimde değerlendirilmektedir (Eroğlu 1988).

#### **1.1.4.1.1. Lif odunu hakkında genel bilgiler**

Herhangi bir ağacın lif üretiminde verim durumunu gösteren faktörler;

- Ağaç türü,
- Yetiştirme yerinin coğrafi durumu,
- Yetiştirmeye etkisi bulunan meşçere şartları (yükselti, toprak ve iklim),
- Meşçere tipi (bakir orman, koru, dikim veya sürgünden yetiştirme),
- Tomruğun kesildiği ağaç kısmı (gövde, kütük, tepe, dal),
- Odunun durumu (çürüklük, mantar veya yangın etkisinde kalmış olması),
- Hammadde tipi (kabuklu, kabuksuz, yuvarlak veya yarma odun, budaklı tomruk veya endüstri atığı gibi),
- Anormal oluşumlar (lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu v.b) (Tank 1980).

Yongalama esnasında enerji sarfiyatını ve bıçakların körelmesini en aza indirmek için  $\%40$  üzerindeki rutubette çalışılmalıdır. Odunun rutubeti LDN altında

olmamalıdır. Kuru odunların yongalanmasında toz miktarının artması ile elek artığı da artarak odun sarfinı artırdığı dolayısı ile lif kalitesinin değeri düşmekte ve enerji tüketimini de artırmaktadır.

#### **1.1.4.2 MDF üretiminde kullanılan tutkal türleri ve kimyasallar**

##### **1.1.4.2.1 Yapıştırıcı maddeler**

Lif levhanın mekanik özelliklerini artırmak ve su alma kabiliyetini azaltmak için fenol, kresol, melamin ve üre esaslı bazı yapay reçineler kullanılmaktadır. Kuru yöntemde lif levha üretiminde yaygın olarak üre formaldehit reçinesi kullanılmaktadır. Yaş yöntemle lif levha üretimi, yapıştırıcı madde kullanılmaksızın olabirse de genellikle hidrofobik maddelerle birlikte az miktarda (% 1–3) yapıştırıcı madde kullanılır. Kuru yöntemde sulu ortam olmadığından lifler arasındaki bağlantıyı sonradan ilave olarak kullanılan tutkallar sağlar. Yonga levha üretim teknolojisine benzer bir durum olup genellikle % 9–11 oranında yapıştırıcı madde kullanılır. Yalıtım levhalarda yapıştırıcı kullanılmaz. Sentetik tutkallar bir katalizör veya ısı yardımıyla belirli bir sürede katı, yanmaz ve çözünmez bir duruma gelir. Sertleşme sonrası geri dönüşümü olmaz. Tanen ve sülfite atık sularından uygun tutkallar üretmek mümkündür.

Yöntemler ve levha türüne bağlı olarak kullanılan yapıştırıcı miktarlarını Çizelge 1.3'de ki gibi özetleyebiliriz (Eroğlu 1988).

**Çizelge 1.3** Yapıştırıcı Miktarları (Eroğlu 1988).

<b>Levha Türü</b>	<b>Uygulanan Metod</b>	<b>Kullanılan Yapıştırıcı Oranı</b>
İzalsasyon Levha	Yaş	% 0 – 1,0
Sert Lif levha	Yaş	% 0,75 – 1,5
Sert Lif levha	Yarı Kuru	% 1 – 4,5
Sert Lif levha	Kuru	% 8 – 11
MDF	Kuru	% 9 – 11
Yonga Levha	Kuru	% 6 – 10

#### 1.1.4.2.1.1 Termoset tutkallar

Termosetler çapraz-bağ yapıya sahip olup ısı yoluyla katılaştıran polimerlerdir. Bunlar genellikle sentetik tutkallar olarak bilinirler. Termosetler, katalizör veya ısı etkisiyle katılaşırlar ve bozunmadan tekrar sıvılaştırılmaları ya da yumuşatılmaları imkânsızdır. Termoplastikler doğrusal veya dallanmış yapıya sahip olan, ısıtılarak yumuşatılıp soğutularak katılaştırılabilen polimerlerdir. Bu özellikleri dolayısıyla yeniden kullanılabilme özelliğine sahiptirler (Korucu ve Mengeloğlu 2007).

Orman endüstrisinde kullanılan termoset tutkallar genellikle;

- Üre Formaldehit (UF),
- Fenol Formaldehit (FF),
- Melamin Formaldehit,
- Resorsin Formaldehit,
- Melamin-üre Formaldehit
- İzosiyanat tutkallarıdır.

#### 1.1.4.2.1.2 Üre formaldehid tutkalı (UF)

ÜF tutkalı düşük maliyeti, yanmayan, kısa sertleşme süresi ve şeffaf renkli olması nedeniyle özellikle iç uygulamalarda kullanılan kontraplak ve yonga levha endüstrisinde tercih edilen, suya dayanıksız bir tutkaldır (Frihart 2005).

Daha önceleri ürenin formaldehite mol oranı 1, 1.5-2 iken, günümüzde bu oran 1, 1.25-1.15'e kadar düşürülmüştür. Formaldehit oranının azaltılması, serbest formaldehit ayrışmasını düşürmekte fakat sertleşme süresinin uzamasına neden olmaktadır. Amaca uygun olarak alkali ortamda başlatılan kondenzasyon reaksiyonu ile Monometilol-Üre, daha sonra dimetilol üreye dönüşmektedir (Alvur 2001).

Üre formaldehit, üre ile formaldehitin polikondenzasyonu sonucu oluşan bir amin reçinesidir. Üre formaldehitin temel bileşenleri, üre ve formaldehittir.  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  içerisinde basınç ve sıcaklık etkisinde karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ve amonyum'un

(NH<sub>3</sub>) sentezidir. Hem Amonyum hem de karbondioksit doğal gazlardan üretilir. Üre, boncuk şeklinde kristalimsi bir yapıdadır. Formaldehit, metanol (CH<sub>3</sub>OH) için demetan (CH<sub>4</sub>) ve oksijen'den (O) sentez edilir. Metan, oksijen ve ham petrolden elde edilir. Metanol bir katalizör yardımıyla HCHO ve H<sub>2</sub>'den formaldehit'e dönüşür. Formaldehit renksiz bir gazdır (Uysal 2005).

Sıcak preslemede sertleştirici madde olarak Amonyum klorür (NH<sub>4</sub>Cl) veya Amonyum sülfat kullanılır. Üre formaldehit piyasada % 55 lik veya % 65 lik sıvı halde ya da toz olarak satılmaktadır. Toz halde olanı, depoda 1 yıl bozulmadan saklanabildiği halde sıvı haldeki tutkal birkaç ay dayanabilir. Ancak piyasada sıvı halde bulunmaktadır. Sulu haldeki katı madde miktarı genellikle % 65'tir. Viskozite tutkalmın kullanım amacına göre 200-300 (cp)'dir. Presleme süresi ise kullanılan katalizörün tepkisi, presleme sıcaklığı ve levha kalınlığına bağlıdır (Güler 2001).

#### **1.1.4.2.1.3 Fenol formaldehit tutkalı (FF)**

Fenol formaldehitin (FF) temel bileşenleri, fenol ve formaldehittir. Fenol ham petrolden elde edilir. Fenol'ün temel bileşenleri toluen ve benzendir. Toluen, benzoik asitten dönüştürülür, benzen ise propilen ve cumen'in karışımıdır. Benzoik asit ile birlikte fenölü oluşturur. Fenol ve formaldehit, FF reçinesi içinde bir karıştırıcı yardımıyla birleştirilir. Bu sıvı, kokusuz, koyu kahverengi ve kesinlikle yanmazdır. İşlem esnasında FF reçinesi, üre formaldehit reçinesi gibi bağlarını güçlendirmiş ve polimerize edilmiştir. FF çözeltisi, fenol ve formaldehitin 2,2 mol oranlarında formaldehitin çoğu FF yapısı içinde üç boyutlu kuvvetli bağlar ile sürekli bir şekilde yapıştırılır. Serbest formaldehit, üre formaldehitin pres esnasında bırakılması gibi, aynı şekilde pres esnasında bırakılır (Uysal 2005).

#### **1.1.4.2.1.4 Melamin formaldehit tutkalı**

Pahalı bir tutkal olduğu için genellikle ÜF tutkalına ilave edilerek kullanılır. Sulu çözeltinin dayanma süresi çok kısa olduğu için toz halinde satılır. Genellikle tabakalı

ağaç malzeme üretiminde ve yüzeylerin kaplanmasında ve film tutkallarının üretiminde kullanılır (Özen 1981).

Melamin formaldehit tutkalı, melaminin formaldehit ile kondenzasyonu sonucu elde olunmaktadır. Melamin formaldehit üretiminde; reaksiyon pH'ı 5-6 ortamında, 1 mol melaminin 6 mol formaldehit ile karıştırılmasıyla başlar. Bu tutkal 90–140°C sıcaklıklarda herhangi bir sertleştirici madde ilave edilmeksizin sertleşebilmektedir. Melaminin suda üreden daha az çözünmesi nedeniyle hidrofobik aşama melamin formaldehit reçineler oluşumunda üre formaldehit reçinelerinin kondenzasyonundan daha hızlı ortaya çıkar. Böylece, melamin formaldehit kondenzasyonun hidrofobik ara ürünleri reaksiyonun başlangıç evrelerinde görülmektedir (Fidan 2005).

Melamin formaldehit tutkalı, ÜF tutkalına benzemekle birlikte bazı avantajlı yanları vardır. Bu avantajlar;

- Suya karşı daha dirençlidir,
- Isı stabilitesi daha yüksektir,
- Düşük sıcaklıklarda ve sertleştiricisiz kullanılabilir (Huş 1977).

#### **1.1.4.2.1.5 Rezorsin formaldehit tutkalı**

Resorsin formaldehit tutkalı, hem tekstil ve seramik malzemelerin yapıştırılmasında ve yüksek frekanslı yapıştırımlar için uygundur. Resorsin formaldehit sıvı halde olup kırmızımsıgüveni renktedir. % 50–60 katı madde ihtiva eden sıvı halde piyasada bulunur. 20 °C sıcaklıkta 9–12 ay depolanabilir. Resorsin reçinesi +20 °C' de, 3–6 saatlik bir süre içerisinde sertleşir ve yapışma özelliğini kazanır (Güler 2001).

Rezorsin, fenole kıyasla iki kat daha aktiftir. Bu nedenle formaldehite karşı çok düşük sıcaklıklarda dahi reaksiyon gösterir. Kondenzasyon, oda sıcaklığında ve nötr ortamda son safhaya kadar devam eder. Sadece çözeltide formaldehit fazlalığı olmalıdır. Bu nedenle malzemeye zarar vermeden soğuk yapışma mümkün olur ki bu özelliği ile FF tutkalından üstündür. Soğuk yapıştırma yapabilmek için çözeltilinin pH değerinin çok fazla düşürülmesi zorunludur (Kalaycıoğlu 1991).

#### **1.1.4.2.1.6 Melamin-üre formaldehit tutkalı**

Bu tutkal, toz veya çözelti halindeki üre ile melamin formaldehitin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Piyasada genellikle toz halinde bulunur ve su ve dış hava şartları ile rutubetli iç mekân şartlarına karşı dirençli bir tutkaldır. Genellikle laminat kaplamaların üretiminde kullanılmaktadır (Pizzi 1994).

#### **1.1.4.2.1.7 İzosiyanat tutkalı**

İzosiyanat tutkalı odunun hidroksil gruplarıyla bağ oluşturur ve tutkalı üretan zincirleri oluşturur. Eğer iyi yapışma sağlanırsa suya, sulandırılmış asitlere, alkolik sıvılara karşı iyi bir dirence sahiptir. İzosiyanat tutkalı su içermediği için tutkalın tümü yapıştırma sağlar. Üretan zincirleri hidrofobiktir, bu nedenle ayrıca bir kimyasala gerek olmayabilir. Formaldehit emisyonu içermez. ÜF gibi kısa sürede sertleşir. Düşük yoğunlukta üretilen levhaların yapıştırılmasında tercih edilmektedir. Sulu çözelti halinde de kullanılabilir. Başka bir faydası da yapıştırma direncini düşüren ekstraktif maddelerin etkisini ortadan kaldırmasıdır. İzosiyanat tutkalının dezavantajları ise, fiyatının yüksek olması ve metallerle yapışmaya meyilli olmasından dolayı, transport elemanlarına ve pres plakalarına yapışarak problem çıkarmasıdır (Maloney 1993).

#### **1.1.4.2.1.8 Doğal tutkallar**

Doğal tutkallar özellikle yaş yöntemiyle üretilen levhaların yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Bilinen ilk doğal tutkal, odunun % 30'unu oluşturan lignindir. Bu yöntemde yapışma direncini arttırmak için % 1–2 oranında sentetik tutkal kullanılır. Diğer doğal tutkallar olarak; nişasta, kuruyan yağlar, soya tutkalı, tanen ve sülfat atık suyu kullanılabilir. MDF veya HDF üretiminde doğal fenol olarak bilinen tanen lif levha üretiminde formaldehit ile reaksiyona sokulmaktadır. Odunun liflendirilmesi aşamasında elde edilen sülfat atık suyunun asitlendirme etkisi ile tutkalın etkisi artırılabilir (Suchland ve Woodson 1991).



#### **1.1.4.2.1.9 Katkı maddeleri**

MDF üretiminde tutkalın sertleşmesini sağlamak ve levhaya bazı özellikler kazandırmak için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Sentetik tutkala ilave edilen katkı maddelerin görevleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- Tutkalın stabilitesi,
- Plastikleştirme,
- Tutkal sürme niteliklerinde reçinenin yapısını iyileştirir,
- Tutkalın homojen dağılımı,
- Levha yüzeyinde toz birikmesini önlerler,
- Yanmayı geciktirici,
- Koku giderici,
- Preslemede tutkaldan gaz çıkışını dengeleme,
- Bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı koruyucu gibi özellikler taşırlar.

#### **1.1.4.2.1.10 Sertleştirici maddeler**

Sertleştirici maddeler, levha endüstrisinde liflerin veya yongaların, tutkal ile sıcak presleme esnasında sertleşmenin kısa sürmesi için sertleştirici maddeler kullanılmaktadır. Bu sertleştirici maddenin sentetik tutkaldaki miktarları arzu edilen levhanın özelliklerine göre en uygun miktarda ilave edilmektedir. MDF üretiminde sertleştirici tutkala karıştırılarak liflerin defibratör çıkışında lif süspansiyonuna homojen karışması sağlanmaktadır (Eroğlu 1988).

Üre Formaldehit tutkalında sertleştirici olarak, amonyum klorür ve amonyum sülfat kullanılmaktadır. Ancak amonyum klorür, amonyum sülfata göre daha çok tercih edilir, bunun nedeni ise; Amonyum klorür kullanıldığında meydana gelen tuz asidi (HCl) uçucu olmasından dolayı levha taslağının her tarafında homojen bir şekilde yayılır. Amonyum sülfat kullanılması halinde ortaya çıkan sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) uçucu olmadığı için levhaya homojen olarak yayılmaz ve sertleşmede düzensizlikler meydana gelir (Bozkurt ve Göker 1990).

#### **1.1.4.2.1.11 Hidrofobik maddeler**

Parafin ve mumlar hidrofobik maddelerdir. Hidrofobik maddeler lif levhaların rutubetli bir ortamda çalışmasını azaltmak amacıyla kullanılır. Hidrofobik maddeler liflerin kılcal boşluklarına yerleşerek su moleküllerinin bu boşluklara girmelerini engellemektedir (Eroğlu 1988). MDF üretiminde parafin emülsiyonu tam kuru lif ağırlığına oranla % 1–2 oranında yongalara karıştırılarak verilir. Tam kuru lif ağırlığına oranla % 1–2 oranının aşılması durumunda tutkallamayı engelleyici etkisi görüldüğü gibi levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde azalmaya neden olmaktadır (Suchland ve Woodson 1991).

#### **1.1.5 MDF üretiminde formaldehit**

Formaldehit ( $\text{CH}_2\text{O}$ ); renksiz, keskin kokulu, zayıf asidik, suyla karışabilen, sıkışan ve zehirli bir sıvıdır. Havada normal olarak 0,003 ppm'den daha az miktarda bulunmaktadır. Aynı zamanda boyalarda, kozmetik ürünlerde ve çok az da olsa insan vücudunda besinleri yakmak için bulunmaktadır. Serbest formaldehit, tutkalın çapraz bağ oluşturmasına yardımcı olur ve sıcak preste sertleşmeyi hızlandırır. Sıcak presleme sırasında serbest formaldehitin büyük bir kısmı kimyasal reaksiyona girer, reaksiyona girmeyen gaz halindeki bir miktar formaldehit ise levha içersinde kalır ve yavaş yavaş emisyonla uğrayarak havaya karışır (Akbulut 1995).

##### **1.1.5.1 Formaldehit emisyonu ve oluşumu**

Kompozit levha üretiminde, levha taslağının sıcak presleme aşamasında gerek yarıda kalan kondenzasyon reaksiyonu gereği metilol üre yapıları arasında ve gerekse de polimerleşen tutkal ile odunu oluşturan lif yüzeylerindeki karbonhidratların C6'daki OH, halka oksijeni ve köprü oksijeni arasında bağlanma kurulacaktır. Bu bağlanma sonucunda, su ya da su ile formaldehit açığa çıkaracaktır. Burada ortaya çıkan formaldehit kondenzasyon reaksiyonunun sonucu olarak metilol üre yapıları arasında  $-\text{CH}_2-$  şeklindeki bağlanmayla gerçekleşir. Bu oluşum; pres sıcaklığı, pres basıncı ve ortam pH'ına bağlı olarak gerçekleşir. Oysa üretilen tutkalın mol oranına ve üretim sonrası uygulanan vakumun büyüklüğüne ve uygulama şekline bağlı olarak da tutkal

içersinde bir miktar formaldehit kalmaktadır. Sonuç olarak; gerek tutkal üretim aşamasında levha içerisinde kalan formaldehit gerekse de preste devam ettirilen kondenzasyon reaksiyonu sonucu oluşan formaldehit, üretim sonrasında levhadan çevreye yayılan formaldehitin ana kaynağını oluşturmaktadır. Formaldehitin insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için, Avrupa Birliği ülkelerinde serbest formaldehit miktarı, 3-8 mg/100 gr levha olarak tespit edilmiştir. Hatta E0 olarak, 2 mg/100 gr levhaya doğru bir geçiş söz konusudur (Roffael 1993). Bu amaçla serbest formaldehit miktarlarını belirlemek için gerekli test metotları ve bunlara ait standartlar belirlenmiştir ( Çizelge 1.4 ).

Formaldehit emisyonuna etki eden başlıca faktörler;

- Odun türü,
- Üre/Formaldehit (Ü/F) mol oranı,
- Sertleştiricilerin türü,
- Pres koşulları,
- Tutkal miktarı,
- Depolama süresidir (Pizzi 1994).

**Çizelge 1.4** Formaldehit Test Metotları ve Standartlar (Athanassiadou 2000 ve Marutzky 2008).

Test Metodu	Standardın Adı
Chamber	EN 717-1, ASTM E 1333, ASTM D 6007, JIS A 1901, JIS A 1911, ISO 12460-1, ISO 12460-2
Gaz Analizi	EN 717-2, ISO 12460-3
Flask Metodu	EN 717-3, AWWA Method
Desikatör	ASTM D 5582, JIS A 1460, JAS 235, JAS 233, AS/NZS 4266.16, ISO 12460-4, EN 120, ISO 12460-5
Perforatör	EN 120, ISO 12460-5
Diğer	Field and Laboratory Emission Cell “FLEC”, Dynamic Microchamber “DMC”

### 1.1.5.2 Serbest formaldehit azaltma yöntemleri

Endüstride formaldehit miktarını azaltmak için bazı yöntemler olmasına karşın, sisteme ilave edilecek kimyasallar için gerekli malzemeler oldukça pahalıdır. Buna rağmen uygulanan en yaygın yöntemler;

- Formaldehit tutucu olarak adlandırılan ilave kimyasalların kullanımıdır. Levha üretimi sırasında üre formaldehit tutkalına katılan formaldehit tutucular genelde ithal edilmektedir.
- ÜF tutkalına belli oranda melamin ilavesi yapmaktır. Bugün için melamin ülkemizde üretilmemektedir. Yüksek maliyeti nedeni ile kullanımı sınırlı kalmaktadır.
- Serbest formaldehiti azaltmak için diğer bir yol; ÜF tutkalı hazırlamanın sonunda ikinci veya üçüncü ilave olarak üre veya melamin ilave etmektir.
- Serbest formaldehiti azaltmanın diğer bir yolu ise; tek başına E1 tipi levha üretme kapasitesi olmayan bir ÜF tutkalı hazırlamaktır (Pizzi 1994).

### 1.1.5.3 Günümüzde formaldehit sınırlamaları

Orman ürünleri endüstrisinde, formaldehit emisyonu pek çok çalışma ve tartışmayı beraberinde getirmiştir. Levha ürünlerinde, formaldehit emisyonunu sınırlandırmak için E1 standardı geliştirilmiştir. 10 yıl öncesine kadar Ü/F mol oranı 1/2 olan tutkallar kullanılmaktaydı. Günümüzde ise MDF ve yonga levha üretiminde formaldehit emisyonu düşük (1/1.1) üre formaldehit tutkalları tercih edilmektedir (Pizzi 1994).

Formaldehit emisyonunu düşürmek için atılan ilk adımlardan biri formaldehit emisyonunu üç sınıfta standardize etmek olmuştur. Çizelge 1.5 bu sınıflandırmayı E1, E2 ve E3 olarak vermektedir. Uygun formaldehit emisyon seviyeleri son yıllarda Avrupa'da sürekli düşmektedir. MDF için en düşük limit (E1 sınıfı için) 7 mg/100g olarak belirtilmiştir. MDF ve YL için, perforatör testi ölçümüne göre levha rutubet içeriği % 6,5 olarak alınmıştır. (CEC 1991; Lehmann ve Roffael 1992).

**Çizelge 1.5** Formaldehit Emisyonlarına göre Sınıflandırma  
(CEC 1991; Lehmann ve Roffael 1992).

Sınıf	40 m <sup>3</sup> oda içinde Konsantrasyon (ppm) <sup>1</sup>	Perforatör Değeri (mg/100g) <sup>2</sup>
E1	0.015 - 0.1	6,5 - 10
E2	0.1 - 1.0	10 - 30
E3	1.0 - 2.3	30 - 60

<sup>1</sup> Chamber method, EN 717-1

<sup>2</sup> Perforator method, EN 120

Formaldehit, Dünya Sağlık Organizasyonu (WHO) tarafından insanlar için muhtemel kanserojen madde grubu içerisinde yer almaktadır (Grup 2A).

2004'te, WHO'nun Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi formaldehitin yeniden sınıflandırılması gerektiğine karar vererek, bilimsel veriler ışığında Grup 1 içerisinde yer almasını önermiştir (URL-2 2004). Bu öneri, yasal olarak geçerli olmakla birlikte, işçi ve tüketici birlikleri, çevre örgütü (Green Organisation), düzenleyici yetkilileri, endüstri (formaldehit kullanıcı ve üreticileri) işletmeleri tarafından kabul edilmiştir. Teknolojik ilerlemeye bağlı olarak, son 30 yılda önemli ölçüde iş yerlerindeki formaldehit emisyon seviyesi azalmıştır (URL-3 2004).

Formaldehite en çok maruz kalan meslekler,

- Vernikleme,
- Tekstil,
- Giysi,
- Kürk üreticileri,
- Fabrikalarda levha üretiminde çalışanlar gelmektedir.

En az maruz kalınan seviye formaldehit üretiminde ortalama konsantrasyon < 1 ppm olmaktadır. Havadaki rapor edilen ortalama konsantrasyon, yonga levha fabrikalarındaki 1 ppm'den, kontrplakta ise yaklaşık 2 ppm'den daha fazladır. Ancak yapılan son çalışmalarda konsantrasyonun, kontrplakta 0.4 ppm'den, OSB ve lif levha fabrikalarında ise 0.16 ppm'den daha az olduğu belirtilmiştir (URL-1 2008).

Çizelge 1.6'da; Avrupa, Avustralya, Amerika (Kanada'da geçerli) ve Japonya standartlarına göre formaldehit emisyonu bakımından odun esaslı panellerin sınıflandırılması verilmektedir (URL-1 2008). Japon F\*\* emisyon sınıfı değeri, Avrupa'da Almanya düzenlemelerini esas alınarak yapılan düzenlemeler sonucunda kullanılan E1 sınıfı değerine eşdeğer ya da bu değerden daha yüksek bir emisyon sınıfını, F\*\* ve F\*\*\*\* emisyon sınıfı değerleri ise E1 sınıfından çok daha düşük anlamına gelmektedir (Marutzky ve Dix 2004).

**Çizelge 1.6** Avrupa, Avustralya, Amerika ve Japonya için odun esaslı panellerin Formaldehit Emisyon Standartları (Athanasiadou, Tsiantzi ve Markessini 2007)

Ülke	Standart	Test Yöntemi	Levha Sınıfı	Limit Değeri
Avrupa	EN 1 3986	Kabin EN 717-1	E1-PB, MDF, OSB	$\leq 0.1$ ppm
		Perforatör EN 120		$\leq 8$ mg/100g
		Kabin EN 717-1	E1-PW	$\leq 0.1$ ppm
		Gaz Analizi EN 717-2		$\leq 3.5$ mg/hxm <sup>2</sup>
		Kabin EN 717-1	E2-PB, MDF, OSB	$>0.1$ ppm
		Perforatör EN 120		$>8$ mg/100g $\leq 30$ mg/100g
		Kabin EN 717-1	E2-PW	$>0.1$ ppm
		Gaz Analizi EN 717-2		$>3.5$ g/hxm <sup>2</sup> $\leq 8.0$ mg/hxm <sup>2</sup>
Avustralya	AS/NZS 1859 -1 & 2	Desikatör AS/NZS 4266.16	E0-PB, MDF	$\leq 0.5$ mg/L
			E1-PB	$\leq 1.5$ mg/L
			E1-MDF	$\leq 1.0$ mg/L
			E2-PB, MDF	$\leq 4.5$ mg/L
U.S.A.	ANSI A208. 1 & 2 PB&MDF	Geniş Kabin ASTM E1333	PB, MDF	$\leq 0.3$ ppm
			PW	$\leq 0.3$ ppm
			PW Duvar Panelleri	$\leq 0.2$ ppm
Japonya	JIS A 5908&5905 (PB&MDF)	Desikatör JIS A 1460	F**	$\leq 1.5$ mg/L
			F***/E0	$\leq 0.5$ mg/L
			F****/E0	$\leq 0.3$ mg/L

PB:Yonga levha, MDF:Orta yoğunlukta lif levha, OSB: Yönlendirilmiş yonga levha, PW: Kontrplak

Almanya yönetimi, lif levha için (perforatör metodu için) 7 mg/100g levha ve yonga levha için 6.5 mg/100g levha E1 emisyon değeri uygun olarak görülmektedir (Roffael 2006).

Avusturya, Danimarka ve İsveç gibi ülkeler de sadece E1 sınıfı olan levha üretiminde Almanya'yı takip etmektedir. Bununla birlikte, çoğu Avrupa ülkeleri hala E2 sınıfı levhanın dağıtım ve üretimine izin veren mevzuatı uygulamaktadır.

EPF üyeleri sadece E1 tipi levha üretimini uygun bulmuşlardır (EUWID 2007). Aynı zamanda, üyeler devam eden üretim denetlemeleri için E1 sınıfı değerini esas almışlardır (URL-1 2008).

#### **1.1.6 Ahşap malzemede ısı işlem**

Isıl işlem, odunun 100–250°C arasında normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesidir (Yıldız 2002 ). Günümüzde de ısı muamelesi endüstriyel olarak kullanılmaktadır ve 150 °C ve üstündeki sıcaklıklarda odunun rengi değişmekte, biyolojik direnç ve boyutsal stabilizasyon iyileşmektedir. Fakat odunun mekaniksel özelliklerinde kayıplar olmakta ve odunun kimyasal yapısı değişmektedir. Bu dezavantaj ısıyla muamele edilmiş odunun, kullanım yerini sınırlamaktadır. Dünya'da en yaygın kullanılan muamele metodu "Thermowood" olarak adlandırılmakta ve muamele su buharı altında yapılmaktadır. Bu yöntem Finlandiya'da kullanılan endüstriyel bir metottur.

Odunun ısı işlemine tabi tutulması, bilimsel olarak ilk defa Almanya'da 1930'lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafından yapılmıştır. 1940'lı yıllarda Amerika'da White ve 1950'li yıllarda Almanya'da Bavendam, Rundel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman ve Schnoider 1960'lı yıllarda buldukları bilgileri yayınlamışlar ve ısı işlem bilimsel olarak tartışılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar özellikle 1990'lı yıllardan sonra Finlandiya, Fransa ve Hollanda'da bilim adamları tarafından ele alınmıştır. Önemli teorik ve bilimsel çalışmalar, Finlandiya Teknik



Araştırma Merkezi (VTT) tarafından yapılmıştır. Uygulama ile ilgili araştırmalar Çevre Teknoloji Enstitüsü'nde (IET) devam etmektedir (Anonymous 2003).

Uygulanan ısıtım işlem metotları;

- Hollanda–Plato yöntemi,
- Fransa–Retification ve Les Bois Perdure,
- Almanya–Yağla ısıtım işlem,
- Finlandiya–ThermoWood

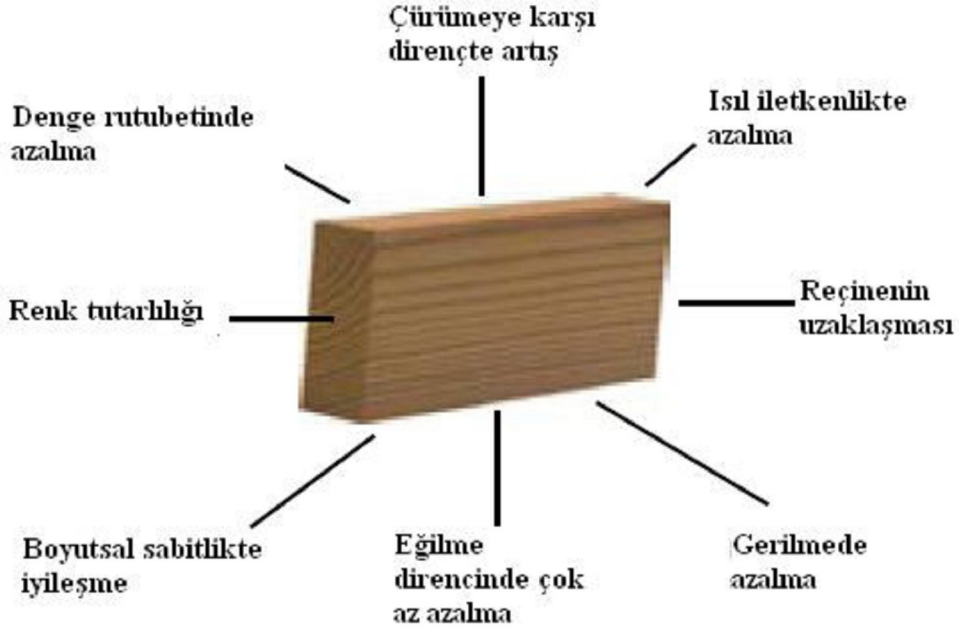
Bu metotların içinde en çok kullanılanı, VTT tarafından geliştirilen “ThermoWood” olarak adlandırılan ısıtım işlem yöntemidir (Anonymous 2003).

Günümüzde ticarileşmiş tek yöntem de “ThermoWood” metodudur. 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. Isıtım işlem 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 çürüme direnci ciddi oranlarda artmaktadır. Isıtım işlem süresince biyolojik direnç ve kararlılık artarken özellikle 200°C sıcaklıklardan sonra mekanik özelliklerde ciddi düşüşler meydana gelebilmektedir (Anonymous 2003).

Ahşap malzemeye ısıtım işlem uygulanmasındaki amaç;

- Odunun rutubet alıp vermesini azaltmak,
- Oduna boyutsal stabilizasyon kazandırmaktır,
- Ağaç malzemenin mantar ve böcek gibi organizmalara karşı biyolojik dayanıklılığını artırmak,
- Denge rutubet miktarını düşürmektir (Karakaş 2008).

Şekil 1.2’de ısıtım işlemin ağaç malzemeye kazandırdığı özellikler görülmektedir.



**Şekil 1.2** Isıl işlemin ağaç malzemeye kazandırdığı başlıca özellikleri (<http://www.thermowood.fi/>)

#### 1.1.6.1 Isıl işlemin sınıflandırılması ve kullanım alanları

1. En sık kullanılan sınıflandırma ThermoWood sınıflandırmadır (Sidorova 2009).
  - Thermo-S
  - Thermo-D
  - "S" (stability) odunun rutubet değişimiyle daralma ve genişleme durumunu,
  - "D" (durability) biyolojik dayanıklılığı ifade etmektedir (Güller ve Korkut 2006).

İğne yapraklı ağaçlar için, Thermo-S sıcaklığı  $190^{\circ}\text{C}\pm 3$  ve Thermo-D  $212^{\circ}\text{C}\pm 3$ , Yapraklı ağaçlar için, Thermo-S  $185^{\circ}\text{C}\pm 3$  ve Thermo-D  $190^{\circ}\text{C}\pm 3$ 'tür (Aydemir 2007 ve Sidorova 2009).

2. Diğer sınıflandırma Stellac sınıflandırmasıdır. D1, D2, D3 ve T4, T5 olmak üzere 5 sınıftır. Stellac sınıflandırmada ısıl işlemin sıcaklık değerleri  $190\text{--}250^{\circ}\text{C}$  arasındadır.

- D sınıfları için biyolojik dayanıklılık,
- T sınıfları içinse mukavemet ön plandadır (Sidorova 2009).

İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların ısıtım sınıflarına göre kullanım alanları Çizelge 1.7’ de verilmiştir.

**Çizelge 1.7** İğne yapraklı ve yapraklı ağaçların ısıtım sınıflarına göre kullanım alanları (Rowell 1984, Dirol ve Guyonnet 1993, Anonymous 2003).

Isıtım Sınıfı	İğne Yapraklı Ağaçlar	Yapraklı Ağaçlar
<b>Thermo-S</b>	Rutubetli olmayan yerlerde	Duvar ve tavan panellerinde
	Duvar ve tavan panellerinde	Mobilyalarda
	Mobilyalarda	Bahçe mobilyalarında
	Bahçe mobilyalarında	Sauna oturma yerlerinde
	Kapı ve pencerelerde	Yer döşemelerinde
	Sauna oturma yerlerinde	
	Çatılarda	
<b>Thermo-D</b>	Panjurlarda	
	Dış yapılarda	Thermo-S ile aynı kullanım yerlerine sahiptir daha koyu bir renk istenir ise Thermo-D kullanılmalıdır.
	Yer döşemelerinde	
	Sauna ve banyo döşemelerinde	
	Gemi güvertelerinde	
Bahçe mobilyalarında		
<b>Stellac D1</b>	Son derece nemli koşullarda	Çok nemli yerlerde
<b>Stellac D2</b>	Duvar ve tavanlarda	Bahçe mobilyalarında
	Oyun alanı mobilyalarında	Parkelerde
	Kapı ve pencerelerde	Mutfak dolaplarında
	Bahçe çitlerinde	Duvar panellerinde
<b>Stellac D3</b>	Duvar ve tavanlarda	Duvar panellerinde
	Oyun alanı mobilyalarında	Bahçe mobilyalarında
	Kapı ve pencerelerde	Mutfak dolaplarında
	Bahçe çitlerinde	
	Mutfak dolaplarında	
<b>Stellac T4</b>	İç mekân döşemelerinde	Parkelerde
	Duvar panellerinde	Duvar panellerinde
	Prefabrike duvar bileşenlerinde	Mutfak dolaplarında
	Mutfak dolaplarında	İç mekân döşemelerinde
	Pervazlarda	Sauna bank ve panellerinde
<b>Stellac T5</b>	İç mekân döşemelerinde	Pervazlarda
	Duvar panellerinde	Mutfak dolaplarında
	Prefabrike duvar bileşenlerinde	Duvar panellerinde
	Mutfak dolaplarında	Sauna bank ve panellerinde
	Pervazlarda	Mobilyalarda

### 1.1.7 Lif levhada termik işlem

Termik işlem ve sertleştirme, yaş yöntemle üretim yapan tesislerde uygulanmakta olup bu yöntemde elde edilen sonuçlar kuru yöntemle göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Termik işlemi üretim esnasında sıcak presleme yaparken de uygulamak mümkündür ancak bu durumda düşen kapasiteden kaynaklı levha üretim maliyetleri artmaktadır. Bu nedenle termik işlem özel sertleştirme odalarında ya da kanallarında yapılmaktadır (Suchland ve Woodson 1991).

Termik işlem süresi, levhanın fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerinde önemlidir. Kısa süreli ısı işlem, levhanın fiziksel ve mekaniksel özelliklerini yükseltir, artan ısı işlem süresine bağlı olarak kalınlığına şişme ve su emme miktarları düşmektedir. Ancak mekanik özelliklerinde düşüşler görülmektedir. Bu sebeple levhanın ıslah edilmesi aşamasında ısı işlem sıcaklığı ve süresinin uygun seçilmesi gerekmektedir. (Eroğlu ve Usta 2000).

Termik İşlem tesislerinde, sertleştirme amaçlı kullanılan hava sıcaklığı, ortalama 160 – 170 °C olup, levhanın sertleşme süresi, ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak Çizelge 1.8’de verilmiştir.

**Çizelge 1.8** Optimum Sertleşme Süreleri (Eroğlu ve Usta 2000).

Sıcaklık (°C)	Zaman (Saat)
180	1,5
160	3,0
150	4-8
140	10

Sertleşmenin ilk aşamasında hava ile taşınan ısı levhalara verilir ve sıcaklık 140 °C’ye ulaşıncaya ekzotermik reaksiyon gözle görülür hale gelir. Burada hava sirkülasyonunun amacı, ekzotermik reaksiyonu kontrol etmek ve levhanın sıcaklığını 160±5 °C’de tutmak için levhalara ısı vermektir. Sertleştirme odasındaki hava sirkülasyon hızı 6–7 m/s kadardır. Gerektiğinde su püskürterek sirküle edilen hava

soğutulur. Dolayısıyla oda içersindeki hava sirkülasyonunu zamanında durdurmak gerekir (Çehreli 1982 ve Eroğlu 1994).

#### **1.1.7.1 Termik işlem sırasındaki olayların teorik açıklaması**

Termik işlem, odun ve diğer lignoselülozik maddelerin özelliklerinde kalıcı veya geçici değişimler meydana gelir. Odundaki yapı elemanları arasında kimyasal bağların oluşumu kalıcı değişimler olup 260 – 350 °C arasındaki kömürleşme sıcaklığında cereyan eder. Böyle bir işlem sonucunda su alma, şişme ve daralma miktarları başlangıç değerlerinin yarısına düşerken, statik direnç ve sertlik % 25-30 kadar azalır. Bu durumu açıklayan etken, selüloz moleküllerinin hidroksil grupları arasındaki eter bağlarının oluşumudur (Lampert 1967).

Termik işlemle hücre çeperindeki lignin ve selülozda meydana gelen bazı kimyasal değişimler, levha direncini yükseltmekte ve rutubete karşı stabilitesi artmaktadır. Uygulanan sıcaklık ve basınç ile havanın dolaşım hızı, ısıl işlemde levhanın kalitesinin düzeltilmesinde etkili olan faktörlerdir (Eroğlu ve Usta 2000).

Termik işlem sırasındaki sertleşme ekzotermik bir reaksiyon olduğundan, hiçbir zaman odadaki hava sıcaklığı, levha sıcaklığının maksimum değerini geçmemelidir. Aksi halde, hava sıcaklığı levha sıcaklığının üstüne çıktığı zaman yanma olabilir. Bu nedenle, levha sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki farkı dengede tutmak önemlidir. Hava akımı bu nedenle uygulanır (Pialov et al.1978).

160 °C'deki sertleşme ortamında;

- % 8 CO<sub>2</sub>
- % 6 CO
- % 16,9 O<sub>2</sub> gazları çıkmaktadır.

Hemiselüloz ve ligninin ayrışmasından dolayı sertleştirme odasının duvarlarında yoğunlaşarak akan hidrokarbonlar oluşmaktadır (Eroğlu ve Usta 2000).

Sertleştirme odasında levhalar arasındaki havanın hızı 3-7 m/sn'dir. Bu hız, 2,5 m/sn'den az olmamalıdır çünkü ani sıcaklık artması olabilir. Ani sıcaklık artması lif levhanın bazı noktalarda alev almasına neden olur.

Kendiliğinden tutuşmanın nedenleri;

- Sertleşme odasında hava hızının 2,5 m/s'den az olması,
- Hava akımı dağılımı eşit değil ve dolaşımın zayıf olduğu noktalarda ani sıcaklık artmasıyla tutuşma yaşanabilir,
- Sertleşme odasının yapısı uygun olmayabilir,
- Sertleşme odasının cinsi uygun olmayabilir,
- Odunda mantar hastalıkları varsa bu durum sertleşme olayını hızlandırır ve tutuşmaya neden olabilir,
- Levhaların preslenmesi aşamasında kalıbın dışına taşan parçalar meydana gelir. Bu levhalar arabaya yüklendiğinde levha arasındaki açıklık azalır. Bu durumda hava akımı homojen olmadığından bu kısımlarda tutuşma olabilir,
- Hammaddenin cinsi, levhanın sertliği ve sağlamlığı,
- Sertleştirme odası serpantin ve oda içi temizliğinin yapılmamış olması
- Vantilatördeki arıza nedeni ile kıvılcım çıkması,
- Isıl işlem öncesi levha rutubet dağılımının düzensiz olması tutuşmaya neden olabilir (Pialov et al. 1978).

#### **1.1.7.2 Termik işlem odalarında meydana gelen yangınların önlenmesi**

- Isıl işlem odalarının duvarları 10 gün ara ile NaOH içeren su ile yıkanmalıdır,
- Vantilatör kayışları ve gerginlikleri kontrol edilmelidir,
- Isıl işlem öncesi sertleştirme odası basınçlı hava ile kırıntı ve levha artıklarından temizlenmelidir,
- Preslenmiş levha kısımlarıyla, preslemede karbonlaşmış kısımlar uzaklaştırılmalıdır.
- Haftalık bakımlardan sonra faaliyete geçmeden önce temizlik durumu ve tüm aletler iyice kontrol edilmelidir.

### 1.1.7.3 Isıl işlemin levha özellikleri üzerine etkisi

Isıl işlem, levha taslağının sıcak preslemedeki bağ oluşumu sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmenin bir devamıdır. Presleme sonrası uygulanan termik işlemin etkisi ile hücre çeperi bileşenlerinde termal yıkımın sebep olduğu lif direnci kaybına karşın halen bağ gelişimi devam edebilir. Bu durumda, levhanın direnç özellikleri, lifler arasında zayıf bağ oluşturana kadar yükselmeye devam eder (Suchsland ve Woodson 1986). Belirli bir süre sonra levha özellikleri maksimuma ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başlar (Lampert 1967 ve Çehrelî 1982).

Isıl işlem, levhanın su alma ve direnç özelliklerinin iyileşmesini sağlar. Lifi hücre çeperini su absorplama bakımından daha kararlı ve levhanın direnç gelişimine de katkıda bulunarak, şişme sırasında boşlukların yaratılmasına karşı lifler daha kolay direnç gösterecektir. Isıl işlemle levhaların havadan nem alma ve su emme özellikleri de minimuma iner. Dolayısıyla levhanın çalışması azalarak bu yönden kalitesi yükselir. Isıl işlemle su alma ve şişme miktarları süreye bağlı olarak sürekli azaldığı halde eğilme direnci belli bir süre sonra maksimuma ulaşmakta, daha sonra düşmeye başlamaktadır. Bu da levha içinde selülozik liflerin degradasyona uğradığını göstermektedir (Braun ve Strand 1958).

Isıl işlemde lif levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinin nedeni, levhada meydana gelen fiziksel değişimlerdir. Mekanik özelliklerin düzelmesi, lifler arasındaki bağlanmanın artmasıyla açıklanabilir. Eğilme direncinin, belirli bir süre sonra azalması ise selüloz zincirlerinin polimerizasyon derecesinin azalmasından ileri gelir. Çünkü selülozik liflerin sağlamlığı doğrudan polimerizasyon derecesiyle ilgilidir. Polimerizasyon derecesi 800'ün altına indiğinde lifler hızla sağlamlığını kaybeder. Levhanın sağlamlığı ise doğal olarak liflerin sağlamlığına bağlıdır. Sıcaklığın degradasyon etkisiyle polimerizasyon derecesi düştüğünde eğilme direncide azalmaktadır. Normal bir lif levhada polimerizasyon derecesi 1600 iken ısı işleminden sonra bu değerin 610'a kadar düştüğü belirlenmiştir. Böylece, liflerin direncinin azalması levhanın direncini zayıflatmaktadır (Eroğlu 1985, Çehrelî 1982 ve Lampert 1967).

Bazı araştırmacılar, ısıl işlem uygulanan levhaların higroskopik özelliklerindeki düzelmenin hemiselülozlardaki kimyasal değişmeden kaynaklandığını ifade etmektedirler. Sıcaklığın etkisiyle liflerin bünyesindeki su uzaklaştığından selüloz ve hemiselüloz zincirleri birbirine yaklaşır ve hidrojen bağı oluşturma şansı artar. Bazı araştırmacılar ise hidrofobik özelliklerin düzelmesini hemiselülozlar tarafından oluşturulan eter bağlarına bağlamaktadırlar (Lampert 1967).

Ayrıca, ısıl işlem yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirildiği için yıkıcı degradasyon sonucu olarak levhada ağırlık kaybı da meydana gelmektedir (Lampert 1967).

#### **1.1.7.4 Kimyasal özellikler üzerine ısıl işlemin etkisi**

Isıl işlem sonucu genellikle hemiselülozun bozunması ile ortaya çıkan organik asitlerin etkisi ile odunun lignin-polisakkarit kompleksi yarılır. Higroskopisitedeki bu değişim karakteristiktir ve başta hemiselüloz olmak üzere odun bileşenlerinin kimyasal modifikasyonuna ve odun kristallenme derecesindeki fiziksel değişmelere dayandırılmaktadır. Higroskopisitedeki azalma odundaki hidrofilik bölgelerin (özellikle karbonhidratların hidroksil grupların) sayısındaki azalma ile ilgilidir. Isıl işlem uygulamasından sonra karbonhidratların bozunması ile su absorbe eden hidroksil gruplarının konsantrasyonundaki azalma daha düşük su alımı ve absorpsiyonu ile sonuçlanır. Odun ısıya maruz kaldığında hidroliz ile asetillenen hemiselülozdan asetik asit oluşur. Serbest kalan bu organik asit, hemiselülozun çözünebilir şekerlere hidrolizinde bir katalizör olarak görev yapar. Ek olarak amorf bölgedeki selüloz mikrofibrilleri asetik asit tarafından depolimerize olur ve bu da daha sonra selülozu kıırarak daha kısa zincirlere dönüştürür. Ligninin plastikleşmesi ve odunun lignoselülozik polimerik bileşiklerinin yeniden yapılanması ısıl işlem uygulanmış odunun artan hidrofobik karakterişini açıklayan diğer bir görüş olarak ortaya çıkmaktadır. Isıl işlem uygulanmış odunda başta hemiselüloz olmak üzere karbonhidratların depolimerizasyonu serbest hidroksil gruplarını içeren hidroksil gruplarının toplam miktarındaki azalma ile sonuçlanmaktadır (Kocaefe, Poncsak ve Boluk 2008).



Hemiselülozlar ısı işlem süresince hidroliz reaksiyonları tarafından oligomer ve monomere depolimerize olur. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı hemiselüloz bozunmasını etkileyen iki önemli faktördür. Sıcaklık ve süredeki artmaya bağlı olarak arabinoz ve galaktoz gibi yan zincir bileşenleri ayrılır ve bunu mannoz glikoz ve ksiloz gibi ana bileşenlerin bozunması izler (Boonstra 2008).

Selülozun bozunma sıcaklığı 165–185°C’lerde sınırlıdır. Selüloz yüksek derecede (% 60) düzenli kristalimsi yapıya sahiptir ve bu da selüloz zincirlerine yüksek bir stabilite katmakta ve onları hidroliz süresince asit saldırısına karşı korumaktadır. Kristalimsi selülozun hidroksil gruplarının fiziksel olarak bloke edilmiş olması reagent uygulamasına tepki vermesini engeller. Diğer taraftan amorf selülozun hidroksil grupları reaksiyon mekanizmasına dâhil olabilir (Hill 2006).

Lignin, odun bileşenleri içerisinde ısıya karşı kendini en iyi koruyabilendir. Sıcaklık ancak 200 °C’yi aştığı zaman lignin kütlelerinde azalma ve β-aril-eter bağları kırılmaya başlar. Yüksek sıcaklıklarda ligninin metoksi içeriği azalır ve yoğunlaşmamış ünitelerinden bazıları difenilmetan tipi ünitelere dönüşür. Defenilmetan tipi yoğunlaşma 120–220 °C aralığında tipik bir reaksiyon olup renk, reaktivite ve çözünme gibi lignin özellikleri üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Isıl işlem süresince lignin bozunmaya aynı zamanda kondenzasyon veya polimerizasyon reaksiyonlarına uğramaktadır. Lignin ve hemiselüloz arasındaki kovalent bağlar kırılır ve yüksek reaktiviteyle düşük molekül ağırlığında lignin parçaları üretilir (Boonstra 2008).

Isıl işlem uygulaması süresince odunun karbon ve lignin içeriği özellikle daha yüksek hemiselüloz içeriği nedeniyle yapraklı ağaçlarda artmaktadır. Ligninin eter zinciri piroliz süresince daha kolay kopar. 200 °C’den 250 °C’ye kadar CO<sub>2</sub> ve diğer bileşikler ligninden ayrılır, 250 °C’den 400 °C’ye kadar polimerleşme eğilimli fenolik ve nötral yağlar üretilir ve ligninin ısı bozunması yaklaşık 270 °C’de ekzotermik (ısıveren) olur. Lignin fraksiyonundaki değişimler metoksil içeriğindeki azalmalar olarak saptanmıştır (Kocafe, Poncsak ve Boluk 2008).

### 1.1.7.5 Fiziksel özellikler üzerine ısı işlemin etkisi

Odunun ısı işleme tabi tutulması onun su adsorpsiyonunu önemli derecede azaltır. Isıl işlem uygulaması sonucu serbest hidroksil gruplarına ulaşmakta azalma olması kesindir. Bunun sebepleri ise;

- Serbest hidroksil gruplarının toplam miktarında azalmaya neden olan karbonhidratların, özellikle hemiselülozun depolimerizasyonu,
- Hidroksil gruplarının su moleküllerine kolay erişemediği, kristalimsi selülozun nispi oranındaki artma ve serbest hidroksil gruplarının suya erişebilirliğini engelleyen lignin ağının çapraz bağlanmasıdır.

Odunun direnç özelliklerini bağlı su önemli oranda etkilemektedir. Bağlı su miktarı arttıkça, hücre çeperinin organik polimerleri arasındaki hidrojen bağı azaltır veya engeller. Direnç, kovalent bağ ve polimer içi hidrojen bağları ile ilgili olduğu için odunun direnç özellikleri, bağlı su miktarının artması ile azalmaktadır. Isıl işlem uygulanmış odunun, daha az higroskopik olması ve maksimum bağlı su miktarının azalması sonucu ısı işlem direnç özellikleri üzerine pozitif bir katkı yapmaktadır (Hill 2006).

Isıl işlem uygulaması boyunca odunda ağırlık ve buna bağlı olarak yoğunlukta düşmeler olmaktadır. Bu durumun sebepleri;

- Isıl işlem süresince başta hemiselüloz olmak üzere odun bileşenlerinin buharlaşan uçucu ürünlere dönüşmesi,
- Ekstraktif maddelerin buharlaşması ve ısı işlem uygulaması ile odunun daha az higroskopik olması sonucu daha düşük denge rutubet miktarıdır.

Isıl işlem uygulamasından sonra daha düşük bir yoğunluk, direnç özelliklerinde bir azalmayı gerektirse de bu durum önemsizdir. Odunsu materyal ve ağırlık kayıpları ile ilgili olarak odun ana bileşenlerinin bozunması iç gerilmelerin daha az moleküler materyal üzerine dağıtılmasına neden olduğu için direnç özelliklerini azaltır. Diğer taraftan daha düşük rutubet içeriği direnç pozitif etkiye sahiptir ve kütle kayıplarının etkisini azaltır (Boonstra 2008).

Isıl işlem uygulanmış odunun boyutsal stabilitesi iyileşir. Çünkü odun su adsorpsiyonu ve desorpsiyonu nedeniyle genişleme ve daralmaya uğramaktadır. Bundan başka su adsorpsiyonundaki azalma odunun tüm daralma ve genişlemesini azalttığından onun boyutsal stabilitesini arttırmaktadır. Genelde ısı işlem uygulanmış odun, düşük daralma ve genişleme değerleri ile oldukça hidrofobiktir. Odunun higroskopisitesi, sıcaklık ve süre gibi ısı işlem şartlarından etkilenmektedir. Özellikle ısı işlem sıcaklığı çok etkili olmaktadır (Boonstra 2008).

#### **1.1.7.6 Mekanik özellikler üzerine ısı işlemin etkisi**

Isıl işlem, 150-280°C'ler arasındaki yüksek sıcaklıklarda uygulanan şiddetli işlem şartlarına bağlı olarak odunun mekanik özelliklerinin azalmasına sebep olur.

Odunun mekanik özellikleri rutubet içeriği ile yakından ilgilidir. Hücre çeperinin polimerik ana bileşenleri arasındaki hidrojen bağının azalması ve bağlı su miktarının artmasının engellenmesi nedeniyle kovalent bağ ve polimer içi hidrojen bağları ile ilişkili olan odunun direnç özellikleri azalır. Isıl işlem uygulanmış odunun maksimum bağlı su miktarındaki azalma ve daha az higroskopik yapı kazanması nedeniyle ısı işlem, odunun mekanik özelliklerine pozitif katkı yapmaktadır.

Winandy ve Rowell (1984)'in hipotetik modeline göre; hücre çeperinin ana bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve lignin odunun direncine farklı düzeylerde katkıda bulunmaktadır. Selüloz yüksek polimerizasyon derecesine sahip (selüloz zincirindeki anhidrid glukoz birimlerinin sayısı 5000-10000) olması ve kristalimsi (mikrofibril içersindeki selüloz uzun zincir moleküllerinin birbirine paralel uzandıkları kısım) yapısı nedeniyle odun lif direncinden öncelikli sorumlu tutulmaktadır. Isıl işlem uygulaması, selüloz polimerinin depolimerizasyonu sonucu amorf selülozun az miktarda fakat dikkate değer bozunmasına yol açmaktadır. Bu durum ısı işlem uygulanmış odunun çekme direncinin azalmasında önemli bir sebeptir. Ancak, Stamm (1964) göre iç gerilmeler selüloz mikrofibril/fibrilleri arasında dağıtılmıştır. Bunun yanında selüloz polimer uzunluğunun direnç üzerine etkisi, çekme direncinin polimerizasyon derecesi 300'ü üzerinde değişmemesi

sebebiyle sınırlıdır. Amorf selülozun kristalleşmesinin çekme direncindeki azalmadan sorumlu olup olmadığı tam açık değildir.

Hemiselülozların bozunması ile birlikte kristalitlerin kalınlığının ve selüloz kristallanma derecesinin artması ile odunun direnci ve sertliği azalmaktadır.

Eğilme direncindeki ilk kayıplardan ısı işlem süresince lignin ve selülozun bozunması veya depolimerizasyonu değil hemiselülozun modifikasyonu ve/veya bozunması öncelikli olarak sorumlu tutulmaktadır. Eğilme direncindeki daha fazla azalma ısı işlem süresi ve sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır. Hemiselüloz ısıya karşı çok hassas olan hücre çeperi bileşenidir. LeVan ve ark. (1990) lignin-hemiselüloz matriksi içerisinde hemiselülozun yan zincirlerinin kırılması neticesinde yük paylaşma kapasitesinin bozulduğunu ve bu sebeple direnç kayıplarından sorumlu tutulabileceğini ifade etmiştir. Diğer bir sebep ise hemiselülozun omurgasının bozulması nedeniyle hemiselülozun polimerizasyon derecesinin azalmasıdır.

Elastikiyet modülündeki az miktarda fakat dikkate değer artma, muhtemelen lignin-hemiselüloz matriksinin yük paylaşma kapasitesindeki bozulma ve hemiselülozun modifikasyonu ve/veya bozunmasına rağmen kristalimsi selülozun nispi miktarındaki artma sebebiyle olmaktadır. Buna ilaveten ısı işlem uygulanmış odunun ısı işlem uygulanmamış oduna nazaran hücre çeperinde daha az bağlı su içermesinden dolayı daha az higroskopiktir ve odunu daha az elastik yapmasından dolayı elastikiyet modülü etkilenmektedir (Kocaefe ve ark 2008).

Mekanik özellikler üzerine ısı işlemin etkileri bağlamında ligninin direkt olarak etkili olup olmadığı açık değildir. Lignin selüloz mikrofibril/fibrillerinin rijidite çubuğu olarak hareket eder ve artan çapraz bağlanması liflere dik hareketleri sınırlar veya önler. Bundan başka lignin orta lamelin ana bileşenidir. Lignin polimer ağının artan çapraz bağlanması orta lamelin direncini artırır ve bu da hücre çeperinin direnç özellikleri üzerine etki etmektedir. Buradan lignin polimer ağının odunun direnç özellikleri üzerine direkt olarak etki ettiği sonucuna varılabilir. Banoub ve Delmas

(2003) lignin polimer ağının içindeki düzenli yapının odunun direnci üzerine yapıcı bir katkı sağladığını tespit etmişlerdir.

Eğilme testi süresince elastikiyet modülünde artma gerçekleşmektedir. Isıl işlem uygulanmış odunun mekanik özellikleri üzerine ligninin polikondenzasyon reaksiyonları, amorf selülozun kristalleşmesi ve/veya bozunması ve hemiselülozun modifikasyonu ve bozunması etkili olmaktadır.

#### **1.1.7.6.1 Çekme direnci**

Çekme direnci için öncelikli olarak selüloz sorumlu tutulmaktadır. Odunda çekme gerilmeleri meydana geldiği zaman selüloz mikrofibril ve/veya lifleri arasında kovalent bağlarının kırılması neticesinde kayma ve çekme meydana gelir. Selüloz polimerinin depolimerizasyonu ve polimerizasyon derecesinin azalması çekme direnci kayıplarının ana sebebidir. Isıl işlem uygulaması sonucu selüloz polimerinin depolimerizasyonuna sebep olan amorf selülozun az miktarda fakat dikkate değer bozunması gerçekleşmektedir. Bu durum ısıl işlem uygulanmış odunun çekme direncinin azalmasında önemli bir sebeptir.

Isıl işlem uygulaması sonucu hemiselülozun bozunması da çekme direncinin azalmasında ayrıca etkilidir. Hemiselüloz bozunmasının ana etkileri;

- Hemiselülozik polimeri içindeki hidrojen ve Van der Waals bağları gibi ikincil bağların kopması,
- Hemiselüloz ve selüloz arasındaki ikincil bağların kopması,
- Hemiselüloz ve lignin arasındaki kovalent bağların kopması şeklinde olmaktadır.

Bu etkiler selüloz mikrofibril ve/veya fibrillerini örten lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşım kapasitesini bozmaktadır. Selüloz mikrofibril ve/veya fibrilli bitişiğindeki mikrofibril ve/veya fibril ile ya hiç ya da çok az kuvvet paylaşımı yapar (Poncsak ve ark 2006).

Isıl işlem süresince ligninde değişimin çekme direncini azalması beklenmemektedir. Winandy ve Rowell (1984)'a göre lignin ağ direnci iç gerilmelere karşı yeterince karşı koyabildiği için önemli olan karbonhidrat çatısıdır ve buda kırılma sebebidir. Bundan başka lignin ağının çapraz bağlanması bu polimerin direncini arttırmaktadır.

#### **1.1.7.6.2 Eğilme ve dinamik eğilme (Şok) direnci**

Eğilme testinde örnekler kırılma meydana gelinceye kadar birkaç dakika boyunca artan bir kuvvet ile yüklenir. Eğilme süresince örnekte üst yüzeyinde basınç gerilmeleri, alt yüzeyinde çekme gerilmeleri ve orta bölgesinde makaslama gerilmelerinin kombinasyonu olan iç gerilmeler meydana gelir. Isıl işlem uygulamasından sonra çekme direncinde azalma ve makaslama direncinde daha fazla azalma olmasına rağmen eğilme direncinde önemsiz bir azalma meydana gelmektedir.

Eğilme direncindeki azalma ile hemiselüloz bozunması arasında ilişki vardır. Hemiselüloz içeriği ve yapısındaki değişimler hemiselülozun thermo-kimyasal olarak odunun en hassas bileşeni olması nedeniyle eğilme direncindeki ilk kayıplarından öncelikli olarak sorumludur. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça eğilme direncindeki azalma artmaktadır. Bunu uygulanan yüksek ısı işlem sıcaklığı ve uzun ısı işlem süresi neticesinde hemiselülozdaki bozunma miktarının artması doğrulamaktadır. Başlangıçta gözlemlenen direnç kayıplarının diğer bir sebebi olarak, hemiselülozun bozulması anlamına gelen hemiselülozun polimerizasyon derecesindeki azalma gösterilmektedir. Bu durumda hemiselüloz önceden varsayılandan daha fazla odun liflerinin direncine direkt olarak katkı sağlamaktadır. (Boonstra 2008).

Isıl işlem uygulanmış örneğin eğilme testi süresince ani kırılması dikkate değerdir. Isıl işlem uygulanmamış örnekte ise kademeli kırılma söz konusudur. Isıl işlem uygulanmış örneklerde toplam tüketilen enerji ısı işlem uygulanmamış örneklere göre daha düşüktür (Hill 2006).

### **1.1.7.6.3 Eğilmede elastikiyet modülü**

Odunun elastik özellikleri üzerine ısıtım işlem uygulamasının etkileri eğilme testi süresince elastikiyet modülündeki artmaya rağmen oldukça sınırlıdır. Hemiselülozun bozunması, lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşım kapasitesinin bozulması ve kristalimsi selüloz molekülündeki nispi artma elastikiyet modülünün artmasına katkıda bulunur. Ayrıca lignin bağının çapraz bağlanmasındaki artma orta lamelin direnç karakteristiklerini ve selüloz mikrofibril/fibrilleri etrafındaki rijit yapıyı iyileştirdiği için elastikiyet modülünü büyük olasılıkla etkilemektedir. Bundan başka ısıtım işlem uygulanmış odun ısıtım işlem uygulanmamış oduna nazaran hücre çeperinde daha az bağı su içermesi sonucu daha az higroskopik olması ve bu durumun odunu daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilemektedir (Boonstra 2008).

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kara (2011), Kızılçam (*Pinus brutia* Ten) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) odunu lifleri ile deneme levhaları saf (%100) ve karışım (%50-%50) halinde olmak üzere iki farklı tipte üç farklı yoğunluk seviyesi (660, 680, 700 kg/m<sup>3</sup>), beş farklı tutkal miktarı (180, 185, 190, 195, 200 kg/m<sup>3</sup>) kullanılarak üretilen orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) bazı fiziksel ( kalınlık artışı, su emme ) ve mekanik (eğilme, eğilmede elastikiyet modülü, liflere dik ve paralel çekme direnci, yüzey absorpsiyonu, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü) özellikleri üzerine hammadde türü, levha yoğunluğu ve tutkal miktarının etkisi araştırılmıştır. Üretilen deneme levhalarının bazı fiziksel özellikleri incelendiğinde; 24 saat su alma ve kalınlığına şişme değerleri 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk seviyesinde 190-200 kg/m<sup>3</sup> tutkal oranları için karışım halinde üretilen MDF' lerde tespit edilmiştir. Deneme levhalarının mekanik özelliklerinden çekme ve vida tutma direnci haricinde ki diğer tüm dirençlere ait en iyi sonuçların benzer şekilde karışım halindeki 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip levhalardan üretildiği belirlenmiştir.

Athanassiadou, Tsiantzi ve Markessini (2010) kompozit panel üretimlerinden açığa çıkan kabul edilebilir formaldehit emisyon düzeyleri son 10 yıldır sürekli düşmekte olduğunu, 2004'te WHO'nun Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi formaldehitin yeniden sınıflandırılması gerektiğine karar vererek, bilimsel veriler ışığında Grup 1 içersinde yer almasını önermiştir (URL-2, 2004). Bu öneri, yasal olarak geçerli olmakla birlikte, işçi ve tüketici birlikleri, çevre örgütü (Green Organisation), düzenleyici yetkilileri, endüstri (formaldehit kullanıcı ve üreticileri) işletmeleri tarafından kabul edilmiştir. İnsanların sağlığını korumayı amaç edinen ve endüstriyel düzeyde kabul edilebilir formaldehit oranlarını CHİMAR, yeni ahşap yapıştırıcı teknoloji sistemlerini geliştirdi. Bu sistem en sıkı formaldehit standartlarına uyum sağlayan kompozit paneller için ( YL, MDF, ince MDF, Kontrplak ve OSB ) geliştirilmiştir. Hatta elde edilen panellerdeki formaldehit emisyon oranları doğal odundaki emisyon düzeyinde ( Süper E0 ve Japon F\*\*\*\* ) elde edilmiş ve yapışma performansı ve maliyet verimliliği de artmıştır.



Ayrılmış (2010) Kauçuk Ağacından elde edilmiş liflere 3 farklı sıcaklıkta(120 °C,150 °C ve 180 °C) ve 2 farklı sürede ( 15 ve 30 dk ) ısıtım işlem uygulayarak, fiziksel ve mekanik özelliklerini test etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre artan ısıtım işlem sıcaklık ve sürelerde levhaların kalınlığına şişme değerleri artmakta olup bu durumun tam tersine mekanik özelliklerinde düşüşler tespit etmiştir. Ancak yinede elde edilen sonuçların EN standartlarına uygun neticeler verdiği ve daha yüksek bir su direnci uygulamaları için ısıtım işlem sıcaklığının 180 °C ve ısıtım süresinin 30 dk olarak seçilmesinin uygun olduğu, ağırlık kaybının ise önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Boran ve Usta (2010) Formaldehit orta yoğunlukta lif levha (MDF), yonga levha, kontrplak gibi odun esaslı panellerdeki tutkalların üretiminde kullanılan renksiz, zehirli ve güçlü bir kokuya sahip bir kimyasal maddedir. Odun esaslı paneller arasında en yüksek formaldehit yayılımı MDF ürünlerinde görülmektedir. Formaldehit konsantrasyonu yüksek olduğunda insanlarda kansere neden olabilmekte ve özellikle kapalı ortamlarda göz, burun ve boğazda irritasyona ve birçok alerjik reaksiyona sebep olmaktadır. Günümüzde, formaldehit emisyonuna neden olan formaldehit esaslı tutkal ile üretilen levha ürünlerinde serbest formaldehit içeriğinde yasal sınırlamalar zorunlu hale gelmektedir. Bu çalışmada, formaldehit sınırları hakkında güncel bilgileri değerlendirmişlerdir.

Aydemir, Gündüz (2009) 150 °C ve üstündeki sıcaklıklardaki muamelelerle odunun rengi değiştirilebilmekte, biyolojik direnç ve boyutsal stabilizasyon iyileştirilebilmektedir. Fakat odunun mekanik özelliklerinde kayıplar olmakta ve odunun kimyasal yapısı değişmektedir. Bu dezavantaj ısıyla muamele edilmiş odunun, kullanım yerini sınırlamaktadır. Dünya’da en yaygın kullanılan muamele metodu “Thermowood” olarak adlandırılmakta ve muamele su buharı altında yapılmaktadır. Bu yöntem Finlandiya’da kullanılan ve patenti de bu ülkeye ait olan endüstriyel bir metottur. Bu çalışmada, ahşabın fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelelenin etkisi araştırılmıştır.

Ayrılmış (2009) ticari bir dizi fenol formaldehit ile yapıştırılmış MDF panelleri, farklı sıcaklık ve sürelerde sıcak bir presten yararlanarak ve panel ve pres plakaları arasındaki temas sadece levhaları sıkıca tutacak şekilde ısıtılmıştır. Isıtılmış MDF panellerinin fiziksel özellikleri ve statik eğilme dirençleri ASTM D 1037 (2002) standardına göre değerlendirilmiştir. Üretim sonrası ısıtılmış MDF panellerindeki sonuçlar kalınlığına şişme oranlarında bir iyileşme göstermiştir. Su alma ve doğrusal genişleme özellikleri ısıtılmış MDF panellerle ters yönde etkilenmiştir. Isıtılmış MDF panellerinin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri artan sıcaklık ile düşmüştür.

Üçlü bir dizi halinde test örnekleri klima odalarında % 65, % 90 ve periyodik % 65–90 bağıl nemde sabit 20 °C’de kondisyonlaşmıştır. Bekleyen test örnekleri genel olarak ASTM D 6815-02a (2002) belirtilmiş yöntemler izlenmiştir. Son levhalara uygulanmış ısıtılmış ısıtılmanın artan sıcaklığı ile panellerdeki dönmelerde artmıştır.

Gündüz et al. (2009 a) ahlât odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtılmanın etkisini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, 160°C’de 2 saat ısıtılma ile elastikiyet modülünün yaklaşık %5 arttığını, eğilme direncinin %7.42, basınç direncinin %7.55 azaldığını tespit etmişlerdir.

Özçifçi, Altun ve Yapıcı (2009) sarıçam odunu (*Pinus sylvestris* L.) 4 saat, 6 saat ve 8 saat süre ile 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıkta ısıtılma uygulamıştır. Deney sonuçlarında, ısıtılma görmüş sarıçamın eğilmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, basınç direnci, ağırlık kaybı, toplam renk değişimi ve hacimsel şişme değerleri belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre ısıtılma sarıçamın elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerini düşürürken, basınç direnci değerini arttırmıştır. En fazla etkilenen mekanik direnç, eğilme direnci olmuştur. Isıtılma sarıçamın renginde koyulaşmaya neden olurken hacimsel şişmesi yaklaşık % 50 azalmıştır. Isıtılmanın sıcaklığı ve uygulama süresi arttıkça, bu özelliklerdeki değişim miktarları da yükselmiştir.

Karakaş (2008) ahlât odunu 2 farklı sıcaklık (160, 180°C) ve 3 farklı sürede (2, 4 ve 6 saat) ısıtılma tabi tutarak, %50, %65 ve %85 bağıl nem ortamlarında rutubet

içeriği, parlaklık, renk değişimi ve boyutsal kararlılığını belirlemiş; mekanik özellikleri (eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci) ısıtılma işlem sonrası bulmuştur. Sonuçta fiziksel özelliklerde iyileşme görülürken, mekanik özelliklerde kayıp gözlenmiştir. 6 saatte mekanik özelliklerdeki düşüş, 2 ve 4 saattekinden daha yüksek olmuştur.

Korkut (2008) Uludağ köknarının (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) bazı mekanik özellikleri (basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, janka sertlik ve çekme direnci) üzerine ısıtılma işleminin etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda; ısıtılma işleminin, odunun mekanik özelliklerini istatistikî olarak anlamlı bir şekilde düşürdüğü belirlenmiştir.

Korkut ve ark. (2008 b) sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı mekanik özellikleri (eğilmede elastikiyet modülü, janka sertlik, şok direnci, liflere dik çekme direnci, basınç direnci ve eğilme direnci) üzerine, ısıtılma işleminin etkilerini belirlemişlerdir. 2, 6 ve 10 saat süre ile 120, 150 ve 180 °C sıcaklıkta ısıtılma işlemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; en az direnç kaybının 120°C'de 2 saat ısıtılma işlemi uygulaması ile en fazla direnç kaybının ise 180 °C'de 10 saat ısıtılma işlemi uygulaması neticesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Uygulanan sıcaklık ve sürenin artışı ile direnç değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Aydemir (2007) atmosferik şartlar altında 3 farklı sıcaklık (170, 190 ve 210 °C) ve 3 farklı zamanda (4, 8 ve 12 saat) köknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) örneklerine ısıtılma işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak, ısıtılma işleminin örneklerin fiziksel özellikleri üzerine özellikle de denge rutubeti ve renk değişimi üzerine etkisinin olumlu olduğu görülmüştür. Sıcaklık ve sürenin artmasıyla mekanik ve teknolojik özelliklerde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Mohebbi ve Ilbeighi (2007) Bu çalışmanın ana ilgi konusu, MDF'nin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine hidrotermal işlem uygulanmış lifin etkisi araştırılmıştır. Endüstriyel lifler, bir silindirde 120,150 ve 180 °C sıcaklıklarda, 0, 30 ve 90 dk sürelerde hidrotermal olarak muamele edildi. Levha yoğunluğu 700 kg/m<sup>3</sup>,

levha kalınlığı 10 mm, pres basıncı 30 bar, pres sıcaklığı 170 °C ve presleme zamanı 10 dk esas alınarak üretimleri yapılmıştır. Standart ölçülerdeki örnekler; Çekme direnci (IB), Elastikiyet Modülü (MOE) ve Kopma Modülü (MOR), Kalınlığına şişme ve Su emmeleri belirlemek için hazırlanmış levhalardan kesilmiştir. Sonuçlarda, su emmenin hidrotermal muameleden etkilenmediği ancak kalınlığına şişmenin iyileştiği görüldü. MOE, MOR ve IB ise biraz hidrotermal muamele ile düştüğü görüldü.

Okino, Teixeira ve Del Menezzi (2007) Servi ağacı ( *Cupressus glauca* Lam ) kullanılarak elde edilen OSB levhalarının ısıl işlem öncesi ve sonrası hem fiziksel ve mekanik özellikleri hem de mantar saldırılarına karşı hassasiyetleri belirlenmiştir. Üretilen levhaların yoğunluğu 700 kg/m<sup>3</sup> ve %5- %8 oranlarında Üre Formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Isıl işlem uygulanmış OSB levhalarında elastikiyet modülü az da olsa düşmüş, boyutsal stabilite ise önemli oranda iyileştiği tespit edilmiştir. Biyolojik tahlillerde ise ( mantarlar için ) kütle kayıpları azalmıştır. Üretilen OSB levhalarına uygulanan ısıl işlem sıcaklığı 190 °C ve 12 dk süre ile yapılmış olup, bu durumun tavsiye edilebilir vurgusu yapılmıştır.

Akgül (2006) yaptığı çalışmada üre ve melamin formaldehit tutkalı kullanarak 600, 700 ve 800 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklarda lif levhalar üretilmiştir. Mısır sapları kullanılarak üretilen lif levhaların suya karşı dayanımlarının yeterli olmadığını belirtmiştir. Ancak levhaların mekanik özelliklerinin standartlarda belirtilen değerlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda mısır sapı lifleri kullanarak kabul edilebilir değerlerde orta yoğunlukta lif levha üretmenin mümkün olduğu belirlenmiştir.

Bekhta, Cka ve Morze (2003) YL, MDF ve OSB gibi farklı odun esaslı panellerin 20 °C ve 140 °C arasındaki sıcaklıklarda yapışma direnci üzerine çalışılmıştır. Çalışılan tüm paneller için sıcaklığın yapışma direnci üzerinde etkisi olduğu bulunmuştur. Bir saat sonra 140 °C'de ki sıcaklığın panellerin yapışma direnci üzerine etkisi YL için % 40, MDF için % 37 ve OSB için % 30 kadar azalmıştır ( 20 °C sıcaklık ile

kıyaslandığında). Bu çalışmanın sonuçları odun esaslı panel uygulamalarında sıcaklığın etkisini düşürmenin önemli olduğunu göstermiştir.

Militz (2002) farklı ısıl işlem proseslerini; odunun fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri, biyolojik olarak performansı ve hücre duvarı polimerlerinin kimyasal dönüşümünü incelemiştir. Odunun direnci, odun türü ve muamele şartlarına bağlı olarak kısmen değişmiştir. Şok direncinin tüm ısıl işlem muamelelerinde en çok düşüş gösteren özellik olduğu belirlenmiştir. Yapısı değişen odunun rutubet alışverişinin düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem görmüş odunun histerez eğrisinin ısıl işlem görmemiş olanından daha düşük seviyelerde olması rutubet alışverişi üzerinde ısıl işlemin güçlü etkisinin olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Yıldız (2002 b) Doğu kayını ve Doğu ladini odunlarını atmosferik şartlarda 2, 6 ve 10 saat sürelerde; 130, 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutmuştur. Sonuç olarak, fiziksel özelliklerden boyutsal stabilizasyonda ısıl işlemin olumlu olduğunu göstermiştir. Mekanik ve teknolojik özellik değerlerinde genellikle maruz olunan şartların ve sıcaklığın artmasıyla bir düşüş olduğu görülmüştür. Holoselülozların ısıl işlemde en çok degrade olan bileşen olduğu belirlenmiştir.

Santos (2000) okaliptüs odunu üzerinde %25'lik su itici etkinlik (ASE) değeri ve 180 °C sıcaklıklarda 3 saat ısıl işlemin etkisini araştırmıştır. Isıl muamelenin, odun direncini ciddi olarak etkilediği belirlenmiştir. Muamele edilmiş odunun çekme direnci %26 oranlarında düşmüş, elastikiyet modülü (MOE) değerlerinin normal odunun değerlerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

İstek (1999) hammadde olarak saman (*Triticum aestivum* L.) sapları ve odun karışımından yararlanarak üç farklı tutkal oranlarında (%8, %10, %12), üç farklı presleme zamanlarında (5, 6 ve 7 dk), iki farklı yoğunluk seviyesinde (700-800 kg/m<sup>3</sup>) levhalar üretmiştir. Yapılan çalışma sonunda optimum değerler olarak 800 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk, % 12 tutkal miktarı ve 6 dk presleme zamanı elde edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1 Kullanılan ağaç türleri ve özellikleri

Deney örneklerinin elde edildiği levhaların odun karışımlarında, Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ağaç türleri kullanılmıştır. Üretimde kullanılmış olan Anadolu Karaçamı türü, Sinop-Ayancık, Doğu kayını ise Bartın bölgesi Orman İşletmelerinden temin edilmiştir.

##### 3.1.1.1 Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra var. pallasiana*)

Genellikle 40 m boy, 2 m'ye kadar çap yapabilen 1. Sınıf orman ağacıdır. Yaşlı gövdelerinde derin çatlakları ve kalın kabukları vardır. Dalları uzun ve kalındır. Yaşlılarda kabuk kırmızımsı koyu kurşuni ve yırtılmış, son sürgünler tüysüz soluk sarı renktedir (Göker 1977).

Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra var. pallasiana*), ülkemizde çok geniş bir yayılıma sahiptir. Kuzey Anadolu dağlarının içe bakan yamaçlarında; Batı Anadolu, Güney Anadolu'nun (özellikle Torosların) kuzeye bakan yamaçlarında Kızılcım, Sarıçam, Sedir, Ardıç, Gökmar, Kayın ve Meşe taksonları ile karışık bükler veya saf ormanlar kurar (Yaltırık ve Efe 1994).

Diri odun sarımsı ve kırmızımsı beyaz renktedir. Öz odunu koyu renklidir. Diri odun yaşlı ağaçlarda dar, genç ağaçlarda ise oldukça geniştir. Öz ışınları çok ince olup enine kesitte büyüteçle dahi görülmemektedir. Yaz odunu ve İlkbahar odunu sınırları belli olup yaz odunu tabakası kahverengimsi mor renktedir. Enine kesitte reçine kanalları çoğunlukla yaz odunu içinde bulunmaktadır (Göker 1977). Traheidler 1,8-4,5 mm uzunlukta, ilkbahar odununda yaz odununa geçiş ani, ilkbahar odununda radyal çeperler üzerinde kenarlı geçitler büyük ve tek sıralı, oranı % 93,1'dir. Boyuna paranzimler bulunmamaktadır (Bozkurt 1992).

Karaçam odununa ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.1’te verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Karaçam Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (Göker 1977).

Yoğunluk	Tam Kuru	gr/cm <sup>3</sup>	0,52
	Hava Kuru	gr/cm <sup>3</sup>	0,56
Hacim Yoğunluk		gr/cm <sup>3</sup>	0,456
Daralma Miktarı	Boyuna Yönde	%	0,23
	Radyal Yönde	%	5,58
	Teğet Yönde	%	8,19
	Hacimsel	%	13,9
Liflere Paralel Basınç		kp/cm <sup>2</sup>	479
Eğilme Direnci		kp/cm <sup>2</sup>	1096
Dinamik Eğilme Direnci		kgm/cm <sup>2</sup>	0,56
Liflere Dik Çekme Direnci		kp/cm <sup>2</sup>	23,4
Liflere Paralel Çekme Direnci		kp/cm <sup>2</sup>	1124
Makaslama Direnci		kp/cm <sup>2</sup>	67,1
Brinell Sertlik	Liflere Paralel Yönde	N/mm <sup>2</sup>	4,29
	Liflere Dik Yönde	N/mm <sup>2</sup>	2,02

### 3.1.1.2 Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.)

Genellikle 30-40 m boy, 1 m’ye kadar çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli 1. Sınıf orman ağacıdır. Kabuğu açık kül rengi olup ince düzgündür. Genç sürgünleri tüylüdür. Ülkemizde en geniş yayılışını ve en iyi gelişimini Karadeniz bölgemizde yapar. Demirköy’den Hopa’ya kadar Karadeniz sahiline paralel uzanan dağların orta ve yüksek kısımlarında, Kuzeye yönelik yamaçlarda saf ve karışık ormanlar oluşturmaktadır. Marmara Bölgesi ve Anadolu’da yer yer görülür. Güney Anadolu’da Adana’nın Pos ormanlarında, Amanos Dağlarında ve Maraş-Andırın yöresinde local olarak bulunur (Yaltırık ve Efe 1994; Yaltırık 1998).

Odunu kırmızımsı beyaz renkte ve olgun odun özelliklerine sahiptir. Diri odun genişliği 5-15 cm arasında değişir. Odunu sert ve ağırdır, kolay yarılr (Yaltırık ve Efe 1994). Enine kesitte traheler yıllık halkanın her tarafına dağılmış durumdadır. Yıllık halka sınırları koyu renkli yaz odununda trahelerin az sayıda olması ile belirgindir. Geniş öz ışınları çıplak gözle bile görülmekte ve 0,1-0,5 mm aralıktadır (Yaltırık ve Efe 1994; Yaltırık 1998). Doğu kayını odunu, anatomik elemanların diri odundaki oranları Çizelge 3.2’ de ve fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

**Çizelge 3.2** Doğu kayını odununun anatomik elemanların diri odundaki oranları (Bozkurt 1992 ve Malkoçoğlu 1994).

Trahe		%	33,90
Libriform lif		%	45,78
Öz Işını		%	20,20
Boyuna Paransim		%	5
İlkbahar Odunu	Lif Uzunluğu	mm	1,242
	Lif Genişliği	μ	20,20
	Lümen Çapı	μ	9,75
	Lif Çeper Kalınlığı	μ	5,11
Yaz Odunu	Lif Uzunluğu	mm	1,238
	Lif Genişliği	μ	17,92
	Lümen Çapı	μ	6,2
	Lif Çeper Kalınlığı	μ	5,66

Kayın odunu % 22,57 lignin, %78,87 holoselüloz, % 25,21 Pentozan, % 0,61 oranında kül içermektedir. Eterde % 1,04, Alkol - benzende % 1,5, Alkolde % 0,28, sıcak suda % 1,92 ve % 1’lik NaOH’da % 15,62 oranında çözülmüştür (Yılğör 1999).



**Çizelge 3.3** Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (Malkoçoğlu 1994)

Yoğunluk	Tam Kuru	gr/cm <sup>3</sup>	0,645
	Hava Kuru	gr/cm <sup>3</sup>	0,669
Hacim Yoğunluk		gr/cm <sup>3</sup>	0,456
Daralma Miktarı	Boyuna Yönde	%	0,29
	Radyal Yönde	%	4,97
	Teğet Yönde	%	11,2
	Hacimsel	%	16,21
Liflere Paralel Basınç		kp/cm <sup>2</sup>	572
Eğilme Direnci		kp/cm <sup>2</sup>	1123
Elastikiyet modülü		kp/cm <sup>2</sup>	130822
Dinamik Eğilme Direnci		kgm/cm <sup>2</sup>	0,95
Liflere Dik Çekme Direnci	Radyal	kp/cm <sup>2</sup>	34,74
	Teğet	kp/cm <sup>2</sup>	38,07
Liflere Dik Çekme Direnci	Radyal	kp/cm <sup>2</sup>	92,27
	Teğet	kp/cm <sup>2</sup>	99,75
Makaslama Direnci		kp/cm <sup>2</sup>	1316
Brinell Sertlik	Liflere Paralel Yönde	N/mm <sup>2</sup>	5,49
	Liflere Dik Yönde	N/mm <sup>2</sup>	2,86

### 3.1.2 Levha üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeleri

MDF levhalarının üretiminde;

- Üre Formaldehit tutkalı
- Parafin emülsiyonu
- Amonyum Sülfat kimyasalları kullanılmıştır.

Deneme levhalarının üretiminde kullanılan tutkal, parafin, sertleştirici gibi kimyasal maddelerin isim ve bazı teknik özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. % 60'lık üre formaldehit tutkalı, sertleştirici madde olarak kullanılan Amonyum Sülfat ile

karıştırılarak Lif içersine enjekte edilmiştir. Kuru lif ağırlığına oranla % 13 faktörle verilen katı tutkal içersindeki sertleştirici madde oranı % 0,7 seviyede verilmiştir. Sertleştirici olarak kullanılan amonyum sülfatın katı madde oranı %10'dur. Bu şartlardaki tutkalın jelleşme yani sertleşme zamanı 80 sn olarak elde edilmiştir. Hidrofobik madde olarak kullanılan parafin emülsiyonunun katı madde oranı % 40 ve kullanım miktarı ise tüketilen katı tutkala oranla % 1 seviyededir. Parafin emülsiyonu, pişirme kazanı sonrası defibratör segmentlerinden önce yani lif içersine değil de yonga içersine verilmiştir. Çizelge 3.4'te deneme levhalarının üretiminde kullanılan kimyasallar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Üretimde kullanılan kimyasalların spesifik değerleri.

<b>Kimyasal Maddeler</b>	<b>Birim</b>	<b>Ölçüm Değeri</b>
<p>Ürün Adı: Üre formaldehit</p> <p>Görünüş</p> <p>Katı Madde</p> <p>Formaldehit / Üre Mol Oranı</p> <p>Yoğunluk ( 20 C° )</p> <p>Vizkosite ( 20 C° )</p> <p>Akma Zamanı ( 20 C° , FC4 )</p> <p>Jelleşme Zamanı ( 100 C° ) ( %10 luk NH<sub>3</sub>SO<sub>4</sub> )</p> <p>Ph</p>	<p></p> <p>%</p> <p>%</p> <p>gr/cm<sup>3</sup></p> <p>cps</p> <p>sn</p> <p>sn</p>	<p>E2 - 60</p> <p>Temiz, Beyaz sıvı</p> <p>60</p> <p>1,15</p> <p>1,255</p> <p>180</p> <p>25 – 30</p> <p>70 – 80</p> <p>7 – 8,5</p>
<p>Ürün Adı: Parafin</p> <p>Görünüş</p> <p>Katı Madde</p> <p>Ph</p> <p>Yoğunluk</p>	<p></p> <p>%</p> <p>gr/cm<sup>3</sup></p>	<p>Işıksan IK - 1200</p> <p>Krem, light</p> <p>40 + 1</p> <p>7</p> <p>0,94</p>
<p>Ürün Adı: Sertleştirici</p> <p>Görünüş</p> <p>Katı Madde</p> <p>Yoğunluk</p>	<p></p> <p>%</p> <p>gr/cm<sup>3</sup></p>	<p>Amonyum Sülfat (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></p> <p>Kirli beyaz</p> <p>10</p> <p>1,05</p>

## 3.2 YÖNTEM

### 3.2.1 Deney levhalarının üretimi

Bu çalışmaya konu olan ağaç türleri yongalama ünitesi olan 1995 model klöckner tipi yongalama makinesinde ideal yonga boyutlarında (kalınlığı 3–5 mm, genişliği 19–20 mm, , uzunluğu 16–25 mm aralıklarında) elde edilir. Sert ve yumuşak odun yonga silolarında depolanan yongalar ayrı ayrı 2 gözlü besleme haznelere konulur. Burada yongalar boşaltma helezonları ile hızları ayarlanarak istenilen odun karışımı elde edilmiştir. Yongalar bantlı konveyörle taşınarak mekanik sallantılı elekte ince ve kaba yongaları ayrıldıktan sonra bantlı konveyör ile yonga silolarına taşınır. Silo içerisinde ki yongalara buhar verilerek ön ısıtma başlamış ve altta bulunan sonsuz vida (helezon) ile mantarlaştırma işlemi de yapılarak pişirme kazanında liflendirme işlemi başlamıştır. Pişirme kazanında yongalar 9 bar buhar ve 180 °C sıcaklıkta 2-3 dk pişirme işlemine tabi tutulur. Pişirme kazanı altında bulunan sonsuz vida (helezon) ile yongalar parafin emilasyonu ilavesi de yapılarak refiner segmentlerine gelir. Sabit ve hareketli olmak üzere karşılıklı 2 adet segment arasında yongalar bireysel liflere dönüşerek tutkallama işlemi ile birlikte kurutma hattına sevk edilirler.

Düz boru tip kurutucu 150 m uzunluğunda ve 180 cm çapındadır. Kurutma girişi serpantinlerde 280 °C sıcaklıktaki kızgın yağ dış ortamdan alınan havayı filtrelerden geçirerek 170 – 180 °C sıcaklığa kadar yükselterek ve lifler için kurutma başlamış olur. Kurutma içi hava hızı yaklaşık 30 – 32 m/s'dir. Kurutma çıkışı sıcaklık 55-60 °C' ye düşer ve lif rutubeti % 5,5 – 6 olarak gerçekleşir. Kurutma içi taşıma pinomatik sistemle yapılmaktadır.

Kurutma sonrası lifler serme istasyonunda şekillendirici ve tırmıklar vasıtasıyla taslak haline getirilerek ön presleme işlemi yapılır. Belirlenen taslak genişliğine göre yan testerelerde fazlalık kısım kesildikten sonra ön ısıtma sonrası presleme işlemi başlamaktadır.

Form hattında % 5,5 rutubetteki taslak, “Siempellkamp” marka sürekli preste, 200 – 230 °C sıcaklık ve 30 – 40 kg/cm<sup>2</sup> basınç altında preslenmiştir. Presleme faktörü 6 sn/mm olarak tüm deney levhaları için aynı seçilmiştir. Presleme işlemi sırasında levhaya temas eden çelik bantların sıcaklıkları Thermal Kamera ile 160 °C olarak ölçülmüştür. Levhaların ilk pres çıkışında sıcaklıkları yaklaşık 107 °C ve % 3-4 rutubette ölçülmüştür. Bu şartlarda presten 19 mm olarak çıkan levhalar zımparalama işlemi sonrası kalınlık 18 mm olarak deney levhaları hazırlanmıştır. Çizelge 3.5’te Deney levhalarının üretimi sırasındaki çalışma değerleri verilmiştir.

**Çizelge 3.5** Deney levhalarının üretim değerleri

Üretim Değerleri	Ölçüm Birimi	Ölçüm Değeri	
		Karaçam	Kayın
Odun Karışımı	%	50	50
Yonga Boyutları	mm	20 x 17 x 4	
Yonga Rutubeti	Tür	Karaçam	Kayın
	%	85	55
Ön Isıtma Sıcaklığı	°C	80	
Piştirme Kazan Sıcaklığı	°C	180	
Piştirme Süresi	dak.	1,5-2	
Piştirme Buhar Basıncı	Bar	9,5	
Kurutma Hava Giriş Sıcaklığı	°C	175	
Kurutma Hava Çıkış Sıcaklığı	°C	60	
Kurutma Hattı Uzunluğu	m	150	
Kurutma Hattı Çapı	m	1,8	
Kurutma Hızı	mm/sn	30-32	
Taslak Rutubeti	%	5,5	
Tutkal Faktörü	%	13	
Sertleştirici Faktörü	%	0,7	
Parafin Emülsiyonu (Katı tutkala oranla)	%	1	
Jell Time	sn	80	
Ön Pres Basıncı	Bar	200-215	
Pres Basıncı	kp/cm <sup>2</sup>	35-40	
Pres Sıcaklığı	°C	200-230	
Pres Zamanı	mm/sn	180	
Presleme Faktörü	sn/mm	6	
Klimate Süresi	dak.	30 – 120 - 600	

Deneme levhaları 3 farklı şekilde alınmıştır. Presleme işlemi sonrası levhalar 3 farklı zamanlarda (30 dk, 120 dk ve 600 dk) bekletildikten (kondisyonlama) sonra ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Her bir bekletme zamanı için 3 farklı ısıtılma işlem sıcaklığı ve her ısıtılma işlem sıcaklığı içinde 3 farklı ısıtılma işlem süreleri seçilmiştir. Aynı zamanda ısıtılma işlemine tabi tutulmamış ve bekletme zamanları yapılmamış Kontrol levhaları da alınmıştır.

Uygulanan ısıtılma işlem 2 farklı yoğunlukta üretilmiş olan MDF levhalarına uygulanmış olup toplam eşit sayıda 10 adet deney levhası alınmıştır. Isıtılma işlem uygulanmış deney levha sayısı ise, farklı 2 yoğunluk seviyesinde eşit sayıda olmak üzere toplam 54 adettir.

2 farklı yoğunluk (700 ve 740 kg/m<sup>3</sup>) seviyesine göre elde edilen tüm deney levhalarında üretim şartları aynı seviyede tutulmuştur.

Çizelge 3.6’da deney levhalarının hazırlığı ve ısıl işlem uygulama planı verilmiştir.

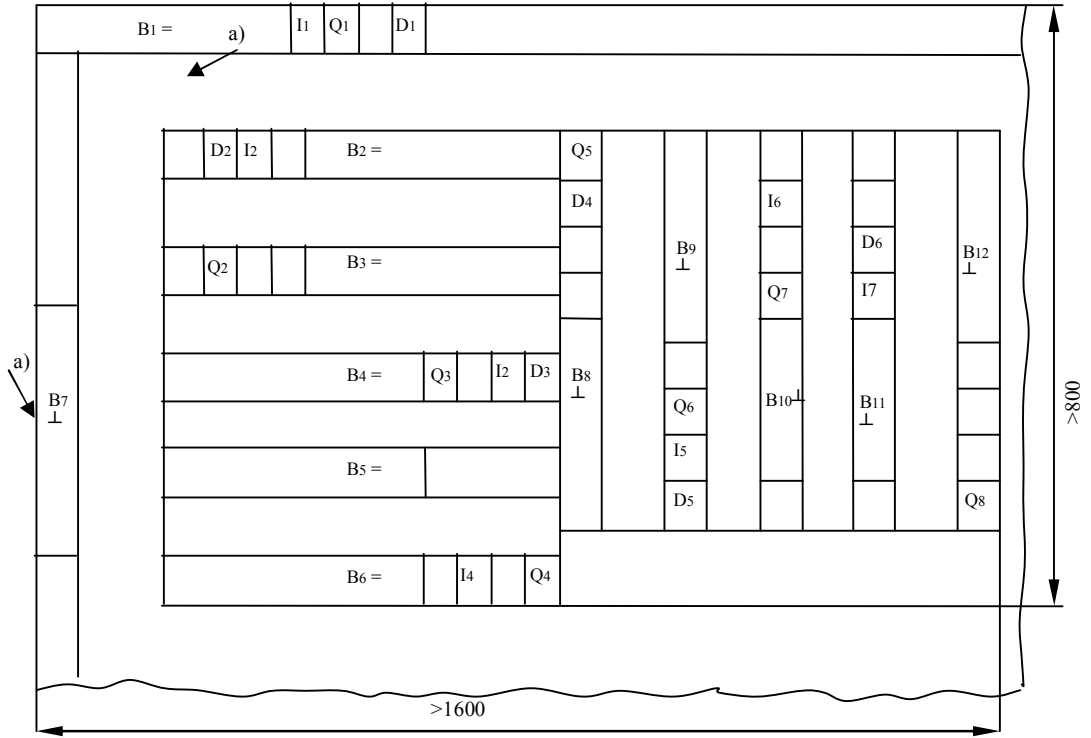
**Çizelge 3.6** Deney Levhalarının Hazırlanışı ve Uygulama Planı

Sıcaklık	Bekletme	Süre	Ölçülen Numune Sayısı	
			700 kg/m <sup>3</sup>	740 kg/m <sup>3</sup>
°C	dk	Saat		
Kontrol	0	0	5	5
155	30	2,5	9	9
		3,5		
		4,5		
	120	2,5		
		3,5		
		4,5		
	600	2,5		
		3,5		
		4,5		
165	30	2,5	9	9
		3,5		
		4,5		
	120	2,5		
		3,5		
		4,5		
	600	2,5		
		3,5		
		4,5		
175	30	2,5	9	9
		3,5		
		4,5		
	120	2,5		
		3,5		
		4,5		
	600	2,5		
		3,5		
		4,5		

Kalınlık: 18 mm, Boy: 490 mm, En: 2100 mm

### 3.2.2 Deney örnekleri

Örnek alma işlemi TS EN 326–1 (Ahşap Esaslı Levhalar-Numune Alma Kesme ve Muayene Bölüm 1’e göre; deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi) standardına göre yapılmıştır. Deneme levhalarından yapılacak deneylerin adları, numune boyutları ve adetleri ile uygulanan standartların numaraları Çizelge 3.7’de verilmiştir.



(=) : Deneý numunesinin boyuna ekseninin levhasının boyuna veya dięer levha çeřitlerinin iřlem yönüne paralel ayarlanacađını gösterir.

(⊥) : Deneý numunesinin boyuna ekseninin kontrplak levhasının boyuna veya dięer levha çeřitlerinin iřlem yönüne dik ayarlanacađını gösterir.

a) : Tıraşlanmış dış kenar

**Çizelge 3.7** Fiziksel ve mekanik özelliklerin tayini için deneý numunelerinin seçimi

Deneý	Deneý Numuneleri Numarası
Yoğunluk	D <sub>1</sub> 'den D <sub>6</sub> 'ya kadar
Eğilme ve elastikiyet modülü	B <sub>1</sub> 'den B <sub>12</sub> 'ye kadar
şişme kalınlığı	Q <sub>1</sub> 'den Q <sub>8</sub> 'e kadar
Çekme mukavemeti	I <sub>1</sub> 'den I <sub>8</sub> 'e kadar

Deneme levhalarından yapılacak deneýlerin adları, numune boyutları ve adetleri ile uygulanan standartların numaraları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.8** Deneme levhalarında yapılacak deneylerin adları, numune boyutları, adetleri ve uygulanan standartlar

<b>Deney Adları</b>	<b>Numune Boyutları mm</b>	<b>Adet</b>	<b>Standart No</b>
24 Saat Suda Kalınlığına Şişme	50x50	10	TS EN 317
24 Saat Su Emme	50x50	10	TS EN 317
Levha Yüz. Dik Yönde Çekme Direnci	50x50	10	TS EN 319
Eğilme Direnci	50x410	10	TS EN 310
Eğilmede Elastikiyet Modülü	50x410	10	TS EN 310
Levha Vida Çekme Direnci	75x50	10	TS 10506
Serbest Formaldehit Miktarı	10x10	150 gr	

### 3.2.3 Isıl işlem uygulaması

Deney numune boyutları Çizelge 3.7’de belirtilen standartlarda kesildikten sonra ısıl işlem uygulaması yapılmıştır. Isıl işlem uygulaması Şekil 3.1’de görüldüğü gibi bir fırın içerisinde yapılmıştır. Fırın içerisinde sol, sağ ve alt yüzeylere yerleştirilmiş rezistanslara şebeke voltajı (220 V) verilmektedir. Fırın bu şekilde ısınırken iç ortam sıcaklığını ölçmek amacıyla dijital bir gösterge kullanılmıştır. Fırın çalışma sıcaklığını gördüğü an röle tarafından ısıtma durdurulmaktadır. Fırın sıcaklığı, çalışma sıcaklığının 1 derece altına düştüğü an ısıtma işlemi tekrar başlamaktadır. Bu şekilde fırın çalışma sıcaklığında tutulmuştur.



**Şekil 3.1** Isıl İşlem Fırını



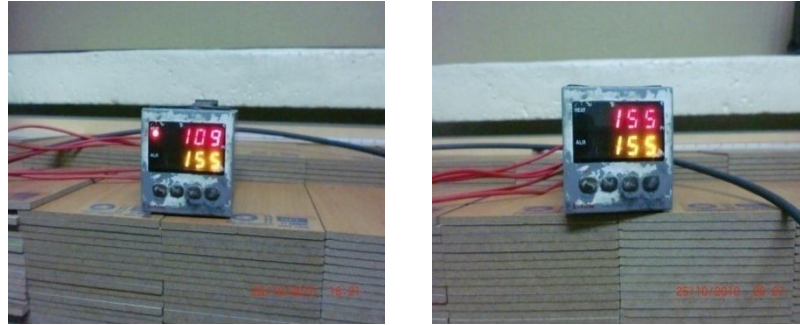
### 3.2.4 Isıl İşlem uygulama aşamaları;

- Soğuk durumdaki fırının alt ızgaralar üzerine, deney levhalarının metal kısımlar ile temasını kesmesi için çıtalar yerleştirildi.



Şekil 3.2 Fırın içi ızgara ve çıtaların durumu

- Fırın 1. Çalışma sıcaklığı olan 155 °C'ye ayarlanmıştır.



Şekil 3.3 Fırın içi dijital sıcaklık göstergesi

- Fırının ayarlanan sıcaklığına gelmesi beklenirken diğer taraftan da ısıl işlem uygulanacak ilk 3 deney örnekleri hazırlandı. Bunun için seçilen ilk örnekler presleme sonrası 30 dk beklemiş olan deney örnekleridir.



**Şekil 3.4** Isıl İşlem uygulanacak deney örnekleri ve dizilişi

- Hazır durumdaki deney örneklerinin hepsi aynı şekilde dizilerek çalışma sıcaklığına gelen fırının içerisine örnekler yerleştirildi. Bu aşamada örneklerin fırın içersinde tüm yüzeyler için eşit mesafede olmalarına dikkat edildi.



**Şekil 3.5** Fırın içersinde deney örneklerinin konumu

Son aşamada deney örnekleri (presleme sonrası 30 dk bekleyen, 155 °C ısııl işlem sıcaklığında 2.5, 3.5 ve 4.5 saat) için ısııl işlem başlatılmıştır. 155 °C' de fırına konulan 3 adet her bir deney partisine deney numaraları yazılmıştır. Bu şekilde örneklerin birbirilerine karışması engellenmiştir.

Kalan diğler ısıl işlem sıcaklıkları ve pres sonrası bekletmeler içinde aynı işlemler uygulanarak ısıl işlem tamamlanmıştır. Isıl işlem örnekleri ayrı ayrı dizildikten sonra oda şartlarında soğumaya bırakılmıştır. Bu şekilde 2 gün bekletilen örnekler daha sonra klima dolabına yerleştirilerek iç ve dış yüzeyler arasındaki rutubetin dengeye gelmesi için 1 ay 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nemde klimatize edilmiştir.

### 3.2.5 Deneilerin yapılması

Deney numunelerinin boyutlarının tayini TS EN 325 (ahşap esaslı levhalar-deney numunelerinin boyutlarının tayini) standardına göre yapılmıştır. Bu standart ahşap esaslı levhalardan alınacak numunelerin en, boy ve kalınlıklarını ölçme metodunu kapsamaktadır.

#### 3.2.5.1 Suda kalınlığına şişme (24 saat)

24 saat su alma miktarının belirlenmesinde 50x50 mm ebatlarında 10 adet numune kullanılmıştır. Deney parçaları % 65 ± 5 nispi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşmaya kadar klimatize edilmiştir. Her deney parçası 0,01 g duyarlıkta terazide tartıldıktan sonra içerisindeki suyun sıcaklığı 20 ± 1 °C olan termostatlı su banyosuna numuneler birbirine değmeyecek şekilde su yüzeyinden 25 mm aşağıda ve kabın alt tabanı ile temas etmeyecek şekilde konulmuştur. 24 saat sonra numuneler sudan dışarı alınıp bir bez ile fazla suyu alınmış ve bu durumdaki ağırlıkları 0,01 g duyarlılıktaki terazide tartılmıştır. Kullanılan su her defasında değiştirilmiştir. Buna göre su alma miktarı eşitlik 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$Gt = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 (\%) \quad (3.1)$$

Burada;

Gt= Kalınlığına şişme oranını (%),

t<sub>1</sub>= Örnek numunenin suya daldırmadan önceki ilk ağırlığı (g),

t<sub>2</sub>= Örnek numunenin suya daldırıldıktan sonraki son ağırlığı (g)

### 3.2.5.2 Su emme (24 saat)

24 saat su içerisinde bekletilen numunelerin kalınlık artımlarının belirlenmesi için su alma deneylerinde kullanılan örneklerden yararlanılmıştır. Örnekler TS-EN 317 (1999)'de belirtilen esaslara uygun olarak 10 adet örnek hazırlanmıştır. Numunelerin tam ortasından  $\pm 0,01$  mm duyarlılıkta kumpasla ölçülmüştür. Deney numuneleri  $20 \pm 1$  °C sıcaklıkta temiz suda 24 saat süre ile su yüzeyinden 25 mm aşağıda ve kabın alt tabanı ile temas etmeyecek şekilde konulmuştur. 24 saat sonra sudan çıkarılan numunelerin fazla suları bir bezle alınmış ve kalınlıklar ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Bunlara göre kalınlık artışı aşağıdaki eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$K_a = \frac{m_y - c_k}{e_k} \times 100 (\%) \quad (3.2)$$

Burada;

$K_a$  = Kalınlık artımı (%)

$m_y$  = Suda bekletilen numunelerin kalınlığı (mm)

$e_k$  = Klimatize edilmiş durumdaki numune kalınlığı (mm)

TS-EN 317 (1999)'da verilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilen 24 saat suda kalınlığına şişme ve su emme test cihazı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 24 saat kalınlığına şişme ve su emme test cihazı

### 3.2.5.3 Yüzeye dik yönde çekme direnci

Yüzeye dik çekme direnci deneyleri TS-EN 319’da verilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bir deneme numunesinden 10 adet olmak üzere 50x50 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, nispi rutubeti %65 ± 5 ve sıcaklığı 20 ± 2 °C olan bir ortamda değişmez kütleye gelinceye kadar kondisyonlaşmıştır. Daha sonra her bir deney numunesinin uzunluk ve genişliği TS-EN 325 (1999)’e uygun olarak 0,01 mm duyarlılıktaki kumpasla ölçülmüştür. Bu işlemlerin ardından numunelerin her iki yüzeyine standartlarda belirtilen profillere uygun alüminyum aparatlar hazırlanmıştır. Bu amaçla polivinil asetat tutkalı (PVAC) kullanılmıştır. Yüzeye dik çekme deneylerinin yapılmasında İmal marka test makinesi kullanılmıştır. Numune, test makinesinin kavrama çeneleri arasında yerleştirilmiş ve çekme kuvveti uygulanarak kırılmıştır. Kuvveti uygulayan başlığın hareket hızı, yükü deney boyunca sabit olarak uygulamasına ve 60 ± 30 saniyede, deney parçasını koparacak maksimum kuvvete ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Deney numunesinin kopmasını sağlayan maksimum kuvvet %1 hassasiyetle ölçülerek kaydedilmiştir. Buna göre yüzeye dik çekme direnci aşağıdaki eşitlik 3.3’e göre hesaplanmıştır.

$$f_{\perp} = \frac{F_{\max}}{a \times b} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.3)$$

Burada;

$f_{\perp}$  = Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

F max = Kopma anındaki kuvvet (Newton)

a,b = Deney numunesinin uzunluk ve genişliği (mm)

TS-EN 319 (1999)’da verilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilen yüzeye dik yönde çekme direnci testi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Yüzeye dik yönde çekme direnci testi

#### 3.2.5.4 Eğilme direnci

Eğilme direnci deneyleri TS-EN 310 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Örnek boyutları 450 x 50 x 18 (levha kalınlığı) mm olarak alınmıştır. Deney numuneleri % 65 ± 5 °C nispi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarında değişmez kütleye ulaşmaya kadar klimatize edilmiştir. 24 saat ara ile yapılan tartmalarda birbirini izleyen iki ölçme arasında kütle farkının, deney parçası kütlesinin % 0,1'inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez olarak kabul edilmiştir. 10'ar adet numunenin klimatize edilme işlemi tamamlandıktan sonra genişlikte yükün uygulanacağı yaklaşık bir noktadan, kalınlıklarda ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde iki noktadan 0,01 mm duyarlılıkta kumpasla ölçerek ortalaması alınmıştır. Deneyler imal test makinesinde yapılmıştır. Buna göre her deney parçasının eğilme direnci eşitlik 3.4'e göre hesap edilmiştir.

$$f_m = \frac{3 \times F_{\max} \times L_s}{2 \times b \times t^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3.4)$$

Burada;

$f_m$  = Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{\max}$  = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

$L_s$  = Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b = Deney numunesinin genişliği (mm)

t = Deney numunesinin kalınlığı (mm)

TS-EN 310 (1999)'da verilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilen eğilme direnci testi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Eğilme direnci testi

### 3.2.5.5 Eğilmede elastikiyet modülü

Eğilmede elastikiyet modülü, TS-EN 310 standartlarına uyularak belirlenmiştir. Deney numuneleri, % 65 ± 5 nispi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklık şartlarında değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kondisyonlaşmıştır. Kuvvet deney boyunca sabit hızla uygulanmış ve yükleme başlığının hızı en büyük kuvvete 60 ± 30 saniyede ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Her deney parçasının elâstikiyet modülü aşağıdaki eşitlik 3.5'te gösterilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$E_m = \frac{L_s^3 \times (F_2 - F_1)}{4 \times b \times t^3 \times (a_2 - a_1)} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3.5)$$

Burada;

$L_s^3$  = Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b = Deney numunesinin genişliği (mm)



$t$  = Deney numunesinin kalınlığı (mm)

$F_2 - F_1$  = Yük-sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı (Şekil 2.3) Newton

$F_1$  = Yaklaşık olarak, en büyük kuvvetin % 10'u,  $F_2$  maksimum yükün % 40'ı olmalıdır.

$a_2 - a_1 = (F_2 - F_1)$  kuvvet artışları nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışıdır.

### 3.2.5.6 Yüzeğe dik ve paralel yönde vida çekme direnci

Vida tutma mukavemetinin tayini TS EN 320 (lif levhalar-vida tutma mukavemetinin tayini ) standardına göre belirlenmiştir.. Deney parçasının yüzey veya kenarından, belirlenen bir vidanın çekilmesi için gereken kuvvet ölçülerek, vida tutma mukavemeti belirlenmiştir.. Kenarlarda vida tutma mukavemetinin tayini kalınlığı en az 15 mm olan levhalar üzerinde yapılır. Metal bağlama tertibatı, kalınlığı 15 mm'den az olan levha yüzeylerinin vida tutma mukavemeti deneyi için, metal bağlama tertibatı ile birlikte merkezi burğu kullanılması tavsiye edilmiştir.

Deney parçaları, %(65±5) nispi rutubet ve (20±2)°C sıcaklık şartlarında, değişmez kütleye ulaşıncaya kadar kondisyonlanmıştır. Deney parçaları, kondisyonlandıktan sonra, vidalar, açılan kılavuz (pilot) deliklere vidalanır. Delikler, (2,7±0,1) mm çapında ve (19±1) derinliğinde olmalıdır. Delikler deney parçasının yüzeyine dik olacak şekilde açılmalıdır. Delikler komşu iki kenarın veya yüzeyin ortasına yerleştirilmiştir(kalınlığı 15 mm'den büyük olan levhalarda, kenarlara vida yerleştirme işlemi yapılmıştır). Bu deneyde; anma boyutu, 4.2 mm x 38 mm, ISO 1478'e göre başlık numarası, ST 4.2, vida dış açıklığı (vida adımı) 1,4 mm olan çelik vida kullanılmalıdır. Vidalar; deney parçaları üzerinde açılan deliklere (15±0,5) mm'lik kısmı, dişlerinin tamamı gömülecek şekilde yerleştirilmiştir. Kalınlığı 15 mm'den az olan levhalarda da deney aynı yolla yapılmıştır. Ancak vidanın uç kısmı 4,2 mm kadar karşı kenardan dışarı taşmaktadır.

Her vidaya; üzerinde vida başlığının rahatlıkla girebileceği bir delik bulunan bir bağlama tertibatı yardımıyla, vida başlığının altında aksel yönde ve giderek artan



bir çekme kuvveti vida tamamen çıkıncaya kadar ve  $(10\pm 1)$  mm/dakika hızla uygulayarak vida çekilmiştir. Vida tutma deneyinde kullanılan deney parçasının her iki kenar ve yüzeyindeki vidanın çekilerek çıkarılması esnasındaki maksimum kuvvet, yaklaşık 10 Newton'a kadar ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra deney parçasının kenarlarından alınan sonuçların aritmetik ortalaması ile yüzeylerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak, yüzeylerde her bir levha için vida tutma kabiliyeti hesaplanmıştır. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da yüzeye dik ve paralel vida çekme dirençleri görülmektedir.



Şekil 3.9 Yüzeye paralel vida çekme



Şekil 3.10 Yüzeye dik vida çekme

### 3.2.5.7 Formaldehit emisyon miktarlarının ölçülmesi

Isıl işlem uygulanmış örnek deney levhalarındaki formaldehit miktarı perforatör metodundan yararlanılarak ölçülmüştür. Bu test için 10 x 10 mm çaplarında kesilmiş olan yaklaşık 150 g küp şeklindeki parçalar bir poşet içerisinde konulmuş ve etiketlenmiştir. Küp şeklindeki bu parçalar cam içindeki özel bir toluen içerisinde kaynatılmıştır. Bu şekilde toluen levha parçaları içerisinde muhteva eden formaldehiti absorbe eder. Başlangıçta levha örnekleri içinde bulunan formaldehit miktarı artık su ile yıkandıktan sonra sudaki solisyon içinde yer almaktadır. Formaldehit miktarı, colourmetrik bir metotdan yararlanılarak kimyasal analiz ile 100 gram levha içerisindeki formaldehit miligram değeri olarak açıklanmıştır (mg/100g).

Şekil 3.11’ de perforatör testi için alınan örnekler ve şekil 3.12’de ise perforatör test cihazı gösterilmektedir.



**Şekil 3.11** Perforatör testi için kesilen küp şeklindeki parçalar



**Şekil 3.12** Formaldehit Emisyon Ölçümü için Perforatör test cihazı

### 3.2.6 İstatistiksel değerlendirme

Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış deney örneklerinin çekme direnci, eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzeye dik ve paralel vida çekme dirençleri ile kalınlığına şişme ve su emme sonuçları için; minimum, maksimum, ortalama ve standart hata değerleri hesaplanmış ve bunlar tablolar halinde verilerek grafikleri çizilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı, ısıl işlem süresi ve presleme sonrası bekletme faktörlerine göre elde edilen değerler arasında farklılıklar olup olmadığını araştırılması amacıyla varyans analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda önemli çıkan faktörlerin kendi içindeki farklılıkları ise Duncan test yöntemi ile homojenlik grupları oluşturularak karşılaştırılmıştır. Buna ilişkin olarak hazırlanan tablolarda değerlerin birbirlerinden farklı olup olmadıkları harflerle belirtilmiştir. Aynı harfler farklılık göstermeyen ortalamaları işaret etmektedir ve aynı harf ile gösterilmemiş ortalamalar %1 yanılma olasılığı ile farklılık gösterirler.

İstatistik değerlendirmeler SPSS istatistik paket programı kullanılarak yapılmıştır. Varyans analizinde F değerleri belirlenmiş ve bu değerler düzenlenen tablolarda gösterilmiştir. F değerlerinin % 5'ten büyük olması durumunda (ns), % 5-%1 arasında olması durumunda (\*), % 1 - % 0.1 arasında olması durumunda (\*\*) ve % 0.1'den küçük olması durumunda (\*\*\*) işaretleri ile açıklanmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Levha Yüzeyine Dik Çekme Direncine ait Bulgular

Isıl işlem uygulanmış örneklerin 3 değişik; presleme sonrası bekleme (30, 120, 600 dk), ısıl işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), ısıl işlem süresinde (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve iki farklı yoğunluk seviyesinde (700-740) yapılan deneyler sonucu elde edilen Çekme Direnci değerlerine ait bazı sonuçlar (minimum, maksimum, ortalama ve standart hata) Çizelge 4,1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Çekme Direnci Değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Sıcaklık	Bekletme	Süre	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S
°C	dk	(Saat)	700 kg/m <sup>3</sup>				740 kg/m <sup>3</sup>			
K 0	K 0	K 0	0,54	0,56	0,55	0,010	0,66	0,73	0,68	0,042
155	30	2,5	0,56	0,70	0,63	0,060	0,63	0,81	0,72	0,074
		3,5	0,58	0,72	0,63	0,061	0,65	0,68	0,67	0,012
		4,5	0,56	0,63	0,59	0,031	0,58	0,73	0,66	0,081
	120	2,5	0,58	0,61	0,59	0,015	0,66	0,69	0,68	0,013
		3,5	0,55	0,71	0,65	0,070	0,65	0,72	0,70	0,031
		4,5	0,57	0,72	0,63	0,068	0,64	0,73	0,70	0,039
	600	2,5	0,51	0,56	0,54	0,023	0,67	0,75	0,71	0,032
		3,5	0,51	0,56	0,54	0,020	0,59	0,80	0,70	0,086
		4,5	0,51	0,53	0,52	0,008	0,58	0,66	0,63	0,041
165	30	2,5	0,51	0,63	0,58	0,049	0,68	0,81	0,77	0,059
		3,5	0,49	0,56	0,52	0,029	0,58	0,72	0,64	0,062
		4,5	0,49	0,64	0,55	0,063	0,63	0,85	0,74	0,095
	120	2,5	0,51	0,53	0,52	0,009	0,72	0,85	0,80	0,059
		3,5	0,51	0,57	0,54	0,032	0,64	0,74	0,69	0,040
		4,5	0,45	0,59	0,51	0,060	0,61	0,78	0,69	0,083
	600	2,5	0,47	0,60	0,54	0,064	0,66	0,71	0,68	0,022
		3,5	0,48	0,55	0,52	0,029	0,67	0,80	0,71	0,060
		4,5	0,53	0,61	0,55	0,040	0,64	0,69	0,67	0,023
175	30	2,5	0,53	0,66	0,60	0,053	0,57	0,67	0,62	0,042
		3,5	0,56	0,58	0,57	0,009	0,45	0,66	0,56	0,089
		4,5	0,52	0,65	0,59	0,054	0,55	0,60	0,57	0,026
	120	2,5	0,58	0,59	0,59	0,005	0,53	0,58	0,56	0,021
		3,5	0,56	0,60	0,58	0,017	0,57	0,65	0,62	0,034
		4,5	0,46	0,50	0,48	0,016	0,57	0,60	0,59	0,012
	600	2,5	0,40	0,44	0,42	0,023	0,60	0,65	0,63	0,020
		3,5	0,41	0,51	0,46	0,047	0,53	0,66	0,59	0,053
		4,5	0,41	0,49	0,46	0,034	0,52	0,63	0,56	0,047

## 4.2 Eğilme Direncine ait Bulgular

Isıl işlem uygulanmış örneklerin 3 değişik; üç farklı presleme sonrası bekletme, üç farklı ısıl işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), üç farklı ısıl işlem süresinde (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve iki farklı yoğunluk (700-740 kg/m<sup>3</sup>) seviyesinde yapılan deneyler sonucu elde edilen Eğilme Direncine ait bazı sonuçlar (minimum, maksimum, ortalama ve standart hata) Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Eğilme Direnci Değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Sıcaklık	Bekletme	Süre	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S
°C	dk	(Saat)	700 kg/m <sup>3</sup>				740 kg/m <sup>3</sup>			
K 0	K 0	0	27,8	28,7	28,4	0,42	31,4	31,9	31,7	0,22
155	30	2,5	28,8	33,5	30,3	2,19	30,6	33,4	32,0	1,33
		3,5	29,2	32,9	31,0	1,87	30,8	33,4	32,2	1,15
		4,5	28,5	31,7	29,9	1,55	32,7	35,2	33,4	1,15
	120	2,5	28,9	31,7	30,2	1,53	31,7	34,6	33,0	1,19
		3,5	28,5	33,6	31,3	2,11	31,8	33,5	32,4	0,75
		4,5	31,2	32,1	31,8	0,40	32,0	32,8	32,4	0,33
	600	2,5	28,5	31,4	29,3	1,37	31,2	33,1	32,5	0,88
		3,5	28,5	31,5	29,3	1,49	30,0	32,6	31,5	1,26
		4,5	28,5	31,7	29,3	1,76	31,8	33,0	32,3	0,53
165	30	2,5	28,4	31,9	29,7	1,68	31,3	33,2	32,0	0,92
		3,5	28,8	32,8	30,6	1,96	30,9	33,2	31,8	0,99
		4,5	28,1	32,8	29,5	2,20	29,3	32,6	31,4	1,47
	120	2,5	29,3	32,7	30,9	1,41	32,5	33,2	32,8	0,29
		3,5	28,8	34,3	31,2	2,36	31,5	33,7	32,5	0,96
		4,5	29,1	32,9	30,8	1,74	30,5	32,5	31,5	1,04
	600	2,5	29,4	33,7	31,5	2,34	32,8	33,8	33,2	0,48
		3,5	27,1	37,4	32,1	4,44	32,4	34,3	33,0	0,85
		4,5	28,6	35,3	32,4	3,25	30,6	31,3	30,9	0,33
175	30	2,5	28,6	31,6	30,0	1,30	31,1	37,1	33,5	2,56
		3,5	28,9	32,1	30,0	1,42	31,3	37,6	33,0	3,06
		4,5	28,4	29,4	28,8	0,43	30,9	35,2	33,4	1,97
	120	2,5	28,5	30,4	29,1	0,87	32,1	32,7	32,3	0,27
		3,5	27,2	29,8	27,9	1,22	31,3	34,0	32,5	1,17
		4,5	27,6	29,9	28,7	1,16	31,9	33,5	32,7	0,71
	600	2,5	27,6	29,7	28,3	0,91	31,9	32,9	32,4	0,44
		3,5	26,2	28,0	26,9	0,75	30,2	32,3	31,6	0,95
		4,5	25,4	30,2	27,7	1,96	31,7	32,7	32,1	0,43

### 4.3 Eğilmede Elastikiyet Modulüne ait Bulgular

Isıl işlem uygulanmış örneklerin 3 değişik; üç farklı presleme sonrası bekletme, üç farklı ısıl işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), üç farklı ısıl işlem süresinde (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve iki farklı yoğunluk (700-740 kg/m<sup>3</sup>) seviyesinde yapılan deneyler sonucu elde edilen Elastikiyet Modulüne ait bazı sonuçlar (minimum, maksimum, ortalama ve standart hata) Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Elastikiyet Modülü Değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Sıcaklık	Bekletme	Süre	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S	
°C	dk	(Saat)	700 kg/m <sup>3</sup>				740 kg/m <sup>3</sup>				
K 0	0	0	2672	2854	2760	89	3049	3190	3096	65	
155	30	2,5	2539	3134	2736	272	2810	2981	2881	75	
		3,5	2662	2860	2770	86	2775	3006	2901	95	
		4,5	2610	2786	2707	72	2863	3107	3002	121	
	120	2,5	2604	2784	2707	75	3008	3127	3047	54	
		3,5	2564	2913	2787	153	2931	3069	2985	58	
		4,5	2719	2810	2751	40	3006	3144	3062	58	
	600	2,5	2510	2717	2590	97	2957	3145	3046	83	
		3,5	2533	2783	2671	106	2845	3076	2965	99	
		4,5	2585	2727	2655	60	2744	2977	2881	103	
	165	30	2,5	2649	2758	2722	51	2977	3035	2980	54
			3,5	2588	2899	2719	143	3015	3154	3081	58
			4,5	2665	2801	2729	70	2958	3176	3096	102
120		2,5	2729	2866	2809	65	2959	3013	2984	25	
		3,5	2702	2957	2783	119	2903	3185	3082	131	
		4,5	2619	2910	2730	134	3022	3149	3110	59	
600		2,5	2699	3033	2872	154	2750	3105	2972	155	
		3,5	2516	2920	2743	184	3059	3247	3115	88	
		4,5	2564	2945	2751	190	2897	3095	3028	90	
175		30	2,5	2675	2794	2737	49	2825	3092	2918	123
			3,5	2587	2784	2651	71	2948	3131	3050	76
			4,5	2516	2733	2633	89	3024	3182	3091	69
	120	2,5	2547	2689	2633	61	3063	3194	3129	58	
		3,5	2446	2708	2608	113	3055	3221	3164	78	
		4,5	2540	2749	2604	98	2978	3282	3150	132	
	600	2,5	2404	2534	2495	61	3014	3229	3110	120	
		3,5	2250	2546	2403	121	2899	3178	3017	128	
		4,5	2339	2663	2498	133	3058	3220	3168	73	

#### 4.4 Vida Çekme Direncine ait Bulgular

##### 4.4.1 Levha yüzeyine paralel yönde vida çekme direnci

Isıl işlem uygulanmış örneklerin 3 değişik; üç farklı presleme sonrası bekletme, üç farklı ısıl işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), üç farklı ısıl işlem süresinde (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve iki farklı yoğunluk (700-740 kg/m<sup>3</sup>) seviyesinde yapılan deneyler sonucu elde edilen Vida Çekmelerine ait bazı sonuçlar (minimum, maksimum, ortalama ve standart hata) Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4** Levha Yüzeyine Paralel Vida Çekme Direnci Değerleri(N/mm<sup>2</sup>)

Sıcaklık	Bekletme	Süre	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S
°C	dk	Saat	700 kg/m <sup>3</sup>				740 kg/m <sup>3</sup>			
K 0	0	0	1104	1183	1143	55	1342	1361	1351	13
155	30	2,5	1057	1093	1075	25	1191	1305	1248	80
		3,5	965	1072	1018	75	917	1204	1060	202
		4,5	1168	1222	1195	38	1082	1301	1191	154
	120	2,5	1029	1103	1066	52	1029	1113	1071	59
		3,5	1026	1249	1137	157	1142	1296	1219	108
		4,5	1008	1183	1095	123	1148	1308	1228	113
	600	2,5	951	1035	993	59	1158	1176	1167	12
		3,5	1001	1080	1040	55	1184	1388	1286	144
		4,5	995	1128	1061	94	1134	1374	1253	168
165	30	2,5	900	991	945	64	1218	1494	1356	195
		3,5	1003	1040	1021	26	1126	1254	1190	90
		4,5	967	1025	996	41	1157	1267	1212	77
	120	2,5	946	953	949	4	1329	1382	1355	37
		3,5	943	1048	995	74	1140	1224	1182	59
		4,5	993	1055	1024	43	1196	1395	1295	140
	600	2,5	1002	1017	1009	10	1283	1302	1292	13
		3,5	963	1148	1055	130	1230	1233	1231	2
		4,5	988	1058	1023	49	1275	1322	1298	33
175	30	2,5	1051	1126	1088	53	1227	1246	1236	13
		3,5	983	1031	1007	33	1009	1051	1030	29
		4,5	823	881	852	41	1015	1065	1040	35
	120	2,5	1111	1138	1124	19	1101	1252	1176	106
		3,5	990	1054	1022	45	1174	1329	1251	109
		4,5	999	1059	1029	42	976	1200	1088	158
	600	2,5	983	1112	1047	91	1180	1200	1190	14
		3,5	869	916	892	33	1122	1252	1187	91
		4,5	942	1028	985	60	1084	1101	1092	12

#### 4.4.2 Levha yüzeyine dik yönde vida çekme direnci

Isıl işlem uygulanmış örneklerin 3 değişik; üç farklı presleme sonrası bekletme, üç farklı ısıl işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), üç farklı ısıl işlem süresinde (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve iki farklı yoğunluk (700-740 kg/m<sup>3</sup>) seviyesinde yapılan deneyler sonucu elde edilen Vida Çekmelerine ait bazı sonuçlar (minimum, maksimum, ortalama ve standart hata) Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5** Levha Yüzeyine Dik Vida Çekme Direnci Değerleri(N/mm<sup>2</sup>)

Sıcaklık	Bekletme	Süre	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	X	S
°C	dk	(Saat)	700 kg/m <sup>3</sup>				740 kg/m <sup>3</sup>			
K 0	0	0	1218	1231	1224	9,192	1371	1437	1404	46,66
155	30	2,5	1198	1249	1223	36,06	1404	1446	1425	29,69
		3,5	1124	1168	1146	31,11	1279	1560	1419	198,6
		4,5	1142	1224	1183	57,98	1460	1492	1476	22,62
	120	2,5	1088	1187	1137	70,00	1342	1461	1401	84,14
		3,5	1181	1233	1207	36,76	1337	1397	1367	42,42
		4,5	1212	1227	1219,	10,60	1371	1537	1454	117,3
	600	2,5	1031	1095	1063	45,25	1461	1464	1462	2,121
		3,5	1043	1347	1195	214,9	1463	1584	1523	85,55
		4,5	1112	1137	1124	17,67	1369	1553	1461	130,1
165	30	2,5	1032	1126	1079	66,46	1250	1639	1444	275,0
		3,5	1045	1154	1099	77,07	1256	1344	1300	62,22
		4,5	962	1105	1033	101,1	1162	1401	1281	168,9
	120	2,5	1076	1134	1105	41,01	1279	1322	1300	30,40
		3,5	1191	1283	1237	65,05	1136	1224	1180	62,22
		4,5	1071	1078	1074	4,949	1150	1323	1236	122,3
	600	2,5	1023	1260	1141	167,5	1337	1388	1362	36,06
		3,5	1121	1200	1160	55,86	1246	1332	1289	60,81
		4,5	1034	1239	1136	144,9	1283	1301	1292	12,72
175	30	2,5	1254	1313	1283	41,71	1301	1468	1384	118,0
		3,5	1053	1279	1166	159,8	1126	1128	1127	1,414
		4,5	1078	1108	1093	21,21	1059	1283	1171	158,3
	120	2,5	1086	1204	1145	83,43	1240	1265	1252	17,67
		3,5	1035	1103	1069	48,08	1299	1337	1318	26,87
		4,5	1070	1098	1084	19,79	1142	1237	1189	67,17
	600	2,5	1156	1178	1167	15,55	1095	1142	1118	33,23
		3,5	1063	1110	1086	33,23	1193	1196	1194	2,121
		4,5	1017	1214	1115	139,3	1286	1329	1307	30,40



#### 4.5 Kalınlığına Şişme ve Su Emme

Isıl işlem uygulanmış örneklerin 3 değişik; üç farklı presleme sonrası bekletme, üç farklı ısıl işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), üç farklı ısıl işlem süresinde (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve iki farklı yoğunluk (700-740 kg/m<sup>3</sup>) seviyesinde yapılan deneyler sonucu elde edilen Kalınlığına Şişmelere ait bazı sonuçlar (minimum, maksimum, ortalama ve standart hata) Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.6** 24 saat suda bekletme sonrası şişme değerleri

Sıcaklık	Bekletme	Süre	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	$\bar{X}$	S			$\bar{X}$	S	
							X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>			
°C	dk	(Saat)	700 kg/m <sup>3</sup>				740 kg/m <sup>3</sup>				
K 0	0	0	6,58	6,84	6,73	0,111	5,48	5,78	5,65	0,133	
		30	2,5	4,49	4,79	4,64	0,212	3,62	4,06	3,84	0,311
			3,5	4,14	4,42	4,28	0,198	3,63	3,93	3,78	0,212
	4,5		4,60	4,76	4,68	0,113	3,50	3,96	3,73	0,325	
	155	120	2,5	5,20	5,32	5,26	0,084	3,98	4,26	4,12	0,197
			3,5	5,11	5,31	5,21	0,141	4,10	4,32	4,21	0,155
			4,5	4,98	5,32	5,15	0,240	3,77	4,13	3,95	0,254
		600	2,5	4,76	5,42	5,09	0,466	3,66	3,92	3,79	0,183
			3,5	5,08	5,56	5,32	0,339	3,80	4,02	3,91	0,155
			4,5	5,25	5,63	5,44	0,268	3,62	4,08	3,85	0,325
	165	30	2,5	5,18	5,60	5,39	0,297	4,11	4,47	4,29	0,254
			3,5	5,55	5,63	5,59	0,056	3,97	4,37	4,17	0,282
			4,5	5,38	5,64	5,51	0,183	4,16	4,52	4,34	0,254
		120	2,5	5,21	5,43	5,32	0,155	4,43	5,05	4,74	0,438
			3,5	5,37	5,49	5,43	0,084	4,31	4,53	4,42	0,155
			4,5	5,44	5,58	5,51	0,099	4,13	4,97	4,55	0,593
		600	2,5	5,40	5,72	5,56	0,226	4,19	4,53	4,36	0,240
			3,5	5,19	5,43	5,31	0,169	4,24	4,46	4,35	0,155
4,5			5,45	5,75	5,60	0,212	3,88	4,44	4,16	0,395	
175		30	2,5	5,77	6,03	5,90	0,183	5,06	5,76	5,41	0,494
			3,5	5,59	5,69	5,64	0,070	5,34	5,92	5,63	0,410
			4,5	5,99	6,07	6,03	0,056	5,17	5,39	5,28	0,155
	120	2,5	5,73	6,07	5,90	0,240	5,71	5,89	5,8	0,127	
		3,5	6,38	6,66	6,52	0,198	5,85	6,31	6,08	0,325	
		4,5	6,69	6,83	6,76	0,099	5,91	6,19	6,05	0,197	
	600	2,5	6,62	6,78	6,70	0,113	6,03	6,31	6,17	0,197	
		3,5	6,71	6,81	6,76	0,070	5,89	6,49	6,19	0,424	
		4,5	6,57	6,87	6,72	0,212	6,21	6,47	6,34	0,183	

Isıl işlem uygulanmış örnek numunelerin, üç farklı sıcaklık (155, 165, 175 °C), süre (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve presleme sonrası bekletme zamanlarında (30, 120 ve 600 dk), 700-740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk için 24 saat suda bekletme sonrası elde edilen su emmeye ait bazı değerler (minimum, maksimum, ortalama ve standart hata) Çizelge 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.7** 24 saat suda bekletme sonrası su emme değerleri

Sıcaklık	Bekletme	Süre	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	$\bar{X}$	S	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	$\bar{X}$	S	
°C	dk	Saat	700 kg/m <sup>3</sup>				740 kg/m <sup>3</sup>				
K 0	0	0	28,36	29,33	28,68	0,66	22,83	24,04	23,41	0,523	
155	30	2,5	17,49	17,93	17,71	0,31	13,8	14,12	13,96	0,226	
		3,5	17,23	17,65	17,44	0,29	13,78	14,62	14,20	0,593	
		4,5	16,95	17,41	17,18	0,32	14,4	14,96	14,68	0,395	
	120	2,5	20,1	20,32	20,21	0,15	15,95	16,67	16,31	0,509	
		3,5	24,55	24,85	24,7	0,21	16,43	17,49	16,96	0,749	
		4,5	21,84	22,48	22,16	0,45	15,23	15,92	15,57	0,487	
	600	2,5	23,6	24,08	23,84	0,33	16,24	17,44	16,84	0,848	
		3,5	22,15	23,61	22,88	1,03	16,33	16,95	16,64	0,438	
		4,5	22,86	23,22	23,04	0,25	17,74	18,68	18,21	0,664	
	165	30	2,5	19,75	20,31	20,03	0,39	16,52	17,82	17,17	0,919
			3,5	21,61	21,89	21,75	0,19	17,01	17,55	17,28	0,381
			4,5	19,11	19,99	19,55	0,62	16,58	17,74	17,16	0,820
120		2,5	22,72	23,44	23,08	0,50	18,75	19,86	19,31	0,784	
		3,5	21,83	22,57	22,2	0,52	19,01	19,57	19,29	0,395	
		4,5	22,66	24,02	23,34	0,96	18,45	19,61	19,03	0,820	
600		2,5	24,01	24,61	24,31	0,42	19,21	20,13	19,67	0,650	
		3,5	27,07	27,81	27,44	0,52	17,11	17,87	17,49	0,537	
		4,5	25,18	26,46	25,82	0,90	17,39	19,03	18,21	1,159	
175	30	2,5	23,44	24,12	23,78	0,48	19,73	20,55	20,14	0,579	
		3,5	23,21	24,29	23,75	0,76	20,43	21,37	20,9	0,664	
		4,5	24,26	25,74	25,00	1,04	20,22	21,32	20,77	0,777	
	120	2,5	24,26	25,86	25,06	1,13	23,14	24,82	23,98	1,187	
		3,5	25,8	26,74	26,27	0,66	24,88	26,04	25,46	0,820	
		4,5	27,12	28,6	27,86	1,04	25,34	26,20	25,77	0,608	
	600	2,5	28,38	29,94	29,16	1,10	27,11	27,95	27,53	0,593	
		3,5	30,11	31,27	30,69	0,82	26,92	28,08	27,50	0,820	
		4,5	29,83	30,79	30,31	0,67	27,72	28,60	28,16	0,622	

#### 4.6 Serbest Formaldehit Miktarı

Isıl işlem uygulanmış örnek numunelerin, üç farklı ısıl işlem sıcaklığı (155, 165, 175 °C), üç farklı ısıl işlem süresi (2,5, 3,5 ve 4,5 saat) ve iki farklı yoğunluk seviyesi (700, 740 kg/m<sup>3</sup>) için serbest formaldehit miktarlarına ait bazı sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

**Çizelge 4.8** Serbest Formaldehit Miktarları

Deney Yoğunluk	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl İşlem Süresi	Formaldehit Testi mgr/100gr levha
kg/m <sup>3</sup>	°C	Saat	mgr
KONTROL 700 kg/m <sup>3</sup>			<b>23,670</b>
700	155	2,5	8,58
		3,5	7,45
		4,5	6,05
	165	2,5	7,13
		3,5	6,31
		4,5	3,29
	175	2,5	4,94
		3,5	4,14
		4,5	3,77
KONTROL 740 kg/m <sup>3</sup>			<b>17,055</b>
740	155	2,5	8,78
		3,5	5,94
		4,5	2,53
	165	2,5	3,83
		3,5	1,63
		4,5	1,1
	175	2,5	2,12
		3,5	2,18
		4,5	1,56

## 5. TARTIŞMA

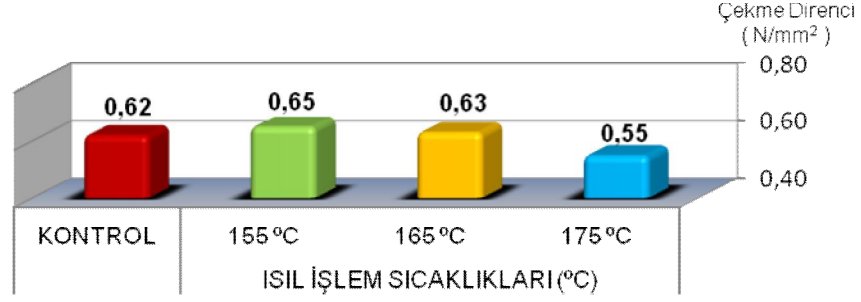
Odunun rutubetindeki değişim, anizotropik şişme ve daralmayla birlikte meydana gelen higroskopik değişimler birer sorun oluşturmaktadır. Isıl işlem uygulaması levhanın moleküler yapısının modifiye edilmesine yol açtığından performansını arttırmaktadır. Isıl işlem uygulaması ile artan potansiyel nitelikler;

- Mantar ve böceklere karşı biyolojik dayanıklılık,
- Düşük denge rutubet içeriği,
- Daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite,
- Artan termal izalasyon kabiliyeti,
- Boya adhezyonu,
- Dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma,
- Dekoratif renk çeşitliliği
- Kullanım süresinde uzamadır.

Isıl işlem uygulanmış MDF panellerinin sorpsiyon ve difüzyon özellikleri azalmaktadır. Strüktürdeki tüm bu değişmeler insan ve çevre sağlığına zararlı kimyasallar ilave edilmeksizin elde edildiğinden ısıl işlem uygulaması emprenyeye ekolojik bir alternatif olarak düşünölmektedir (Wikberg, 2004; Enjily ve Jones, 2006).

## 5.1 Yüzeye dik yönde çekme direnci

Örneklerin, çekme direnci aritmetik ortalamalarına ait grafikler Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu grafikte, uygulanan 3 ayrı ısıl işlem sıcaklığının (155,165 ve 175 °C) çekme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

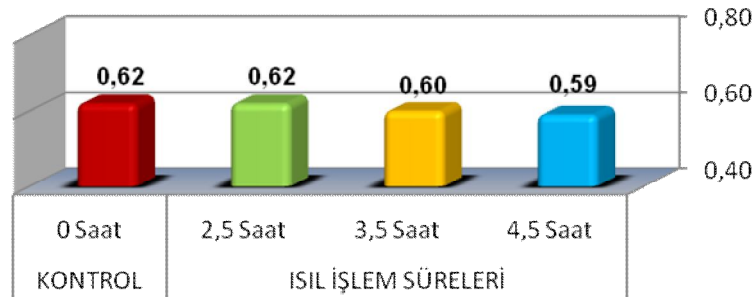


Şekil 5.1 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Çekme Direnci Değerleri

Şekil 5.1’de, levha yüzeyine dik çekme direnci değerleri ısıl işlem sıcaklığı bakımından incelendiğinde 155 °C ve 165 °C sıcaklıklar için çekme direnci değerleri sırasıyla 0,65 ve 0,63 N/mm<sup>2</sup> olmuştur ve kontrol örneklerinden (0,62 N/mm<sup>2</sup>) yüksek sonuçlar vermiştir. Bu durumu, Isıl işlemin, levha taslağının sıcak preslemede ki bağ oluşumu sonrası fiziksel ve mekaniksel özelliklerini iyileştirmenin bir devamı olduğunu ve presleme sonrası uygulanan ısıl işlemin etkisi ile hücre çeperi bileşenlerinde termal yıkımın sebep olduğu lif direnci kaybına rağmen bağ gelişiminin devam ettiği şeklinde açıklanabilir. Levhanın direnç özelliklerinin ısıl işlemle birlikte, lifler arasında zayıf bağ oluşturana kadar yükselmeye devam ettiği (Suchsland ve Woodson 1986) ve 165 °C’den sonra levha özellikleri maksimuma ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başladığı görülmektedir. Benzer sonuçlar, Lampert (1967) ve Çehreli (1982) tarafından da belirtilmiştir. 155 °C ve 165 °C Isıl işlem sıcaklığı, levhanın daha az higroskopik olmasını ve maksimum bağlı su miktarının azaltması sonucu direnç özellikleri üzerine olumlu bir etki yapmasına sebep olmuştur (Hill 2006, Boonstra 2008).

Şekil 5.1’de, 175 °C ısıl işlem sıcaklığında çekme direnci değeri (0,55 N/mm<sup>2</sup>), kontrol örneklerinin (0,62 N/mm<sup>2</sup>) daha da altında sonuçlar vermiştir. Artan ısıl

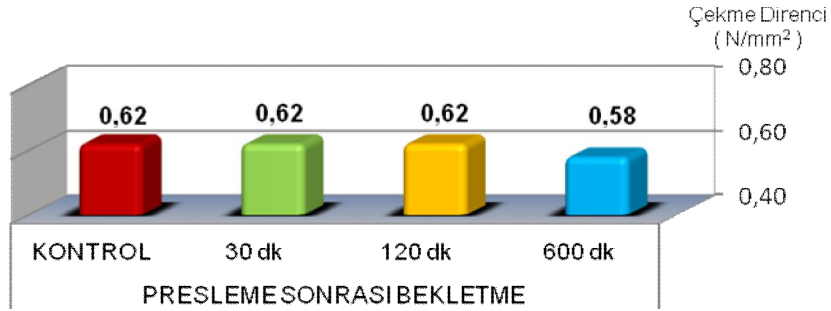
işlem sıcaklığı sonrası levhalarda, çekme direnci için önemli olan selüloz polimerinin bozunması ile çekme direncinin değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Isıl işlem çalışmalarında, Poncsak ve ark (2006), Winandy ve Rowell (1984), Le Van ve ark. (1990), Eroğlu ve Usta (2000) benzer sonuçları ifade etmişlerdir. Ayrıca Isıl işlem uygulaması sonucu hemiselülozun bozunması da çekme direncinin azalmasında etkilidir. Ayrılmış (2010) artan ısıl işlem sıcaklık ve sürelerde levhaların mekanik özelliklerinde düşüşler tespit etmiştir. Korkut et al. (2008 b) Çalışma sonucunda; Uygulanan sıcaklık ve sürenin artışı ile direnç değerlerinin düştüğünü görmüştür.



**Şekil 5.2** Isıl İşlem Sürelerine Göre Çekme Direnci değerleri

Şekil 5.2’de, Levha yüzeyine dik çekme direnci değerleri ısıl işlem süreleri bakımından incelendiğinde en düşük sonuç, 4,5 saat ısıl işlem uygulanan deney örneklerinde ( $0,59 \text{ N/mm}^2$ ) elde edilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış kontrol (0 saat) levhaları ile 2,5 saat ve 3,5 saat ısıl işlem süresi uygulanan deney örnekleri içinde en yüksek çekme direnci değerini, 2,5 saat ısıl işlem uygulanmış deney örnekleri ( $0,59 \text{ N/mm}^2$ ) vermiştir. Kısa süreli ısıl işlem, levhanın fiziksel ve mekaniksel özelliklerini yükselttiği, artan ısıl işlem süresine bağlı olarak mekanik özelliklerinde düşüşler görülmektedir (Eroğlu ve Usta 2000). Isıl işlem süresi arttıkça genel itibarı ile çekme direnci değerleri düşmüştür. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı hemiselüloz bozunmasını etkileyen iki önemli faktördür (Boonstra 2008), Aydemir (2007) sıcaklık ve sürenin artmasıyla mekanik ve teknolojik özelliklerde düşüşün daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Karakaş (2008) 6 saatte mekanik özelliklerdeki düşüşün, 2 ve 4 saatekine göre daha yüksek sonuçlar ortaya koyduğunu bulmuştur.

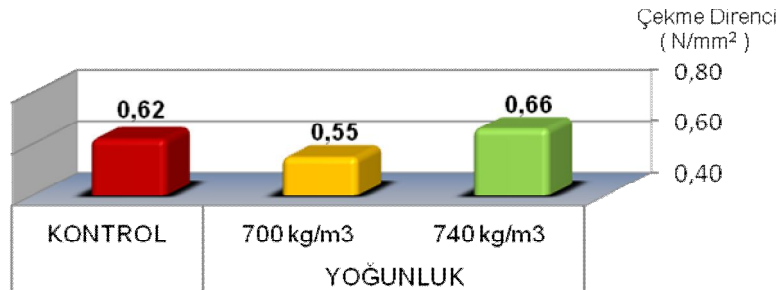
Şekil 5,3'te, uygulanan 3 ayrı presleme sonrası bekletme zamanlarının (30, 120, 600 dk) çekme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



**Şekil 5.3** Presleme Sonrası Bekletme Zamanlarına Göre Çekme Direnci Değerleri

Şekil 5.3'te, Levha yüzeyine dik çekme direnci değerleri presleme sonrası bekletme zamanları bakımından incelendiğinde en düşük sonuç (0,58 N/mm<sup>2</sup>) presleme sonrası 600 dk bekletilen deney örneklerinde görülmüştür. Isıl işlem uygulanmamış kontrol levhaları ile 30 dk ve 120 dk bekletildikten sonra ısıl işlem uygulanan deney örnekleri arasında önemli bir değişim görülmemiştir. Daha kısa süreli (30 ve 120 dk) presleme sonrası bekletme zamanlarında Presleme sonrası uygulanan termik işlemin etkisi ile hücre çeperi bileşenlerinde termal yıkımın sebep olduğu lif direnci kaybına karşın halen bağ gelişimi devam edebileceği için, levhanın direnç özellikleri, lifler arasında zayıf bağ oluşturana kadar yükselmeye devam eder şeklinde açıklayabiliriz (Suchsland ve Woodson 1986).

Şekil 5,4'de, 2 farklı levha yoğunluğunun (700, 740 kg/m<sup>3</sup>) çekme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



**Şekil 5.4** Levha Yoğunluklarına Göre Çekme Direnci Değerleri

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi, levha yoğunluklarına göre çekme dirençleri incelendiğinde yüksek yoğunluktaki ( $740 \text{ kg/m}^3$ ) levhalar daha yüksek çekme direnci ( $0,66 \text{ N/mm}^2$ ) sonuçlarını vermiştir. Bunun uygulanan pres basıncına karşılık gelen lif miktarının artması ile birlikte birim hacimdeki bağ oranındaki artıştan kaynaklandığı söylenebilir.

MDF üretiminde nispeten düşük yoğunlukta ağaç türlerinin tercih edilmesinin sebebi, orta yoğunluktaki levha üretimi bakımından kolayca sıkıştırılabilir olmasıdır. Sıkıştırma faktörü (Levha yoğunluğu/Ağaç türünün tam kuru yoğunluğu) lif levhalar için önemli bir değerdir. Sıkıştırma faktörünün düşük olması presleme sırasında lifler birbirine yeteri kadar yaklaşmamasını, yüksek olması durumunda ise odun liflerinin yapısının bozulmasına sebep olduğundan belli bir oranda kalması arzu edilmektedir. Bu değer 1'den büyük olması tercih edilmektedir (Ayrılmış 2000, Çamlıbel 2006).



### 5.1.1 Çekme Direnci Değerlerinin İstatistiksel Analizi

Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası bekleme sonuçları sonrası Çekme direncine ilişkin varyans analizi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1** Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası Beklemeye göre Çekme direncine ilişkin varyans analizi tablosu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalama	F	Önem Düzeyi
Levha Yoğunluğu (A)	,406	2	,203	123,590	,000***
Isıtma İşlem Sıcaklığı (B)	,704	2	,352	214,010	,000***
Presleme Sonrası Bekleme (C)	,070	2	,035	21,349	,000***
Isıtma İşlem Süresi (D)	,095	2	,047	28,831	,000***
A * B	,152	2	,076	46,322	,000***
A * C	,021	2	,011	6,528	,002**
B * C	,006	4	,001	,852	,494ns
A * B * C	,028	4	,007	4,192	,003**
A * D	,018	2	,009	5,524	,005**
B * D	,022	4	,006	3,422	,010*
A * B * D	,006	4	,001	,865	,486ns
C * D	,012	4	,003	1,797	,132ns
A * C * D	,026	4	,007	4,008	,004**
B * C * D	,029	8	,004	2,208	,029*
A * B * C * D	,043	8	,005	3,233	,002**
Hata	,276	168	,002		
Toplam	78,736	224			
Düzeltilmiş Toplam	1,914	223			

Yapılan çalışmada levha yüzeyine dik çekme direnci değerlerinde levha yoğunluğu, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası bekleme zamanlarının % 99,9 güven düzeyinde levhanın çekme direnci değerleri üzerine etkilerinin belirgin olduğu tespit edilmiştir.

Çekme direnci üzerine etki eden bağımsız değişkenlere ait homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

**Çizelge 5.2** Çekme direnci sonuçlarına ait Duncan testi

Isıl İşlem Sıcaklığı	Duncan Testi		
	1	2	3
175 °C	0,50		
Kontrol		0,59	
165 °C			0,61
155 °C			0,63
Isıl İşlem Süresi	1	2	
4,5 saat	0,55		
Kontrol			0,59
3,5 saat			0,59
2,5 saat			0,60
Bekletme	1	2	
600 dk	0,56		
Kontrol			0,59
120 dk			0,59
30 dk			0,60
Yoğunluk	1	2	
700 kg/m <sup>3</sup>	0,54		
740 kg/m <sup>3</sup>			0,62

Isıl işlem sıcaklıklarına göre çekme direnci sonuçlarında, 155 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki çekme değerleri 3. Grupta aynı homojenlik sınıfında yer aldığı için istatistiksel anlamda % 95 güven düzeyinde aralarında belirgin bir fark yoktur. En düşük çekme direnci değeri ise, 175 °C’de ısıl işlem uygulanmış deney numunelerinde elde edilmiş ve ısıl işlem uygulanmamış kontrol deney örneklerinden farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Yani 165 °C ısıl işlem sıcaklığı sonrasında sıcaklığın artması çekme direnci değerlerini olumsuz yönde etkilemiştir.

Isıl işlem sürelerine göre çekme direnci sonuçlarında, 4,5 saat ısıl işlem uygulanan deney örneklerinde en düşük çekme direnci elde edilmiştir ve farklı bir grupta yer almıştır. Isıl işlem uygulanmamış kontrol deney örnekleri ile 2,5 saat ve 3,5 saat ısıl işlem uygulanmış deney örnekleri ise aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki fark önemsiz düzeyde 2. Grupta yer almıştır. Artan ısıl işlem sürelerinde çekme direnci değerleri düşme göstermiştir.

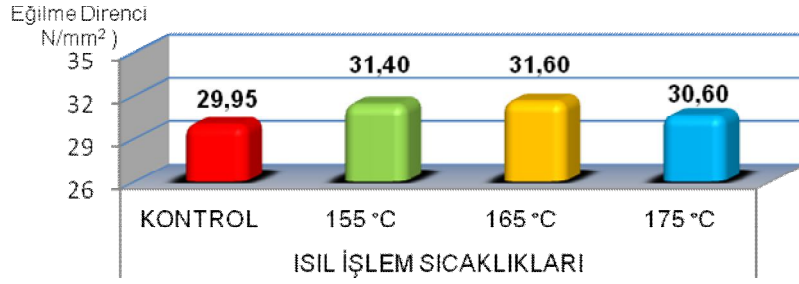
Presleme sonrası bekletme zamanlarına göre çekme direnci sonuçlarında, 600 dk bekletilen ve daha sonra ısıl işlem uygulanan deney örnekleri 1. Grupta yer almakta, kontrol deney örnekleri ile presleme sonrası 120 dk ve 30 dk bekletilen örnekler ise

aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarında önemsiz bir farkla 2. Grupta yer almaktadır.

Levha yoğunluklarına göre çekme direnci sonuçlarında, 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk seviyelerine sahip örnekler ile 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk seviyelerine sahip örnekler farklı homojenlik sınıfında yer alarak istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde aralarında belirgin bir fark olduğu görülmüştür. 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip deney örnekleri daha yüksek çekme direnci sonuçları vermiştir.

## 5.2 Eğilme direnci

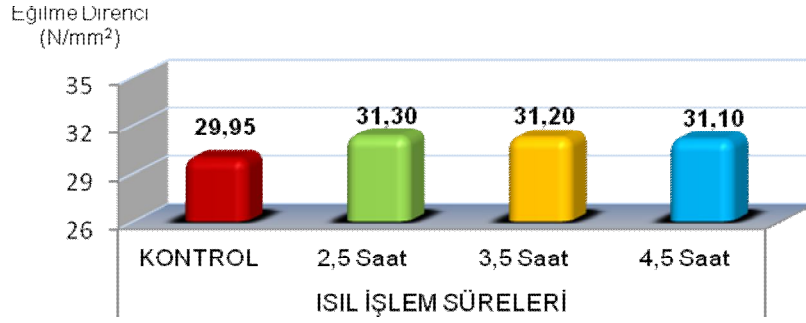
Örneklerin, eğilme direnci aritmetik ortalamalarına ait grafik Şekil 5.5'te verilmiştir. Bu grafikte, uygulanan 3 ayrı ısı işlem sıcaklığının (155,165 ve 175 °C) eğilme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Eğilme Direnci değerleri

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi, eğilme direnci değerleri ısı işlem sıcaklığı bakımından incelendiğinde en düşük eğilme direnci ısı işlem uygulanmamış deney örneklerinde (29,95 N/mm<sup>2</sup>) elde edilmiştir. Genel olarak, tüm ısı işlem sıcaklıklarında (155, 165, 175 °C) eğilme dirençleri kontrol levhalarından daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu durumu, ısı işlem uygulamaları sonrasında deney levhalarının daha az higroskopik olması ve maksimum bağlı su miktarının azalması sonucu direnç özelliklerinin artması şeklinde açıklayabiliriz (Hill 2006). Ayrıca Şekil 5.5'te eğilme direnci üzerine ısı işlem sıcaklığının 165 °C'den sonra olumsuz etki yaptığı da görülmektedir.

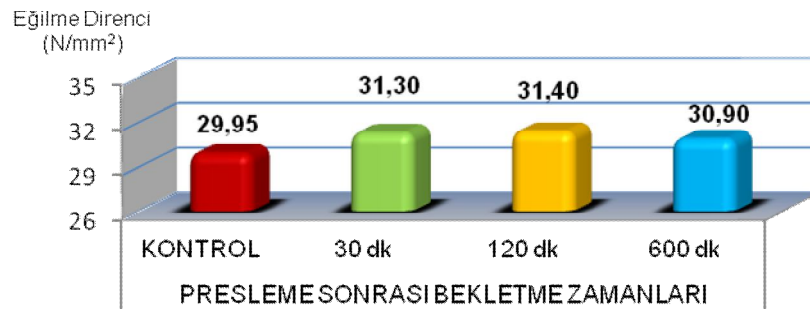
Şekil 5.6’da uygulanan 3 ayrı ısıtma işlem süresinin (2,5, 3,5 ve 4,5 Saat) eğilme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Isıtma İşlem Sürelerine Göre Eğilme Direnci değerleri

Şekil 5.6’da görüldüğü gibi, eğilme direnci değerleri ısıtma işlem süresi bakımından incelendiğinde en düşük eğilme direnci ( $29,95 \text{ N/mm}^2$ ) yine kontrol levhalarında elde edilmiştir. En yüksek eğilme direnci ( $31,30 \text{ N/mm}^2$ ), 2,5 saat süre gibi diğer sürelerle göre daha kısa süreli ısıtma işlemde elde edilmiştir ve kısa süreli ısıtma işlem levhanın eğilme direncini artırmıştır (Eroğlu ve Usta 2000). Artan ısıtma işlem sürelerinde (3,5 ve 4,5 saat) eğilme direnci değerleri daha sonra önemsiz düzeyde ( $31,10$  ve  $31,20 \text{ N/mm}^2$ ) düşmeye başlamıştır. Bu da levha içinde selülozik liflerin degradasyona uğradığını göstermektedir (Braun ve Strand 1958).

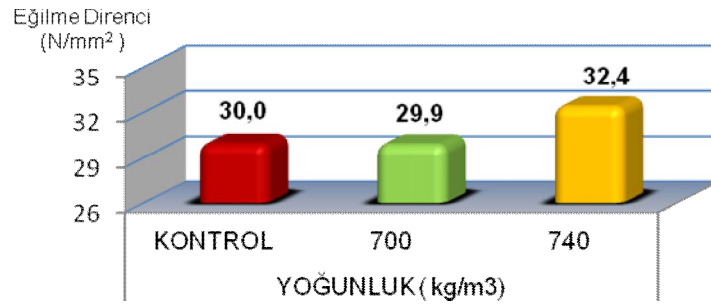
Şekil 5.7’de uygulanan 3 ayrı presleme sonrası bekletme zamanlarının (30, 120, 600 dk) eğilme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Presleme sonrası bekletme zamanlarına Göre Eğilme Direnci değerleri

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi, eğilme direnci değerleri presleme sonrası bekletme zamanları bakımından incelendiğinde en düşük eğilme direnci ( $29,95 \text{ N/mm}^2$ ) yine kontrol levhalarında elde edilmiştir. Presleme sonrası bekletme zamanları (30, 120, 600 dk) sonucu elde edilen sonuçlar daha iyi neticeler vermiştir. Presleme sonrası 600 dk bekletme sonrası elde edilen sonuç ( $30,90 \text{ N/mm}^2$ ) düşüş göstermiştir. Bu durumu yine presleme sonrası uygulanan termik işlemin etkisi ile hücre çeperi bileşenlerinde termal yıkımın sebep olduğu lif direnci kaybına karşın halen bağ gelişimi devam edebileceği için, levhanın direnç özellikleri, lifler arasında zayıf bağ oluşturana kadar yükselmeye devam eder şeklinde açıklayabiliriz (Suchsland ve Woodson 1986).

Şekil 5.8’de uygulanan 2 ayrı yoğunluk seviyesinin ( $700\text{-}740 \text{ kg/m}^3$ ) eğilme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



**Şekil 5.8** Levha yoğunluklarına Göre Eğilme Direnci değerleri

Şekil 5.8’de görüldüğü gibi, levha yoğunluklarına göre çekme dirençleri incelendiğinde daha yüksek yoğunluktaki ( $740 \text{ kg/m}^3$ ) levhalar daha yüksek çekme direnci ( $32,4 \text{ N/mm}^2$ ) sonucunu vermiştir.  $700 \text{ kg/m}^3$  yoğunluktaki levhaların eğilme direnci daha düşük ( $29,9 \text{ N/mm}^2$ ) sonuç vermiştir. Bunun uygulanan pres basıncına karşılık gelen lif miktarının artması ile birlikte birim hacimdeki bağ oranındaki artıştan kaynaklandığı söylenebilir (Ayrılmış 2000, Çamlıbel 2006).

### 5.2.1 Eğilme Direnci Değerlerinin İstatistiksel Analizi

Değişen yoğunluk, ısı işlem sıcaklığı, ısı işlem süresi ve presleme sonrası bekleme zamanlarına göre elde edilen sonuçları sonrası eğilme direnci değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

**Çizelge 5.3** Yoğunluk, ısı işlem sıcaklığı, ısı işlem süresi ve presleme sonrası Bekletmeye göre Eğilme direncine ilişkin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Levha Yoğunluğu (A)	253,515	1	253,515	104,62	0,000***
Isıl İşlem Sıcaklığı (B)	34,778	2	17,389	7,177	0,001***
Pres Sonrası Bekletme (C)	6,870	2	3,435	1,418	0,245ns
Isıl İşlem Süresi (D)	1,712	2	,856	,353	0,703ns
A * B	74,609	2	37,304	15,396	0,000***
A * C	1,167	2	,584	,241	0,786ns
B * C	62,550	4	15,638	6,454	0,000***
A * B * C	11,789	4	2,947	1,216	0,306ns
A * D	2,307	2	1,153	,476	0,622ns
B * D	12,069	4	3,017	1,245	0,294ns
A * B * D	11,659	4	2,915	1,203	0,311ns
C * D	2,985	4	,746	,308	0,872ns
A * C * D	10,154	4	2,539	1,048	0,384ns
B * C * D	2,890	8	,361	,149	0,997ns
A * B * C * D	7,475	8	,934	,386	0,927ns
Hata	407,070	168	2,423		
Toplam	218405,60	224			
Düzeltilmiş Toplam	1003,517	223			

Çizelge 5.3'deki eğilme direncine ait varyans analizi sonuçlarına göre levha yoğunluğu ve ısı işlem sıcaklığının % 99,9 güven düzeyinde etkisinin belirgin olduğu, presleme sonrası bekleme zamanlarının ve ısı işlem süresinin istatistiki olarak % 95 güven düzeyinde anlamlı düzeyde bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Eğilme direnci üzerine etki eden bağımsız değişkenlere ait homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan duncan testi sonuçları Çizelge 5.4'de verilmiştir.

**Çizelge 5.4 Eğilme direnci sonuçlarına ait Duncan testi**

Isıl İşlem Sıcaklığı	Duncan		
	1	2	3
Kontrol	30,06		
175 °C		30,63	
155 °C			31,36
165 °C			31,57
Isıl İşlem Süresi	1	2	
Kontrol	30,06		
4,5 Saat			31,08
3,5 Saat			31,19
2,5 Saat			31,30
Bekletme	1	2	
Kontrol	30,06		
600 dk			30,94
30 dk			31,27
120 dk			31,30
Levha Yoğunluk	1	2	
700 kg/m <sup>3</sup>	29,97		
740 kg/m <sup>3</sup>			32,41

Çizelge 5.4 incelendiğinde uygulanan ısıl işlem sıcaklıklarından 155 °C ve 165 °C sıcaklık düzeyleri eğilme direnci üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığından aynı homojenlik grubunda yer almasına rağmen, 175 °C ısıl işlem sıcaklığı, kontrol deney örnekleri ile karşılaştırıldıklarında eğilme dirençleri üzerine istatistiksel olarak % 95 güven aralığında olumsuz etki ettiği ve bu yüzden de farklı homojenlik grubunda yer aldığı görülmektedir.

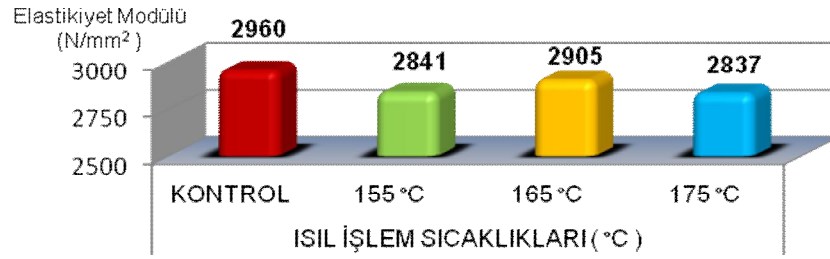
Isıl işlem sürelerine göre eğilme direnci sonuçlarında, 2,5 saat, 3,5 saat ve 4,5 saat ısıl işlem uygulanmış deney örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistikî olarak % 95 güven aralığında eğilme direnci üzerine aralarında anlamlı bir etkinin olmadığı görülmüştür.

Presleme sonrası bekletme zamanlarına göre eğilme direnci sonuçlarında, bekletme zamanları 30 dk, 120 dk ve 600 dk olan ısıl işlem örnekleri aynı homojenlik grubunda yer aldığı ve istatistiki olarak % 95 güven aralığında anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Levha yoğunluklarına göre eğilme direnci sonuçlarında, 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk seviyelerine sahip örnekler ile 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk seviyelerine sahip örnekler farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

### 5.3 Elastikiyet Modülü

Şekil 5.9’da uygulanan 3 ayrı ısıtım sıcaklığının (155,165 ve 175 °C) elastikiyet modülü üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



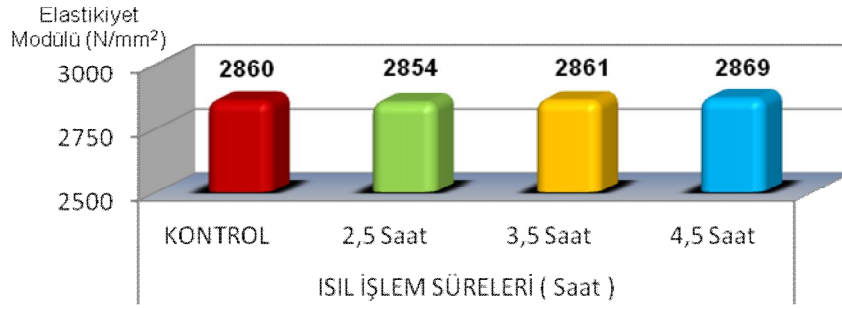
Şeki

#### 1.5.9 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Elastikiyet Modülü değerleri

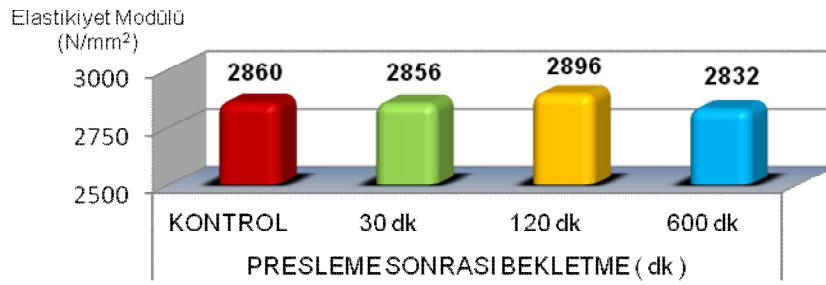
Şekil 5.9’daki grafik eğilmede elastikiyet modülü değerleri ısıtım sıcaklığı bakımından incelendiğinde en yüksek değer ısıtım uygulanmamış kontrol deney örneklerinde (2960 N/mm<sup>2</sup>) elde edilmiştir. Isıtım uygulanan tüm sıcaklıklarda (155, 165, 175 °C) deney örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri düşmüştür. Düşme oranları ise ortalama olarak % 3,3 olarak tespit edilmiştir.

Birçok çalışmada, odun termal olarak kısa zaman periyotlarında ve düşük sıcaklıklarda muamele edilmiş ve elastikiyet modülünde küçük bir artış (% 2-5 arası) olduğu belirlenmiştir. Buna karşın sıcaklık ve muamele süresinin artmasıyla elastikiyet modülünde % 20-30 arasında düşüş olduğu gözlenmiştir (Aydemir ve Gündüz, 2009).



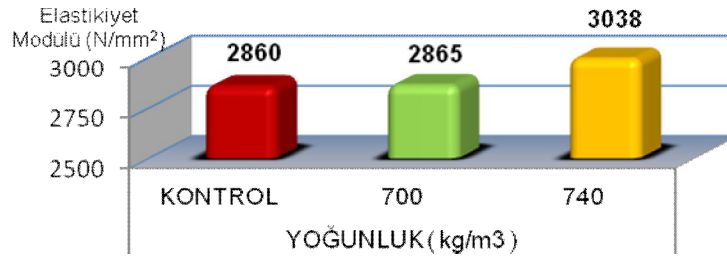


**Şekil 5.10** Isıl İşlem Sürelerine Göre Elastikiyet Modülü değerleri



**Şekil 5.11** Presleme Sonrası Bekletme Sürelerine Göre Elastikiyet Modülü değerleri

Şekil 5.10 ve 5.11 incelendiğinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri ısıl işlem süreleri ve presleme sonrası bekletme zamanları için önemli düzeyde etkilemediği görülmektedir. Burada seçilen süre aralıklarının dar oluşunun etkisi olabilir.



**Şekil 5.12** Levha Yoğunluklarına Göre Elastikiyet Modülü değerleri

Şekil 5.12’de örneklerin yoğunluk seviyeleri arttıkça, eğilmede elastikiyet modülü değerleri de artma göstermiştir. Bu durum, uygulanan pres basıncına karşılık gelen lif miktarının artması ile birlikte birim hacimdeki bağ oranındaki artıştan kaynaklandığı söylenebilir. Daha önce yapılan bir çalışmada, hammadde olarak saman (*Triticum aestivum* L.) sapları ve odun karışımından yararlanarak üç farklı tutkal oranlarında

(%8, %10, %12), üç farklı presleme zamanlarında (5, 6 ve 7 dk), iki farklı yoğunluk seviyesinde (700-800 kg/m<sup>3</sup>) levhalar üretilmiş ve çalışma sonunda optimum değerler olarak 800 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki levhaların daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır (İstek, 1999)

### 5.3.1 Elastikiyet Modülü Değerlerinin İstatistiksel Analizi

**Çizelge 5.5** Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, süresi ve presleme sonrası bekletmeye göre Elastikiyet Modülündeki değişime ilişkin varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplam	df	Kareler Ortalama	F	Önem Düzeyi
Levha Yoğunluk (A)	6937778,296	2	3468889,148	309,866	,000***
Isıl İşlem Sıcaklık (B)	216715,287	2	108357,644	9,679	,000***
Pres Sonrası Bekletme (C)	149307,370	2	74653,685	6,669	,002**
Isıl İşlem Süresi (D)	8387,815	2	4193,907	,375	,688ns
A * B	622530,343	2	311265,171	27,804	,000***
A * C	122681,926	2	61340,963	5,479	,005**
B * C	82082,991	4	20520,748	1,833	,125ns
A * B * C	208474,935	4	52118,734	4,656	,001***
A * D	66005,593	2	33002,796	2,948	,055ns
B * D	25608,630	4	6402,157	,572	,683ns
A * B * D	130260,685	4	32565,171	2,909	,023*
C * D	34229,963	4	8557,491	,764	,550ns
A * C * D	55274,019	4	13818,505	1,234	,298ns
B * C * D	57731,593	8	7216,449	,645	,739ns
A * B * C * D	87593,204	8	10949,150	,978	,455ns
Hata	1880725,5	168	11194,795		
Toplam	1848101102	224			
Düzeltilmiş Toplam	10719085,92	223			

Çizelge 5.5'de ki elastikiyet modülüne ait varyans analizi sonuçlarına göre levha yoğunluğu ve ısıtma işlem sıcaklığının % 99,9 güven düzeyinde, presleme sonrası bekletme zamanlarının ise % 99 güven düzeyinde etkili olduğu, bunlara karşın ısıtma işlem süresinin istatistikî olarak anlamlı düzeyde bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Elastikiyet modülü direnci üzerine etki eden bağımsız değişkenlere ait homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan duncan testi sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

**Çizelge 5.6** Elastikiyet modülü sonuçlarına ait Duncan testi

Isıl İşlem Sıcaklığı	Duncan		
	1	2	
175 °C	2837		
155 °C	2841		
165 °C		2906	
Kontrol		2927	
Isıl İşlem Süresi	1	2	
2,5 Saat	2854		
3,5 Saat	2861		
4,5 Saat	2869		
Kontrol		2927	
Bekletme	1	2	3
600 dk	2832		
30 dk	2856		
120 dk		2896	
Kontrol			2927
Levha Yoğunluk	1	2	
700 kg/m <sup>3</sup>	2685		
740 kg/m <sup>3</sup>		3037	

Çizelge 5.6 incelendiğinde uygulanan ısıl işlem sıcaklıklarından 155 °C ve 175 °C sıcaklık düzeylerinin elastikiyet modülü direnci üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığından aynı homojenlik grubunda yer almasına rağmen, 165 °C ısıl işlem sıcaklığı ve kontrol deney örnekleri ile karşılaştırıldıklarında elastikiyet modülü dirençleri üzerine istatistiksel olarak % 95 güven aralığında olumsuz etki yaptığı ve farklı homojenlik grubunda yer aldığı görülmektedir.

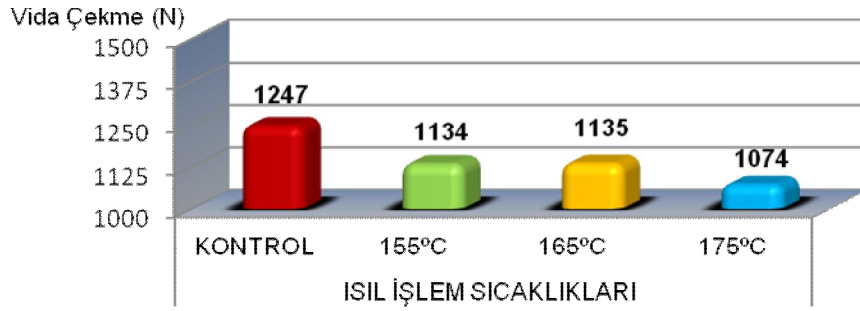
Isıl işlem sürelerine göre, 2,5 saat, 3,5 saat ve 4,5 saat ısıl işlem uygulanmış deney örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistikî olarak % 95 güven aralığında aralarında anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Presleme sonrası bekletme zamanlarına göre elastikiyet modülü sonuçlarında, 600 dk ve 30 dk presleme sonrası bekletme zamanları sonuçları aynı homojenlik grubunda ve ararındaki fark önemsizdir. Presleme sonrası 120 dk bekletilmiş ve kontrol örneklerine ait elastikiyet modülü dirençleri istatistiksel olarak % 95 güven aralığında farklı homojenlik grubunda yer aldığı görülmektedir.

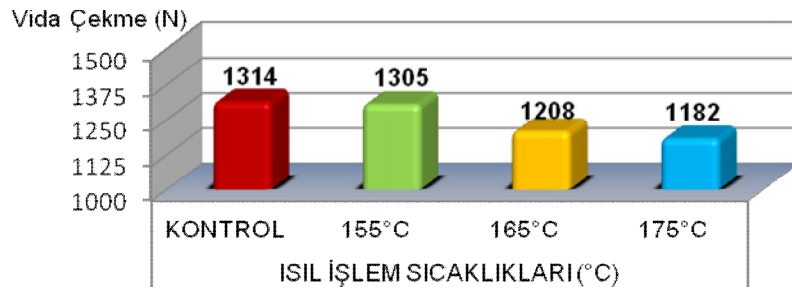
Levha Yoğunluklarına göre elastikiyet modülü sonuçlarında, yoğunluk seviyelerine göre deney örnekleri incelendiğinde  $700 \text{ kg/m}^3$  sonuçları ile  $740 \text{ kg/m}^3$  sonuçları farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

#### 5.4 Levha Yüzeyine Paralel ve Dik Vida Çekme Direnci

Örneklerin, levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme dirençlerinin için aritmetik ortalamalarına ait grafikler Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te verilmiştir. Bu grafiklerde, uygulanan 3 ayrı ısıl işlem sıcaklığının ( $155$ ,  $165$  ve  $175$  °C) levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme direnci üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



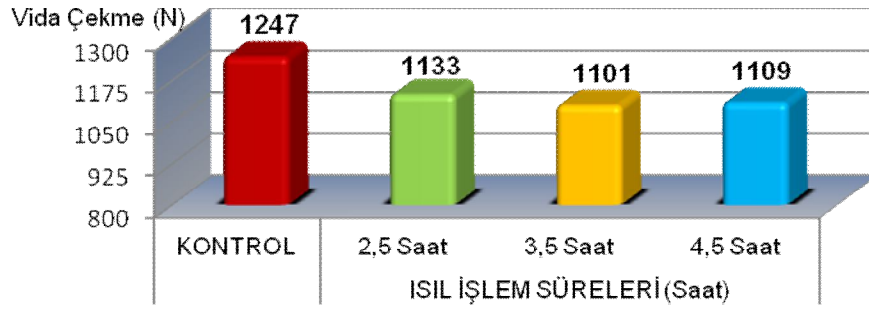
Şekil 5.13 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Yüzeje Paralel Vida Çekme değeri



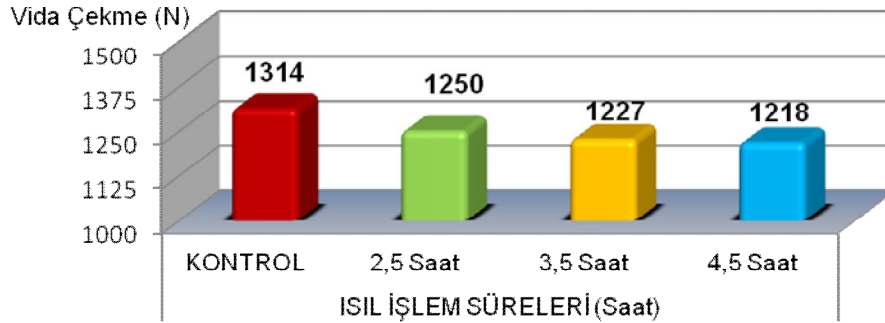
Şekil 5.14 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Yüzeje Dik Vida Çekme değeri

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te vida çekme direnci değeri ısıl işlem sıcaklığı bakımından incelendiğinde levha yüzeyine paralel ( $1247 \text{ N}$ ) ve dik yöndeki ( $1314 \text{ N}$ ) en yüksek vida çekme direnci, ısıl işlem uygulanmamış kontrol deney örneklerinde

elde edilmiştir. En düşük vida çekme direnci değerleri (1074 N ve 1182 N) ise ısıtma işlem sıcaklığı 175 °C’de elde edilmiştir. 155 °C ve 165 °C ısıtma işlem sıcaklıklarında elde edilen değerler birbirlerine yakın değerler vermiştir. Isıtma işlem uygulanan deney örneklerinde levha yüzeyine paralel ve dik yöndeki vida çekme dirençleri kontrol levhalarına göre düşme göstermiştir. Isıtma işlem ve artan sıcaklık ile vida çekme direnci değerlerindeki düşme, ısıtma işlem sıcaklığına bağlı olarak, hemiselüloz yıkımının gerçekleşmesi (Boonstra 2008 ve Aydemir 2007) şeklinde açıklanabilir.



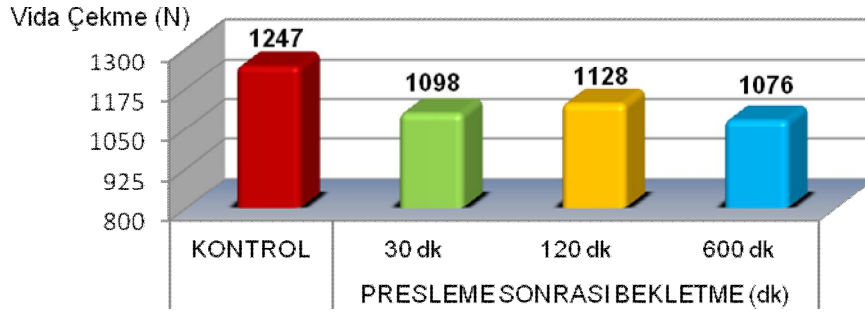
**Şekil 5.15** Isıtma İşlem Sürelerine Göre Yüzeye Paralel Vida Çekme değerleri



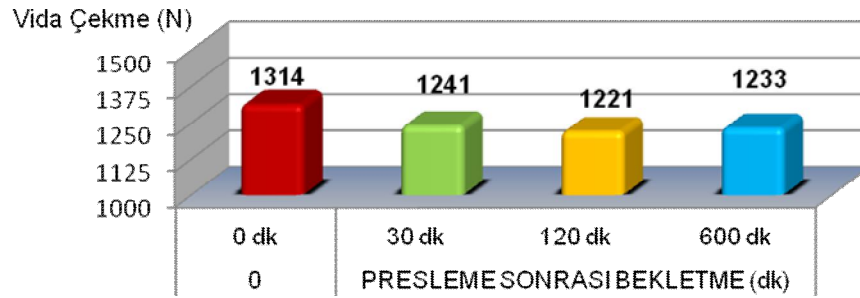
**Şekil 5.16** Isıtma İşlem Sürelerine Göre Yüzeye Dik Vida Çekme değerleri

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da vida çekme direnci değerleri ısıtma işlem süreleri bakımından incelendiğinde levha yüzeyine paralel (1247 N) ve dik (1314 N) yöndeki en yüksek vida çekme direnci, ısıtma işlem uygulanmamış kontrol deney örneklerinde elde edilmiştir. 2,5 saat, 3,5 saat ve 4,5 saat ısıtma işlem sürelerindeki değerler birbirine çok yakın sonuçlar vermişlerdir. Isıtma işlem süresi arttıkça vida çekme dirençleri de doğru orantılı olarak düşme göstermiştir. Aydemir (2007) Sıcaklık ve sürenin

artmasıyla mekanik ve teknolojik özelliklerde düşüşün daha fazla olduğunu, Karakaş (2008) 6 saatte mekanik özelliklerdeki düşüşün, 2 ve 4 saattekine göre daha yüksek sonuçlar ortaya koyduğunu bulmuştur.

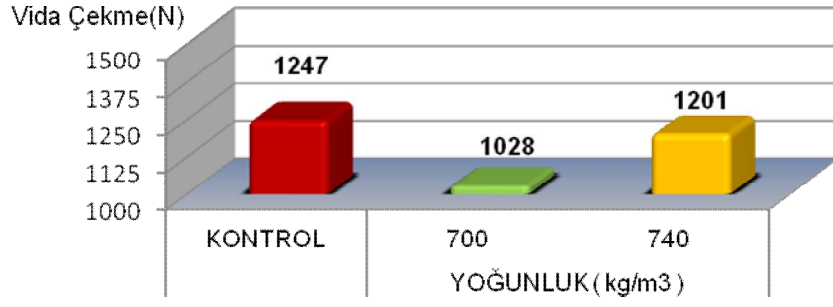


**Şekil 5.17** Presleme Sonrası Bekletmeye Göre Yüzeye Paralel Vida Çekme değerleri

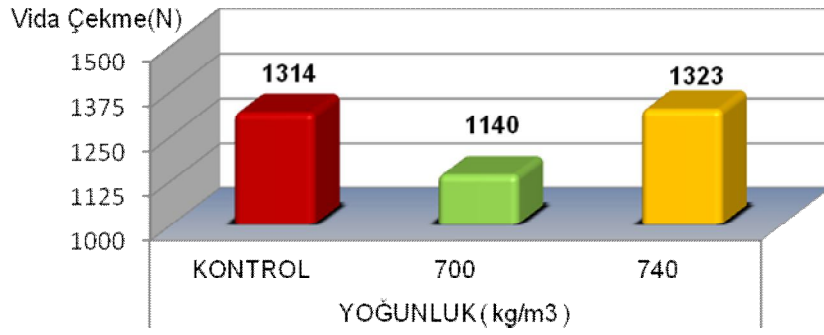


**Şekil 4.18** Presleme Sonrası Bekletmeye Göre Yüzeye Dik Vida Çekme değerleri

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de vida çekme direnci değerleri presleme sonrası bekletme zamanları bakımından incelendiğinde levha yüzeyine paralel (1247 N) ve dik (1314 N) yöndeki en yüksek vida çekme direnci, ısı işlem uygulanmamış kontrol deney örneklerinden elde edilmiştir. Presleme sonrası bekletme zamanlarındaki değişimin vida tutma direnci üzerine önemli derecede etki etmediği görülmektedir. Bunun sebebi olarak uygulanan ısı işlem süresi aralıklarının birbirine yakın değerler seçilmiş olması söylenebilir.



**Şekil 5.19** Levha Yoğunluklarına Göre Yüzeyle Paralel Vida Çekme değerleri



**Şekil 5.20** Levha Yoğunluklarına Göre Yüzeyle Dik Vida Çekme değerleri

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de vida çekme direnci değerleri her iki yoğunluk seviyeleri bakımından incelendiğinde 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğunda ki ısıtılmış deney örnekleri kontrol ve 700 kg/m<sup>3</sup> deney örneklerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu durum, uygulanan pres basıncına karşılık gelen lif miktarının artması ile birlikte birim hacimdeki bağ oranındaki artıştan kaynaklandığı söylenebilir. İstek (1999) İki farklı yoğunluk seviyesinde (700-800 kg/m<sup>3</sup>) levhalar üretmiş ve çalışma sonunda optimum değerler olarak 800 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki levhaların daha iyi sonuçlar verdiğini saptamıştır.

#### 5.4.1 Vida Çekme Değerlerinin İstatistiksel Analizi

**Çizelge 5.7** Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası bekletmeye göre Vida çekmelere ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Bağlı Değişken	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Levha Yoğunluk(A)	Paralel	854290,676	2	427145,338	57,848	,000***
	Dik	949462,926	2	474731,463	56,950	,000***
Isıl İşlem Sıcaklığı (B)	Paralel	86479,019	2	43239,509	5,856	,005*
	Dik	299595,130	2	149797,565	17,970	,000***
Presleme sonrası Bekletme (C)	Paralel	16980,519	2	8490,259	1,150	,324ns
	Dik	6737,241	2	3368,620	,404	,670ns
Isıl İşlem Süresi (D)	Paralel	19327,574	2	9663,787	1,309	,278ns
	Dik	19839,130	2	9919,565	1,190	,312ns
A * B	Paralel	118100,241	2	59050,120	7,997	,001***
	Dik	146959,241	2	73479,620	8,815	,000***
A * C	Paralel	18410,296	2	9205,148	1,247	,295ns
	Dik	9007,019	2	4503,509	,540	,586ns
B * C	Paralel	22443,981	4	5610,995	,760	,556ns
	Dik	14432,037	4	3608,009	,433	,784ns
A * B * C	Paralel	27775,537	4	6943,884	,940	,447ns
	Dik	84301,148	4	21075,287	2,528	,051ns
A * D	Paralel	9143,019	2	4571,509	,619	,542ns
	Dik	15702,796	2	7851,398	,942	,396ns
B * D	Paralel	120775,426	4	30193,856	4,089	,006ns
	Dik	47599,648	4	11899,912	1,428	,237ns
A * B * D	Paralel	54503,981	4	13625,995	1,845	,133ns
	Dik	37609,870	4	9402,468	1,128	,353ns
C * D	Paralel	51109,426	4	12777,356	1,730	,156ns
	Dik	64469,370	4	16117,343	1,933	,118ns
A * C * D	Paralel	37733,426	4	9433,356	1,278	,290ns
	Dik	6248,593	4	1562,148	,187	,944ns
B * C * D	Paralel	58943,074	8	7367,884	,998	,448ns
	Dik	59661,685	8	7457,711	,895	,527ns
A * B * C * D	Paralel	45725,074	8	5715,634	,774	,627ns
	Dik	63971,907	8	7996,488	,959	,477ns
Hata	Paralel	413502,500	56	7383,973		
	Dik	466814,000	56	8335,964		
Toplam	Paralel	142317031,000	112			
	Dik	173123952,000	112			
Düzeltilmiş Toplam	Paralel	2023520,277	111			
	Dik	2318511,429	111			



Çizelge 5.7’de ki levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına göre levha yoğunluğunun ve ısıl işlem sıcaklığının levhaların vida çekme değerleri üzerine % 99 güven düzeyinde istatistikî anlamda etkili olduğu, presleme sonrası bekletme zamanlarının ve ısıl işlem süresinin istatistikî olarak anlamlı düzeyde bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Levha yüzeyine paralel ve dik yönde vida çekme dirençleri bakımından bağımsız değişkenlere ait homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan duncan testi sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

**Çizelge 5.8** Levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme Duncan testi sonuçları

Isıl İşlem Sıcaklığı	Duncan PARALEL		Isıl İşlem Sıcaklığı	Duncan DİK	
	1	2		1	2
175 °C	1074		175 °C	1182	
155 °C	1133		165 °C	1208	
165 °C	1135		155 °C		1304
Kontrol		1247	Kontrol		1314
Isıl İşlem Süresi	Duncan PARALEL		Isıl İşlem Süresi	Duncan DİK	
	1	2		1	2
3,5 Saat	1101		4,5 Saat	1218	
4,5 Saat	1108		3,5 Saat	1226	
2,5 Saat	1132		2,5 Saat	1250	
Kontrol		1247	Kontrol		1314
Bekletme	Duncan PARALEL		Bekletme	Duncan DİK	
	1	2		1	2
30 dk	1097		120 dk	1221	
600 dk	1117		600 dk	1233	
120 dk	1128		30 dk	1240	
Kontrol		1247	Kontrol		1314
Levha Yoğunluk	Duncan PARALEL		Levha Yoğunluk	Duncan DİK	
	1	2		1	2
700 kg/m <sup>3</sup>	1027		700 kg/m <sup>3</sup>	1139	
740 kg/m <sup>3</sup>		1201	740 kg/m <sup>3</sup>		1324

Isıl işlem sıcaklıklarına göre yapılan Duncan testi sonucunda 155 °C, 165 °C ve 175 °C ısıl işlem sıcaklıklarında elde edilen vida çekme sonuçlarının aynı homojenlik grubunda olduğu ve istatistikî anlamda % 95 güven düzeyinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Levha yüzeyine dik vida çekme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucunda 165 °C ve 175 °C ısıl işlem sıcaklıklarında elde edilen sonuçlar ile

Kontrol örnekleri ile 155 °C ısıtım işlem sıcaklıklarında elde edilen sonuçların istatistiksel olarak % 95 güven aralığında aynı homojenlik grubunda yer aldığı görülmektedir.

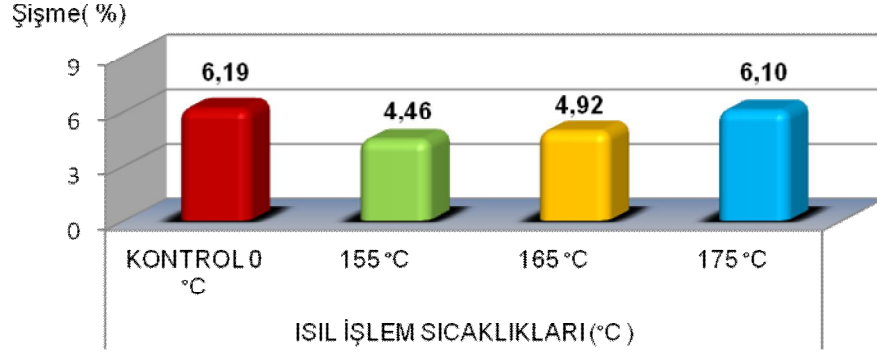
Isıtım işlem sürelerine göre levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucuna göre 2,5 saat, 3,5 saat ve 4,5 saat ısıtım işlem sürelerinde elde edilen sonuçlar aynı homojenlik grubunda ve istatistikî anlamda aralarında % 95 güven düzeyinde aralarında anlamlı bir etkinin olmadığı görülmüştür.

Presleme sonrası bekletme zamanlarına göre levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucuna göre 30 dk, 120 dk ve 600 dk bekletme zamanlarında elde edilen sonuçlar aynı homojenlik grubunda ve istatistikî anlamda % 95 güven düzeyinde aralarında anlamlı bir etkinin olmadığı görülmüştür.

Levha Yoğunluklarına göre levha yüzeyine paralel ve dik vida çekme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucuna göre, deney örnekleri incelendiğinde, 700 kg/m<sup>3</sup> sonuçlar ile 740 kg/m<sup>3</sup> sonuçları farklı homojenlik grubunda yer almış ve aralarında istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde farklılık olduğu tespit edilmiştir.

## 5.5 Kalınlığına Şişme

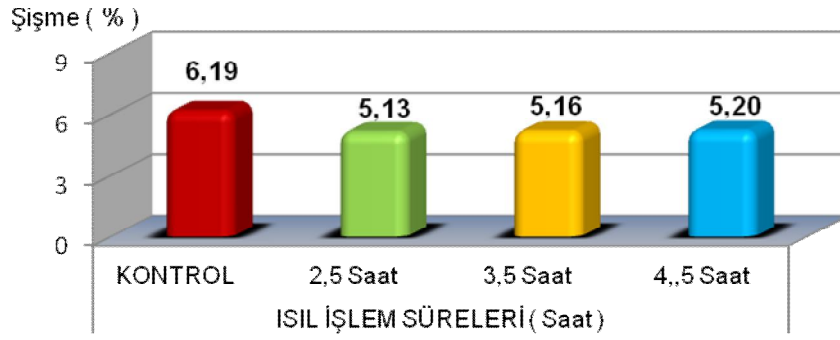
Örneklerin, Kalınlığına şişme Aritmetik Ortalamalarına ait grafik Şekil 5.21'den başlayarak sırasıyla verilmiştir. Şekil 5.21'de uygulanan 3 ayrı ısıtım sıcaklığının (155,165 ve 175 °C) kalınlığına şişme üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



**Şekil 5.21** Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Kalınlığına Şişme değerleri

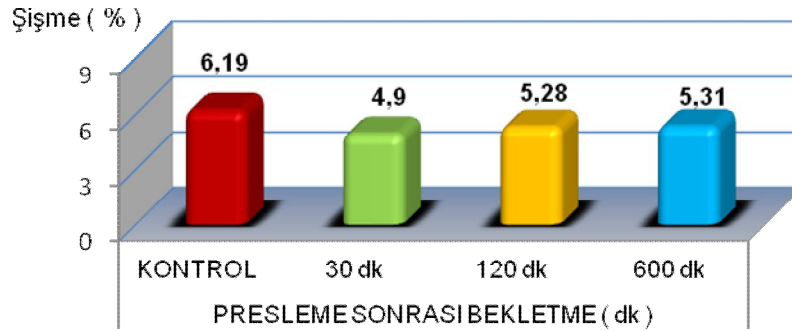
Şekil 5.21'de kalınlığına şişme değerleri ısıtım sıcaklığı bakımından incelendiğinde 24 saat suda bekletme sonrası en iyi sonuç 155 °C sıcaklıkta ısıtım uygulanmış deney örneklerinde % 4,46 olarak elde edilmiştir. Bu ısıtım sıcaklığında, lifin hücre çeperi su absorplama bakımından daha kararlı ve levhanın direnç gelişimine de katkıda bulunarak, şişme sırasında boşlukların oluşmasına karşı lifler daha kolay direnç göstermiştir (Braun ve Strand 1958).

Isıl işlem sıcaklığı arttıkça sonuçlar düşmekte ancak 175 °C ısıtım sıcaklığında tekrar yükselerek (% 6,10), kontrol levhaları ile yaklaşık sonuç elde edilmiştir. Bu durum, artan ısıtım sıcaklığı ile birlikte artık levha içindeki liflerin bozunmaya başladığı şeklinde açıklanabilir (Braun ve Strand 1958). En yüksek sonuç ise % 6,19 olarak ısıtım uygulanmamış kontrol deney örneklerinde elde edilmiştir.



**Şekil 5.22** Isıl İşlem Sürelerine Göre Kalınlığına Şişme değerleri

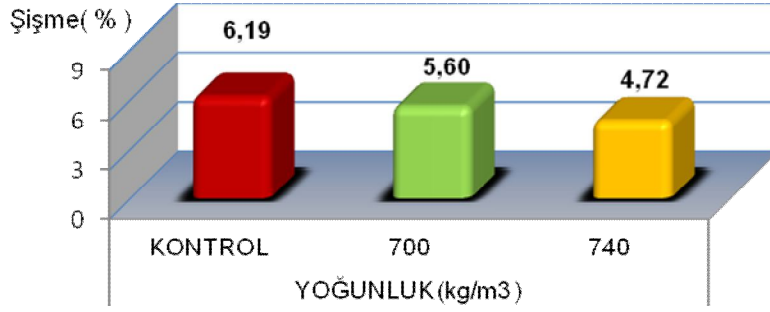
Şekil 5.22’de kalınlığına şişme değerleri ısıl işlem süreleri bakımından incelendiğinde 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme oranı için en iyi sonuç 2,5 saat ısıl işlem uygulanmış deney örneklerinde % 5,13 olarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi kısa süreli ısıl işlem süresi uygulandığında, kalınlığına şişme ve su emme miktarları düşmektedir (Eroğlu ve Usta 2000). En düşük sonuç ise ısıl işlem uygulanmamış kontrol deney örneklerinde elde edilmiştir. 3,5 ve 4,5 saat ısıl işlem uygulanmış deney örneklerinin kalınlığına şişme ve su emme sonuçları 2,5 saat ısıl işlem süresi ile benzer sonuçlar vermiştir.



**Şekil 5.23** Presleme Sonrası Bekletme için Göre Kalınlığına Şişme değerleri

Şekil 5.23’te kalınlığına şişme değerleri presleme sonrası bekletme zamanları bakımından incelendiğinde 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme oranı için en iyi sonuç 30 dk bekletme sonrası ısıl işlem uygulanmış deney örneklerinde % 4,90 olarak elde edilmiştir. En yüksek şişme oranı ise ısıl işlem uygulanmamış kontrol deney örneklerinde % 6,19 olarak elde edilmiştir. Presleme sonrası 120 ve 600 dk bekletme yapıldıktan sonra ısıl işlem uygulanmış deney örneklerinin kalınlığına

şişme oranları önemsiz bir farkla % 5,28 ve % 5,31 şeklinde bulunmuştur. Bu durumu yine presleme sonrası uygulanan termik işlemin etkisi ile hücre çeperi bileşenlerinde termal yıkımın sebep olduğu lif direnci kaybına karşın halen bağ gelişimi devam edebileceği için, levhanın direnç özellikleri, lifler arasında zayıf bağ oluşturana kadar yükselmeye devam eder şeklinde açıklayabiliriz (Suchsland ve Woodson 1986).



**Şekil 5.24** Levha Yoğunluklarına Göre Kalınlığına Şişme değerleri

Şekil 5.24’de kalınlığına şişme değerleri levha yoğunlukları bakımından incelendiğinde 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme oranı için en iyi sonuç 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip levhalarda % 4,72 kalınlığına şişme oranı olarak elde edilmiştir. 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip deney levhaları ise % 5,60 şişme oranı vermiştir. Bunun sebebi olarak uygulanan pres basıncına karşılık gelen lif miktarının artması ile birlikte birim hacimdeki bağ oranının artışı gösterilebilir.

Benzer şekilde (Ayrılmış, 2000) ve (Çamlıbel, 2006) yaptıkları çalışmada yoğunluk artışı ile kalınlığına şişme arasında ters orantı olduğunu belirtmişlerdir.

Kara (2011), üç farklı yoğunluk seviyesi (660, 680, 700 kg/m<sup>3</sup>) kullanarak orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) bazı fiziksel (kalınlık artışı, su emme ) ve mekanik (eğilme, eğilmede elastikiyet modülü, liflere dik ve paralel çekme direnci, yüzey absorpsiyonu, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü) özellikleri üzerine yaptığı çalışmada mekanik özelliklerden çekme ve vida tutma direnci haricinde ki diğer tüm dirençlere ait en iyi sonuçların 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip levhalardan üretildiğini belirlemiştir.

Netice olarak, ısıtıl işlem uygulanmış deney örneklerinde kalınlığına şişme ve su emme dirençleri kontrol örnekleri ile kıyaslandığında düşme göstermiştir. Artan ısıtıl işlem sıcaklığı ve süresi değerlerin düşmesinde etkili olmuş ve elde edilen değerler kontrol deney örneklerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Özellikle kısa süreli ısıtıl işlem, levhanın fiziksel ve mekaniksel özelliklerini yükseltmekte, artan ısıtıl işlem süresine bağılı olarak kalınlığına şişme ve su emme miktarları da düşmektedir. Ancak bu durumun levhanın mekanik özelliklerinde düşüşler meydana getireceğini de düşünerek ısıtıl işlem sıcaklığı ve süresinin seçiminde dikkat etmek gerektiği vurgulanmıştır (Eroğlu ve Usta 2000).

### 5.5.1 Kalınlığına Şişme ve Su Emme Değerlerinin İstatistiksel Analizi

**Çizelge 5.9** Yoğunluk, ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve presleme sonrası bekleme süresine göre Kalınlığına şişme ve Su Emme sonuçlarına ait varyans analizi

Varyans Kaynağı	Bağlı Değişken	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem düzeyi
Yoğunluk (A)	Şişme	12,615	1	12,615	745,723	,000***
	Su Emme	281,184	1	281,184	778,489	,000***
Sıcaklık (B)	Şişme	25,827	2	12,913	763,357	,000***
	Su Emme	490,099	2	245,049	678,447	,000***
Bekletme (C)	Şişme	1,903	2	,951	56,240	,000***
	Su Emme	207,124	2	103,562	286,723	,000***
Süre (D)	Şişme	,052	2	,026	1,544	,288ns
	Su Emme	3,878	2	1,939	5,368	,046*
A * B	Şişme	1,259	2	,629	37,209	,000***
	Su Emme	19,168	2	9,584	26,534	,001***
A * C	Şişme	,191	2	,095	5,644	,042*
	Su Emme	9,452	2	4,726	13,084	,006**
B * C	Şişme	1,091	4	,273	16,123	,002**
	Su Emme	18,567	4	4,642	12,852	,004**
A * B * C	Şişme	,329	4	,082	4,869	,043*
	Su Emme	18,376	4	4,594	12,719	,004**
A * D	Şişme	,137	2	,069	4,057	,077ns
	Su Emme	2,292	2	1,146	3,172	,115ns
B * D	Şişme	,111	4	,028	1,647	,278ns
	Su Emme	3,566	4	,891	2,468	,155ns
A * B * D	Şişme	,037	4	,009	,546	,710ns
	Su Emme	2,179	4	,545	1,508	,310ns
C * D	Şişme	,054	4	,014	,799	,567ns
	Su Emme	1,729	4	,432	1,197	,401ns
A * C * D	Şişme	,057	4	,014	,846	,544ns
	Su Emme	2,832	4	,708	1,960	,220ns
B * C * D	Şişme	,292	8	,036	2,156	,182ns
	Su Emme	7,909	8	,989	2,737	,118ns
A * B * C * D	Şişme	,246	8	,031	1,817	,241ns
	Su Emme	8,493	8	1,062	2,939	,103ns
Hata	Şişme	,102	6	,017		
	Su Emme	2,167	6	,361		
Toplam	Şişme	1784,531	62			
	Su Emme	31718,775	62			
Düzeltilmiş Toplam	Şişme	50,786	61			
	Su Emme	1216,395	61			

Çizelge 5.9’da kalınlığına şişme ve su emme değerlerine ait varyans analizi sonuçlarına göre ısıtım sıcaklığının, presleme sonrası bekletme zamanlarının ve levha yoğunluğunun % 99,9 güven düzeyinde ve ısıtım süresinin % 95 güven düzeyinde, kalınlığına şişme ve su emme üzerine etkisinin anlamlı olduğu, ısıtım süresi için ise istatistikî olarak anlamlı düzeyde bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Kalınlığına şişme sonuçlarına ait varyans analizi bağımsız değişkenlere ait homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan duncan testi sonuçları Çizelge 5.10’da verilmiştir.

**Çizelge 5.10** Kalınlığına şişmeye sonuçlarına ait Duncan testi

Isıl İşlem Sıcaklığı	Duncan		
	1	2	3
155 °C	4,46		
165 °C		4,92	
175 °C			6,10
Kontrol			6,12
Isıl İşlem Süresi	1	2	
2,5 Saat	5,12		
3,5 Saat	5,16		
4,5 Saat	5,20		
Kontrol		6,12	
Bekletme	1	2	3
30 dk	4,89		
120 dk		5,28	
600 dk		5,31	
Kontrol			6,12
Yoğunluk	1	2	
740	4,72		
700		5,60	

Isıl işlem sıcaklıklarına göre 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucuna göre 175 °C ısıtım sıcaklığı ve kontrol deney örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel anlamda % 95 güven aralığında aralarında anlamlı bir etkinin olmadığı görülmüştür. Ancak 155 °C ve 165 °C ısıtım sıcaklığı karşılaştırıldığında, istatistiksel anlamda % 95 güven düzeyinde farklı gruplarda yer aldığı için aralarında anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.



155 °C ve 165 °C ısıtma sıcaklıklarında kalınlığına şişme miktarları olumlu yönde azalma göstermiştir.

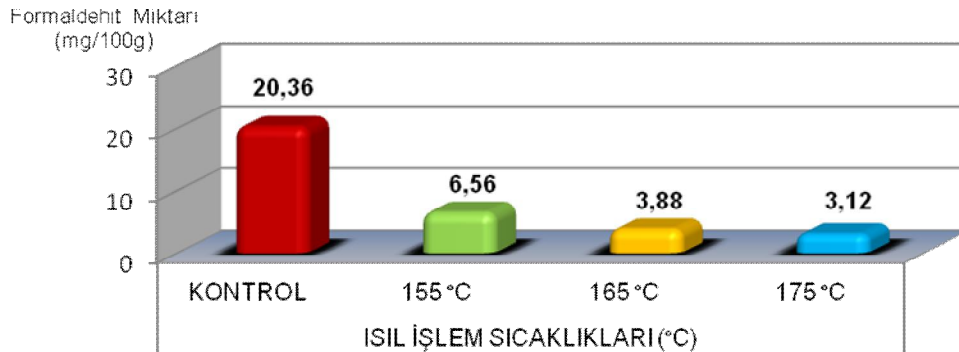
Isıl işlem sürelerine göre 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucuna göre 2.5 saat, 3.5 saat ve 4.5 saat ısıtma süreleri aynı homojenlik sınıfında ve % 95 güven düzeyinde, sürelerdeki değişimin anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Presleme sonrası bekletme zamanlarına göre 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucuna göre 30 dk bekletme 1. Grupta, 120 dk ve 600 dk bekletme aynı homojenlik sınıfında ve 2. Grupta, kontrol örnekleri ise 3. Grupta yer almıştır.

Levha yoğunluklarına göre 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme sonuçları için yapılan Duncan testi sonucuna göre 740 kg/m<sup>3</sup> deney örnekleri ile 700 kg/m<sup>3</sup> deney örnekleri farklı homojenlik sınıfında yer almıştır. Yoğunluk artışı kalınlığına şişme miktarlarını olumlu yönde etkilemiştir.

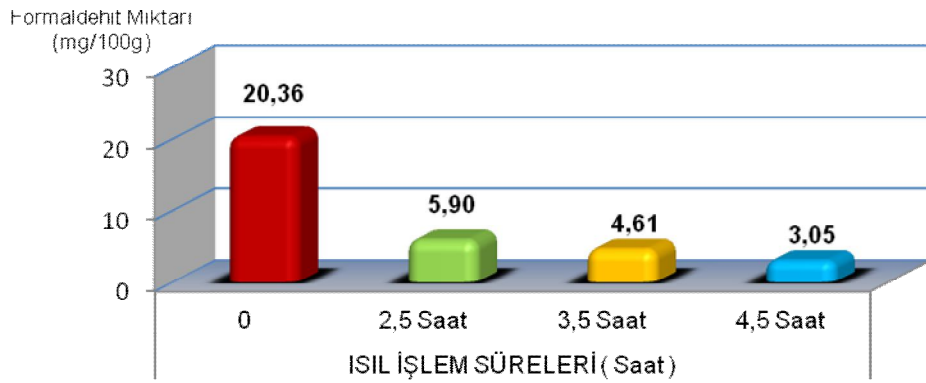
## 5.6 Serbest Formaldehit Miktarları

Örneklerin, serbest formaldehit miktarları için aritmetik ortalamalarına ait grafik Şekil 5.25'te verilmiştir. Bu grafikte, uygulanan 3 ayrı ısıtma sıcaklığının (155,165 ve 175 °C) serbest formaldehit miktarları üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



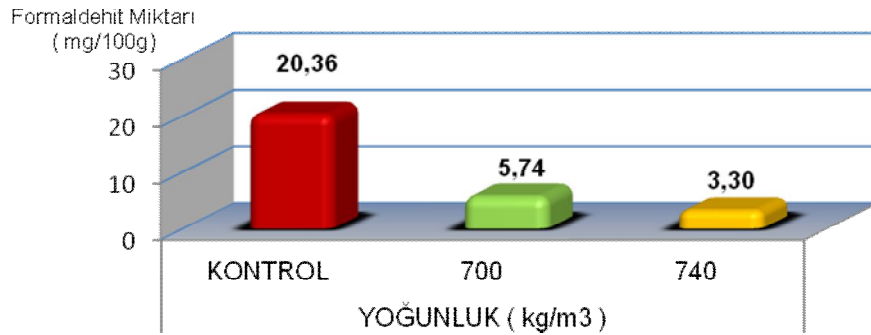
Şekil 5.25 Isıl İşlem Sıcaklıklarına Göre Formaldehit Miktarları

Şekil 5.25'te serbest formaldehit miktarları ısıtma sıcaklıkları bakımından incelendiğinde en iyi sonuç 175 °C sıcaklıkta ısıtma uygulanmış deney örneklerinde 3,12 mg/100g olarak elde edilmiştir. En yüksek sonuç ise ısıtma uygulanmamış kontrol deney örneklerinde 20,36 mg/100g olarak elde edilmiştir. 165 °C sıcaklıkta ısıtma uygulanmış deney örneklerindeki serbest formaldehit miktarı (3,88 mg/100g) 155 °C sıcaklıkta ısıtma uygulanmış deney örneklerinden (6,56 mg/100g) daha düşük çıkmıştır. Isıtma sıcaklığı arttıkça deney örneklerindeki serbest formaldehit miktarlarında düşmeler görülmektedir.



Şekil 5.26 Isıtma Sürelerine Göre Formaldehit Miktarları

Şekil 5.26'da serbest formaldehit miktarları ısıtma süreleri bakımından incelendiğinde en iyi sonuç 4,5 saat ısıtma uygulanmış deney örneklerinde 3,05 mg/100g olarak elde edilmiştir. En yüksek sonuç ise ısıtma uygulanmamış kontrol deney örneklerinde 20,36 mg/100g olarak elde edilmiştir. Isıtma süresi arttıkça deney örneklerindeki serbest formaldehit miktarlarında düşmeler görülmektedir.



Şekil 5.27 Levha Yoğunluklarına Göre Formaldehit Miktarları

Şekil 5.27’de serbest formaldehit miktarları yoğunluk seviyeleri (700-740 kg/m<sup>3</sup>) bakımından incelendiğinde en iyi sonuç 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki levhalarda 3,3 mg/100g olarak elde edilmiştir. 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki levhalarda ise 5,74 mg/100g olarak elde edilmiştir. En yüksek formaldehit miktarı sonucu ise ısıl işlem uygulanmamış kontrol deney örneklerinde 20,36 mg/100g olarak elde edilmiştir.

Isıl işlem uygulamalarında sıcaklık ve süre artışı levhalardaki serbest formaldehit miktarını azaltmaktadır. Bu durumu MDF üretiminde presleme aşamasında sıcaklık ve basıncın etkisiyle taslak içinden uzaklaşan rutubetle birlikte dış ortama yayılan serbest formaldehitin bir devamı olarak düşünmek gerekir. Isıl işlem uygulamasında artan sıcaklık ile levha içinden uzaklaştırılan rutubet, serbest formaldehit ayırımını da beraberinde getirmiştir (Akbulut 1995).

### 5.6.1 Serbest Formaldehit Miktarı Değerlerinin İstatistiksel Analizi

**Çizelge 5.11** Yoğunluk, ısıl işlem sıcaklığı ve ısıl işlem süresinin formaldehit miktarı üzerine etkisine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Levha Yoğunluk (A)	114,405	2	57,203	17,875	,003**
Isıl İşlem Sıcaklığı (B)	39,093	2	19,546	6,108	,036*
Isıl İşlem Süresi (C)	24,356	2	12,178	3,805	,086ns
A*B	2,415	2	1,207	,377	,701ns
A*C	,497	2	,248	,078	,926ns
B*C	6,511	4	1,628	,509	,733ns
A*B*C	4,721	4	1,180	,369	,823ns
Hata	19,201	6	3,200		
Toplam	3895,636	26			
Düzeltilmiş Toplam	1601,658	25			

Çizelge 5.11’de serbest formaldehit miktarlarına ait varyans analizi sonuçlarına göre levha yoğunluğunun, % 99 güven düzeyinde, ısıl işlem sıcaklığının % 95 güven düzeyinde etkili olduğu, ısıl işlem süresinin ise istatistikî olarak anlamlı düzeyde bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Serbest formaldehit miktarları üzerine bağımsız değişkenlerin homojenlik gruplarını belirlemek amacıyla yapılan duncan testi sonuçları Çizelge 5.12’de verilmiştir.

**Çizelge 5.12** Serbest formaldehit miktarlarına ait Duncan testi

Isıl İşlem Sıcaklığı	Duncan		
	1	2	3
175 °C	3,12		
165 °C	3,88		
155 °C		6,56	
Kontrol			20,36
Isıl İşlem Süresi	1	2	3
4,5 Saat	3,05		
3,5 Saat	4,61		
2,5 Saat		5,90	
Kontrol			20,36
Yoğunluk	1		2
740	3,3		
700		5,74	
Kontrol			20,36

Isıl işlem sıcaklıklarına göre serbest formaldehit miktarı sonuçlarına göre 165 °C ve 175 °C sıcaklıklardaki değerler aynı homojenlik sınıfında yer aldığı için istatistiksel anlamda % 95 güven düzeyinde aralarında belirgin bir fark olmadığı görülmüştür. En fazla serbest formaldehit miktarı, ısıl işlem uygulanmamış kontrol deney numunelerinden elde edilmiş ve 155 °C deney örnekleri ile aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı homojenlik grubunda yer almıştır. Isıl işlem sıcaklık seviyeleri arttıkça deney levhalarının serbest formaldehit miktarlarında önemli düşmeler görülmüştür.

Isıl işlem sürelerine göre serbest formaldehit miktarı sonuçlarında, kontrol deney örneklerinde en yüksek sonuç elde edilmiştir ve farklı bir grupta yer almıştır. 3,5 saat ve 4,5 saat ısıl işlem uygulanmış deney örnekleri aynı homojenlik sınıfında ve istatistiksel olarak aralarındaki fark önemsiz düzeyde ve 2,5 saat ısıl işlem uygulanan örnekler ile aralarında belirgin bir fark olduğu için farklı gruplarda yer almışlardır. Artan ısıl işlem sürelerinde serbest formaldehit değerleri düşme göstermiştir.

Levha yoğunluklarına göre serbest formaldehit miktarı sonuçlarında, 700 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk seviyelerine sahip örnekler ile 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk seviyelerine sahip örnekler farklı homojenlik sınıfında yer alarak istatistiksel olarak % 95 güven düzeyinde aralarında belirgin bir fark olduğu görülmüştür. 740 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip deney örnekleri daha düşük serbest formaldehit miktarı sonuçları vermiştir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada termik işlemin orta yoğunluktaki lif levhaların (MDF) bazı özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen veriler neticesinde ısı işleme MDF levhalarının bazı mekanik özelliklerini (eğilme direnci hariç) artıran ısı işleme sıcaklığına ve süresine bağlı olarak düşürmektedir. Fiziksel özelliklerden kalınlığına şişme ve serbest formaldehit miktarları üzerine olan etkisi ise olumlu olmuştur.

**Çizelge 6.1** Isıl İşlem Sıcaklığı, Isıl İşlem Süresi, Presleme Sonrası Bekletme Zamanları ve Levha Yoğunluklarına Göre elde edilen deney levhalarının optimum sonuçları

MDF'nin fiziksel ve mekaniksel mukavemetlerine ilişkin optimum değerler						
DENEYLER	Birim	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl İşlem Süresi	Presleme Sonrası Bekletme	Levha Yoğunluk	
		155 – 165 - 175	2,5 – 3,5 – 4,5	30-120-600	700 - 740	
		°C	Saat	dk	kg/m <sup>3</sup>	
Çekme Direnci	N/mm <sup>2</sup>	155 (0,63)	2,5 (0,6)	30 (0,6)	740 (0,63)	
Eğilme Direnci	N/mm <sup>2</sup>	165 (31,5)	2,5 (31,3)	120 (31,3)	740 (32,4)	
Elastikiyet Modülü	N/mm <sup>2</sup>	165 (2906)	4,5 (2869)	120 (2896)	740 (3037)	
Yüzey Vida Çekme	N	165 (1135)	2,5 (1132)	120 (1128)	740 (1201)	
Kenar Vida Çekme	N	155 (1304)	2,5 (1250)	30 (1240)	740 (1324)	
Kalınlığına Şişme	%	155 (4,46)	2,5 (5,12)	30 (4,89)	740 (4,72)	
Serbest Formaldehit Miktarı	mgr/100 gr levha	175 (3,11)	4,5 (3,05)	*	740 (3,29)	

\* Serbest Formaldehit miktarlarının belirlenmesinde presleme sonrası bekletme zamanı 600 dk sabit seçilmiştir.

Tespit edilen her bir levha özelliği üzerine optimum üretim şartları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Buna göre çekme direnci, kenar vida çekme ve 24 saat suda bekletme sonrası kalınlığına şişme sonuçları için ısı işleme sıcaklığı 155 °C, ısı işleme süresi

2,5 saat, presleme sonrası bekletme zamanı 30 dk ve levha yoğunluğu 740 kg/m<sup>3</sup> şartları en uygun seçimler olarak ortaya çıkmıştır.

Eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzey vida çekme sonuçları için ısı işlem sıcaklığı 165 °C, presleme sonrası bekletme zamanı 120 dk ve levha yoğunluğu 740 kg/m<sup>3</sup> şartları ise en uygun seçimler olarak ortaya çıkmıştır.

Elastikiyet Modülü için ısı işlem süresi 4,5 saat, eğilme direnci ve yüzey vida çekme için ısı işlem süresi 2,5 saat optimum olarak tespit edilmiştir.

Serbest Formaldehit Miktarı sonuçları için ısı işlem sıcaklığı 175 °C, ısı işlem süresi 4,5 saat ve levha yoğunluğu 740 kg/m<sup>3</sup> şartları en uygun seçimler olarak ortaya çıkmıştır.

155 °C ve 165 °C ısı işlem sıcaklığı ve 2,5 saat ısı işlem süresi ile presleme sonrası bekletme zamanları açısından 30 dk ve 120 dk bekletme şartları deney levhalarının özellikle iç mekânlarda (mutfak mobilyaları, kapı ve pervaz, parke ve yer döşemeleri) kullanıma uygun olduğu söylenebilir. Isı işlem sıcaklığı 175 °C ve 4,5 saat ısı işlem sürelerinde deney levhalarının mekanik özellikleri genel itibarı ile düşüşler gösterdiği için kullanım alanlarında özellikle mekanik mukavemet istenilen yerlerde kullanımından kaçınılması gerekmektedir.

Deney levhalarının kalınlığına şişme ve su emme değerleri ile serbest formaldehit miktarı sonuçları ise uygulanan ısı işlem ile daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu sebeple özellikle rutubete karşı dayanıklılık istenilen yerlerde (tavan, yer döşemeleri, parke ve mobilya) kullanımının uygun olduğu ancak yinede ısı işlem ile birlikte ilave olarak yüksek levha yoğunluğu ve tutkal türünün de önemli bir etken olduğu söylenebilir.

Serbest formaldehit miktarları ısı işlem görmüş tüm deney örneklerinde çok ciddi oranlarda düşmüştür. E2 sınıfında üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilmiş olan deney örneklerinde formaldehit miktarları ısı işlem sonrası E1 sınıfında (6,5 mg/100gr levha) yer almıştır. Özellikle 175 °C sıcaklık ve artan ısı işlem sürelerinde değerler çok daha iyi sonuçlar vermiştir. İnsan sağlığı açısından önemli bir

formaldehit sınıfı olan E1 hem levha üretim aşamasında hem de üretim sonrası mobilya olarak iç mekânlarda ki kullanımda çok daha az risk teşkil etmektedir.

Isıl işlem görmüş levhaların fiziksel özelliklerinde iyileşmeler tespit edilmesine karşın makul değerlerde de olsa bazı mekanik özelliklerinde düşmeler olduğu açıktır. Fakat aynı şartlarda E1 sınıfı tutkal kullanılarak elde edilen levhaların mekanik özelliklerindeki düşmeler ile karşılaştırılmasının yapılacağı yeni araştırmalar önerilebilir.

Bu çalışma kapsamında istatistiksel olarak özellikle fiziksel ve mekanik değerler üzerine etkisinin daha belirgin olması açısından farklı ısıl işlem sıcaklık ve süreleri seçerek yeni çalışmaların yapılması önerilebilir.

Isıl işlem görmüş levhalar, ısıl işlem görmemiş levhalara göre kullanım alanı geniş olduğu için kullanım alanlarında ısıl işlem görmüş levhalar tercih edilmelidir. Bu sebeple mekanik özelliklerdeki düşüşlerinde önüne geçmek için ısıl işlem sıcaklığı ve süresinin seçiminde çok dikkat edilmesi gerekmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akbulut, T. 1995. Çeşitli Faktörlerin Yonga Levhanın Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akgül, M. 2006. Mısır Saplarından Orta Yoğunlukta Lif Levha Üretimi. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi Cilt:5, Sayı:2, Sayfa:95-103.
- Akgün, K. 2008. Lamine edilmiş kestane (*Castanea sativa Mill.*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine tanen ve ısıtılmanın etkileri. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 79 s., Zonguldak.
- Aksakal F., Vaizoğlu A., S., ve Güler, Ç. 2005. Mobilyalardaki Kimyasallar ve Sağlık Etkileri, cilt 14, sayı 12, 268.
- Alvur, F. 2001. Yönlendirilmiş yonga levhaların üretim özellikleri ve kullanım yerleri üzerine araştırmalar. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 130s., İstanbul.
- Anonymous. 2003. ThermoWood Handbook. Finnish ThermoWood Association, Helsinki, Finland.
- Athanassiadou, E. 2000 Formaldehyde free aminoplastic bonded composites. In: Proceedings of the 5th International Conference on Environmental Pollution, Aristotelion University, pp. 770. Thessaloniki, Greece.
- Athanassiadou, E., Tsiantzi, S. and Markessini, C. 2007. Towards composites with formaldehyde emission at natural wood levels, Proceedings of the 2nd conference of COST Action E49, Measurements and control of VOC Emissions from Wood – Based Panels, 28-29 November 2007, Braunschweig, Germany.
- Aydemir, D. 2007. Göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısıtılmanın etkisi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 175s., Zonguldak.
- Ayrılmış, N. 2000. MDF'nin Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türünün Etkisi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ayrılmış, N., Jarusombuti, S., Fueangvivat, V., and Bauchongkol, P. 2011. Effects of thermal treatment of rubberwood fibres on physical and mechanical properties of medium density fibreboard. Journal of Tropical Forest Science 23(1): 10–16. Forest Research Institute, Malaysia.

- Ayrılmış, N. And Winandy, J. 2009. Effects of post heat treatment on surface characteristics and adhesive bonding performance of medium density fiberboard. *Materials and Manufacturing Process* 24: 594–599.
- Banoub J.H., and Delmas, M. 2003. JMS letters. *Journal of mass spectrometry* 38:900-903.
- Boonstra, M.J. 2008. A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. dissertation in cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré - Nancy 1, 297 p., ISBN 978-90-5989-210-1.
- Boran, B. ve Usta, M. 2010. Odun Esaslı Panellerde Açığa Çıkan Formaldehit ve Formaldehit Sınırları Hakkında Bilgiler III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Cilt: V Sayfa: 1968-1975.
- Bozkurt, A. Y. ve Göker, Y. 1990. Yonga levha Endüstrisi, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3311, Orman Fakültesi Yayın No: 372, İstanbul.
- Bozkurt, A. Y. 1992. Odun anatomisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 3652, Fakülte Yayın No: 415, İstanbul.
- Braun, O. and Strand, A. 1958. Varmebchhandling av harda trabiberskivor., *Svensk Papperstidning*, Vol. 14, No. 7, p.437-444.
- CEC - Commission of the European Communities 1991. Indoor air pollution by formaldehyde in the European Countries. H. Knoepfel, H. Moelhave & B. Seifert - Final Report - pg. 2-10.
- Cka, J. and Morze, Z. 2003. Short-term effect of the temperature on the bending strength of wood-based panels Department of Wood-Based Composites, August Cieszkowski Agricultural University of Poznan, Wojska Polskiego Str. 38/42, 60-627 Poznan, Poland.
- Çamlıbel 2006 Ormangülü biyokütlesinden (*Rhododendron Ponticum* L.) mdf (orta Yoğunlukta lif levha) üretimi olanaklarının araştırılması. A.İ.B.Ü. Düzce Orman fakültesi/Düzce.
- Çehreli, H. T. 1982. Lif levha Endüstrisi Ders Notları, K.T.Ü. Orman Fakültesi, 218 s., basılmamıştır, Trabzon.
- Aydemir, D. ve Gündüz, G. 2009. Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekaniksel ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi. Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın.
- Dirol, D. and Guyonnet, R. 1993. The improvement of wood durability by retification process. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 93–40015, IRG Secretariat, Stockholm, Sweden.

- Enjily V, Jones D 2006. The potential for modified materials in the panel products industry, Wood Resources and Panel Properties Conference, COST Action E44/E49, 12-14 June, 2006, Valencia, Spain.
- Eroğlu, H. 1985. Kağıt ve Karton Üretim Teknolojisi. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 6, K.T.Ü. Matbaası, 623s., Trabzon.
- Eroğlu, H. 1988. Lif levha Endüstrisi Lisans ders notu. K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon.
- Eroğlu, H. 1994. Lif levha Endüstrisi. Ders Notları. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 45, 212 s., Trabzon.
- Eroğlu, H. ve Usta, M. 2000. Lif levha Üretim Teknolojisi. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon.
- Euwid 2007. Wood-Based Panels Industry Wants to End Talks on Emissions Soon, Wood Products and Panels, 81 (31), 1&13.
- Fidan, M. 2005. Bazı yıllık lignoselülozik artıklardan fenol- formaldehit tipi tutkalların üretimi ve uygulanması. K.S.Ü., F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, s.10-12, Kahramanmaraş.
- Frihart, C.R. 2005. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites USD A, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, s.215-259.
- Güler, C. 2001. Pamuk (*Gossypium hirsutum L.*) Saplarından Yonga Levha Üretimi Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Güller, B. ve Korkut, S. 2006. Isıl işlem görmüş ahşap (ThermoWood). Woodwork Mobilya, Mobilya Yan Sanayi, Mimarlık, Dekorasyon ve Araştırma Dergisi, 38-48.
- Gündüz, G., Aydemir, D. and Karakaş, G. 2009 a. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia Pall.*) wood and changes in physical properties. Materials and Design, 30(10); 4391-4395.
- Hill, C. A. S. 2006. Wood modification: chemical, thermal and other processes. John Wiley & Sons Ltd., 232 p., England.
- Huş, S. 1977. Ağaç Malzeme Tutkalları. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İ.Ü.Yayın No: 2337, O.F. Yayın No: 242, s.7-39, İstanbul.
- International ThermoWood Association. 2009. <http://www.thermowood.fi/>. Erişim Tarihi: 02.04.2011

- İstek, A. 1999. Buğday Saplarından (*Triticum aestivum* L.) Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Kalaycıoğlu, H. 1991. Sahil Çamı (*Pinus Pinaster*) Odunların Yonga levha Üretiminde kullanılması İmkânları. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kara, M.E. 2011. Tutkal Miktarı ve Levha Yoğunluğunun MDF'nin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, 131s, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu.
- Karakaş, G. 2008. Ahlât (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde ısı işlemin etkisi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 71 s., Zonguldak.
- Kocafe, D., Poncsak, S. and Boluk, Y. 2008. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources* 3(2):517- 537.
- Kocafe, D., Shi L. J., Yang, D. Q. and Bouazara, M. 2008. Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and aspen. *Forest Products Journal* 58(6):88-93.
- Korkut, S., Akgül, M. and Dündar, T. 2008 b. The effects of heat treatment on some technological properties of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Bioresource Technology*, 99(6); 1861–1868.
- Korucu, T. ve Mengeloğlu, F. 2007. Türkiye Tarımsal Artık Potansiyeli ve Alternatif Kullanım Olanakları. Tarımsal mekanizasyon 24. Ulusal kongresi 5-6 Eylül. s.297-307.
- Lampert, A. 1967. Preparation, Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 453 p.
- Lehmann, W. And Roffael, E. 1992. International guidelines and regulations for formaldehyde emissions. In: *Proc. of the 26th W.S.U. Int. Part./Comp. Mat. Symp.*, pg. 124-141, Pullman, Washington, USA.
- LeVan S. L., Ross, R.J. and Winandy, J.E. 1990. Effects of Fire Retardant Chemicals on Bending Properties of Wood at Elevated Temperatures. Res. Pap. FPL-RP498, USDA Forest Service Forest Products Laboratory, Madison, WI-USA, 24 pp.
- Malkoçoğlu, A. 1994. Doğu kayını odununun teknolojik özellikleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 139 s., Trabzon.
- Maloney, T.M. 1993. Particleboard and dry particleboard and dry process fiberboard

Manufacturing. Updated edition Miller Freeman Publication, California, U.S.A.

- Marutzky, R. and Dix, B. 2004. Adhesive related VOC-and Formaldehyde – Emissions from Wood products: Tests, regulations, standards, future developments. In: Proceedings of the COST E34 Conference, Innovations in Wood Adhesives, ed. Milena Properzi, Frederic Pichelin and Martin Lehmann, pp.91-106. University of Applied Sciences Bern, HSB, Biel, Switzerland.
- Marutzky, R. 2008. Opening and Thematic Introduction, Proceedings of the Technical Formaldehyde Conference. WKI, 13-14 March 2008, Hannover, Germany.
- Militz, H. 2002. Heat treatment technologies in Europe: Scientific background and technological state-of-art. In: Proceedings conference on enhancing the durability of lumber and engineered wood products. February 11–13, Kissimmee, Orlando, Forest Products Society, Madison, US.
- Mohebbi B. and Ilbeighi, F. 2007 Physical and mechanical properties of hydrothermally modified medium density fiberboard (MDF). Proceedings of the International Panel Products Symposium 2007. Cardiff, Wales, UK 17–19 October 2007, pp 341–348
- Okino, E., Teixeira, D.E. and Del Menezzi CHS. 2007. Post-thermal treatment of oriented strandboard (OSB) made from cypress (*Cupressus glauca* lam.). *Maderas Cienc Tecnol* 9(3):199–210
- Özçiftçi, A., Altun, S. ve Yapıcı, F. 2009. Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
- Özen, R. 1981. Kimyasal Kağıt Hamuru Atık Sularının, yonga levha üretiminde yapıştırıcı madde olarak değerlendirilmesi olanakları. K.T.Ü.Basımevi, Trabzon. s.152.
- Pizzi, A. 1994. Advanced Wood Adhesives Technology. Prs. Marcel Dekker, NewYork, 235, s.10-120.
- Poncsak, S., Kocaefe, D., Bouazara, M. and Pichette, A. 2006. Effect of High Temperature Treatment on the Mechanical Properties of Birch (*Betula papyrifera*). *Wood Science and Technology* 40:647-668.
- Roffael, E. 1993. Formaldehyde Release from Particleboard and Other Wood Based Panels. *Malayan Forest Records*, No:37.
- Roffael, E. 2006. Volatile Organic Compounds and Formaldehyde in Nature. *Wood and Wood Based Panels. Holz als Roh-und Werkstoff*, 64, 144-149.

- Rowell, R. 1984. The chemistry of solid wood. American Chemical Society, Vol. 207, Washington, USA.
- Santos, J. A. 2000. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. Wood Science and Technology, 34(1); 39–43.
- Sidorova, E. 2009. Trends and reasons for development of heat treated wood. Luleå University of technology, master thesis, continuation courses wood technology department of Skellefteå Campus, division of wood physics, 40 p, Sweden.
- Stamm, A.J. 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Company, 317-320, New York-USA.
- Suchland, O. and Woodson, G. 1991. “Fiberboard Manufacturing Practices in the United States”. US. Department of Agriculture, USA.
- Tank, T. 1980. Lif ve selüloz teknolojisi 1. lisans ders kitabı. İstanbul Üniversitesi yayın no: 2362 Orman Fakültesi yayın no: 272, İstanbul.
- Thermoodwood Handbook. Finnish Thermoodwood Association, Helsinki-Finland (2003).
- TS 10506 1992. Lif levhalar-vida tutma kabiliyetinin (Mukavemetinin) tayini
- TS EN 319 1999. Yonga ve liflevhalar-levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini
- TS EN 310 1999. Ahşap esaslı levhalar-eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modulünün Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 317 1999. Yonga Levhalar ve Lif Levhalar – Su içerisinde Daldırma işleminden Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 325 1999. Ahsap Esaslı Levhalar-Deney Numunelerinin Boyutlarının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 326-1. Ahşap Esaslı Levhalar-Numune Alma Kesme ve Muayene Bölüm 1: Deney Numunelerinin Seçimi, kesimi ve Deney Sonuçlarının Gösterilmesi
- TS 1351 1974. Lif levha üretiminde kullanılabilir lif-yonga odunu boyutları, Ankara.
- URL-1, 2008. <http://www.chimarhellas.com/wp-content/uploads/2008/07>
- URL-2, 2004. [http://www.iarc.fr/ENG/Press\\_Releases/archieves/pr153a.html](http://www.iarc.fr/ENG/Press_Releases/archieves/pr153a.html)
- URL-3, 2004. <http://www.formaldehyde.org/pdfs/IARCQA.pdf>

- Uysal, B. 2005. "Bonding strength and dimensional stability of laminated veneer lumbers manufactured by using different adhesives after the steam test." *Int. Journal of Adhesion & Adhesives* 25, 395 – 403.
- Wikberg, H 2004. Advanced Solid State NMR Spectroscopic Techniques in the study of Thermally Modified Wood, Academic Dissertation, University of Helsinki, Department of Chemistry, Laboratory of Polymer Chemistry, Helsinki- Finland.
- Winandy, J.E. and Rowell, R.M. 1984. The chemistry of wood strength. In: Rowell (ed) The Chemistry of solid wood. American Chemical Society, Washington, DC. pp.211-256.
- Yaltrık, F. ve Efe, A. 1994. Dendroloji Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi yayın No: 3836, Orman Fakültesi Yayın No: 431, ISBN: 975-404-363-9, İstanbul.
- Yaltrık, F. 1998. Dendroloji Ders Kitabı. II. İstanbul Üniversitesi yayın No: 4104, Orman Fakülte Yayın No: 420, ISBN:975-404-095-8, İstanbul.
- Yıldız, S. 2002 a. Isıl işlem uygulanan Doğu kayını ve Doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi Doktora Tezi, 264 s, Trabzon.
- Yılğör, N. 1999. Türkiye’de Karaçam (*Pinus nigra* L.) Varyetelerinin Kimyasal açıdan Karakterizasyonu. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Haşimet Rasim KARA  
Doğum Yeri : Kastamonu / Araç  
Doğum Tarihi : 15.06.1974  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Karabük Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi (Elektronik)–1992  
Lisans : Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın Orman  
Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü–2001  
Yüksek Lisans : Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: 2004 -

S.F.C. Entegre Orman Ürn. San. ve Tic. A.Ş. KASTAMONU  
MDF ve YL ( Vardiya Müh. )  
Lam Pres ( İşletme Sorumlusu)  
OSB ( İşletme Müh.)  
MDF ve YL ( İşletme Sorumlusu ) 2011