



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISIL İŞLEMİN DOĞAL VE PLANTASYON ORMANLARINDA  
YETİŞEN DİŞBUDAK (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) ODUNLARININ  
BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**DOKTORA TEZİ**

**HALİL İBRAHİM ŞAHİN**

**EKİM 2013**

**DÜZCE**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Halil İbrahim ŞAHİN tarafından hazırlanan Isıl İşlemin Doğal ve Plantasyon Ormanlarında Yetişen Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) Odunlarının Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi isimli Doktora tez çalışması, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/10/2013 tarih ve 2013-565 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye  
(Tez Danışmanı)  
Doç. Dr. Cengiz GÜLER  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Turgay AKBULUT  
İstanbul Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. İlhan DENİZ  
Karadeniz Teknik Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Emrah ÇİÇEK  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Mehmet AKGÜL  
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 24/10/2013

### ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Halil İbrahim ŞAHİN'in Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **BEYAN**

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

24 Ekim 2013

Halil İbrahim ŞAHİN

## TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimim ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Cengiz GÜLER'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Araştırma boyunca değerli tavsiyelerinden yararlandığım hocalarım Prof. Dr. Turgay AKBULUT, Prof. Dr. İlhan DENİZ, Prof. Dr. Mehmet AKGÜL, Prof. Dr. Emrah ÇİÇEK ve Doç. Dr. Yalçın ÇÖPÜR'e teşekkürlerimi sunarım.

İstatistiksel analizlerde yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mesut YALÇIN'a ve Arş. Gör. Ali Kemal ÖZBAYRAM'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım sırasında destek olan arkadaşım Arş. Gör. Faruk YILMAZ'a, Hendek ve Akyazı Orman İşletme Müdürlüklerinin değerli çalışanlarına, araştırmalarım için laboratuvar imkanlarını kullanımına sunan DİVAPAN A.Ş.'nin değerli yöneticilerine, D.Ü. Orman Fakültesi, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı Laboratuvarının değerli çalışanlarına ve her zaman desteğini gördüğüm çalışma arkadaşım Arş. Gör. Muhammet ÇİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve diğer çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2012.02.HD.046 numaralı Doktora Hızlı Destek Projesi kapsamında desteklenmiştir.

24 Ekim 2013

Halil İbrahim ŞAHİN

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	1
ABSTRACT.....	2
EXTENDED ABSTRACT.....	3
1. GİRİŞ.....	6
1.1. DAR YAPRAKLI DIŞBUDAK ( <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl).....	11
1.1.1. Botanik Özellikleri .....	11
1.1.2. Doğal Yayılışı .....	12
1.1.3. Toprak ve İklim Özellikleri .....	15
1.1.4. Silvikültürel Özellikleri.....	16
1.1.5. Makroskobik Özellikleri.....	17
1.1.6. Mikroskobik Özellikleri.....	18
1.1.7. Teknolojik Özellikleri .....	20
1.1.8. Geleneksel ve Modern Kullanım Alanları.....	21
1.2. SİLVİKÜLTÜR KAVRAMI VE TEKNİĞİ.....	22
1.2.1. Ülkemizde Dişbudak ( <i>Fraxinus</i> sp.) Meşcerelerinde Uygulanan Silvikültürel Faaliyetler .....	23
1.2.2. Silvikültürel Uygulamaların Odun Kalitesine Etkisi.....	24
1.2.2.1. Dikim Aralığı .....	25
1.2.2.2. Aralama Kesimleri .....	28
1.2.2.3. Budama.....	29
1.2.2.4. Gübreleme ve Sulama.....	29

1.2.2.5. Genetik İyileştirmeler .....	29
<b>1.3. ISIL İŞLEM TEKNOLOJİSİ.....</b>	<b>30</b>
<b>1.3.1. Avrupa’da Uygulanan Isıl İşlem Yöntemleri.....</b>	<b>31</b>
1.3.1.1. ThermoWood Metodu.....	32
1.3.1.2. Plato Wood Metodu.....	35
1.3.1.3. Bois Perdure ve Rectification Metotları.....	35
1.3.1.4. Sıcak Yağ ile Muamele (OHT)Metodu .....	36
<b>1.4. ISIL İŞLEMİN ODUN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ.....</b>	<b>36</b>
<b>1.4.1. Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi .....</b>	<b>36</b>
1.4.1.1. Selüloz.....	41
1.4.1.2. Hemiselüloz.....	43
1.4.1.3. Lignin.....	46
1.4.1.4. Ekstraktifler .....	48
<b>1.4.2. Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi .....</b>	<b>48</b>
1.4.2.1. Ağırlık Kaybı.....	49
1.4.2.2. Denge Rutubeti ve Boyutsal Stabilizasyon .....	51
1.4.2.3. Odunun Islanabilirliği.....	52
1.4.2.4. Renk Özellikleri ve Koku .....	53
<b>1.4.3. Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi .....</b>	<b>54</b>
<b>1.4.4. Biyolojik ve Anatomik Özellikler Üzerine Etkisi.....</b>	<b>58</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>60</b>
<b>2.1. MATERYAL.....</b>	<b>60</b>
2.1.1. Örnek Sahasının Tanıtımı.....	60
2.1.2. Örnek Ağaçlarının Seçimi.....	63
2.1.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması .....	64
<b>2.2. YÖNTEM.....</b>	<b>66</b>
2.2.1. Isıl İşlem Yöntemi .....	66
2.2.2. Kimyasal Analiz Yöntemleri.....	68
2.2.2.1. HPLC ve UV Spektrometre Analizi .....	69
2.2.2.2. FTIR Analizi.....	71
2.2.2.3. Holoselüloz Tayini.....	71
2.2.2.4. $\alpha$ -selüloz Tayini.....	71
2.2.2.5. Lignin Tayini.....	72
2.2.2.6. Kül Tayini .....	72
2.2.2.7. Alkol-benzen Çözünürlüğü.....	72
2.2.2.8. %1’lik NaOH Çözünürlüğü .....	72

2.2.2.9. Soğuk ve Sıcak Su Çözünürlüğü.....	73
<b>2.2.3. Fiziksel Test Yöntemleri .....</b>	<b>73</b>
2.2.3.1. Ağırlık Kaybı.....	73
2.2.3.2. Hava kurusu Yoğunluk Değeri.....	74
2.2.3.3. Denge Rutubeti Miktarı .....	75
2.2.3.4. Su Alma oranı ve Su İtici Etkinlik.....	76
2.2.3.5. Genişleme Miktarı ve Boyut Stabilizasyonu .....	77
<b>2.2.4. Mekanik Test Yöntemleri .....</b>	<b>78</b>
2.2.4.1. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	78
2.2.4.2. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü.....	80
2.2.4.3. Janka Sertlik Değeri.....	83
<b>2.2.5. Yüzde Değişimlerin Hesaplanması .....</b>	<b>84</b>
<b>2.2.6. Kullanılan İstatistiksel Yöntemler.....</b>	<b>84</b>
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>85</b>
<b>3.1. KİMYASAL ÖZELLİKLER .....</b>	<b>85</b>
<b>3.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLER .....</b>	<b>94</b>
<b>3.2.1. Isıl İşlemin Ağırlık Kaybı Üzerine Etkisi .....</b>	<b>94</b>
3.2.1.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ağırlık kayıpları.....	94
3.2.1.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ağırlık kayıpları.....	95
3.2.1.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ağırlık kayıpları.....	97
<b>3.2.2. Isıl İşlemin Yoğunluk Üzerine Etkisi.....</b>	<b>101</b>
3.2.2.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait yoğunluk değeri.....	101
3.2.2.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait yoğunluk değeri.....	103
3.2.2.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait yoğunluk değeri.....	106
<b>3.2.3. Isıl İşlemin Denge Rutubet Miktarı (DRM) Üzerine Etkisi.....</b>	<b>112</b>
3.2.3.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait DRM.....	112
3.2.3.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait DRM .....	114
3.2.3.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait DRM .....	116
<b>3.2.4. Isıl İşlemin Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Üzerine Etkisi .....</b>	<b>121</b>
3.2.4.1. Su alma Oranı Üzerine Isıl İşlemin Etkisi.....	121
3.2.4.2. Su İtici Etkinlik Üzerine Isıl İşlemin Etkisi.....	134
3.2.4.3. Genişlemeyi Önleyici Etkinlik (GET) Üzerine Isıl İşlemin Etkisi.....	149

<b>3.3. MEKANİK ÖZELLİKLER .....</b>	<b>156</b>
<b>3.3.1. Isıl İşlemin Liflere Paralel Basınç Direnci Üzerine Etkisi.....</b>	<b>156</b>
3.3.1.1. <i>Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait liflere paralel basınç direnci değerleri.....</i>	<i>156</i>
3.3.1.2. <i>Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait liflere paralel basınç direnci değerleri.....</i>	<i>158</i>
3.3.1.3. <i>Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait liflere paralel basınç direnci değerleri.....</i>	<i>159</i>
<b>3.3.2. Isıl İşlemin Eğilme Direnci Üzerine Etkisi .....</b>	<b>166</b>
3.3.2.1. <i>Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait eğilme direnci değerleri.....</i>	<i>166</i>
3.3.2.2. <i>Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait eğilme direnci değerleri.....</i>	<i>167</i>
3.3.2.3. <i>Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait eğilme direnci değerleri.....</i>	<i>169</i>
<b>3.3.3. Isıl İşlemin Elastikiyet Modülü Üzerine Etkisi .....</b>	<b>175</b>
3.3.3.1. <i>Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait elastikiyet modülü değerleri.....</i>	<i>175</i>
3.3.3.2. <i>Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait elastikiyet modülü değerleri.....</i>	<i>177</i>
3.3.3.3. <i>Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait elastikiyet modülü değerleri.....</i>	<i>178</i>
<b>3.4. TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER.....</b>	<b>185</b>
<b>3.4.1. Isıl İşlemin Janka Sertlik Değeri Üzerine Etkisi.....</b>	<b>185</b>
3.4.1.1. <i>Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait Janka sertlik değerleri.....</i>	<i>185</i>
3.4.1.2. <i>Plantasyon (3x2,5m) ormanından alınan dışbudak odununa ait Janka sertlik değerleri.....</i>	<i>189</i>
3.4.1.3. <i>Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait Janka sertlik değerleri.....</i>	<i>194</i>
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>205</b>
<b>4.1. KİMYASAL ÖZELLİKLER .....</b>	<b>205</b>
<b>4.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLER .....</b>	<b>206</b>
4.2.1. <b>Ağırlık Kaybı.....</b>	<b>206</b>
4.2.2. <b>Hava Kurusu Yoğunluk.....</b>	<b>207</b>
4.2.3. <b>Denge Rutubet Miktarı (DRM).....</b>	<b>208</b>
4.2.4. <b>Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik... 208</b>	



<b>4.3. MEKANİK ÖZELLİKLER .....</b>	<b>209</b>
<b>4.3.1. Liflere Paralel Basınç Direnci.....</b>	<b>209</b>
<b>4.3.2. Eğilme Direnci.....</b>	<b>210</b>
<b>4.3.3. Elastikiyet Modülü .....</b>	<b>210</b>
<b>4.3.4. Janka Sertlik Değeri .....</b>	<b>211</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>214</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>234</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. <i>F. angustifolia</i> 'nın dünyadaki yayılış alanları (Anonim 2005).....	12
Şekil 1.2. <i>F. angustifolia</i> Vahl. subsp. <i>angustifolia</i> (o), subsp. <i>syriaca</i> (●) ve subsp. <i>oxycarpa</i> (*)'nın Türkiye'deki dağılışı (Yaltırık 1978). ....	13
Şekil 1.3. ThermoWood üretim diyagramı (Anonim 2003a).....	33
Şekil 1.4. Hemiselülozların kimyasal bileşimi (Hu ve diğ. 2008, Deniz 2013).....	37
Şekil 1.5. Selülozun kimyasal yapısı (Hu ve diğ. 2008).....	38
Şekil 1.6. Selüloza ait kristal ve amorf bölgeler (Hu ve diğ. 2008, Deniz 2013). ....	39
Şekil 1.7. Isıl işleme uğratılmış farklı ağaç türlerine ait FTIR spektrumları; a: kontrol, b: 190°C, c: 210°C (Miklečić ve diğ. 2011).....	40
Şekil 1.8. Isıl işlem sonrası farklı rutubet miktarlarına sahip selülozun polimerizasyon derecesindeki değişim (Fengel ve Wegener 1989). ....	42
Şekil 1.9. Lignoselülozik materyallerin hidrolizi esnasında karbonhidratlarda meydana gelen reaksiyonlar (Hu ve diğ. 2008).....	44
Şekil 1.10. Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işlem görmüş okaliptüs odununda ağırlık kaybı (Esteves ve diğ. 2007b). ....	50
Şekil 1.11. 200°C'de 2, 6 ve 12 saat ısıl işlem görmüş ve görmemiş okaliptüs odununun yük deformasyon eğrisi (Esteves ve diğ. 2007b). ....	55
Şekil 2.1. Araştırma alanının coğrafi konumu (Çiçek 2002).....	60
Şekil 2.2. Doğal DYD meşceresi örnek alanı. ....	61
Şekil 2.3. DYD odununa ait 3x2,5 m dikim aralığındaki örnek alanı. ....	62
Şekil 2.4. DYD odununa ait 4x4 m dikim aralığındaki örnek alanı. ....	62
Şekil 2.5. Plantasyon sahasında seçilen ağacın motorlu testere ile kesimi.....	63
Şekil 2.6. Örnek ağaçlardan tomrukların kesilmesi ve tekerleklerin çıkarılması. ....	64
Şekil 2.7. Isıl işlem fırınına ait şematik görünüm. ....	68
Şekil 2.8. HPLC analiz cihazı (Agilent 1200). ....	69

Şekil 2.9.	Ağırlık kaybı, yoğunluk ve basınç direnci örnek şekli ve boyutları (Bal 2006).....	73
Şekil 2.10.	Denge rutubeti ve genişleme örneklerine ait şekil ve boyutlar (Bektaş 1997). ....	75
Şekil 2.11.	Denge rutubeti ve genişleme deneyi kontrol ve test örneklerine ait görüntü. ....	76
Şekil 2.12.	Liflere paralel basınç direnci test örneklerinin deney sonrası kayma şekilleri.....	79
Şekil 2.13.	Eğilme ve elastikiyet modülü örneklerinin şekil ve boyutları.....	80
Şekil 2.14.	Üniversal Test makinesinde eğilme ve elastikiyet modülü deneyi (Divapan A.Ş.).....	81
Şekil 2.15.	Eğilme ve elastikiyet modülü deneyleri sonrası kontrol ve test örneklerinin görünümü (a-b: kırılma şekli, c-d: kırılma yüzeyi).....	82
Şekil 2.16.	Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtılmış test ve kontrol örneklerine ait Janka sertlik deneyi sonrası görünüm.....	83
Şekil 3.1.	Isıl işlem uygulamasının glukoz kaybı üzerine etkisi. ....	91
Şekil 3.2.	Isıl işlem uygulamasının ksiloz kaybı üzerine etkisi. ....	93
Şekil 3.3.	Doğal meşcereden alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	103
Şekil 3.4.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	105
Şekil 3.5.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	108
Şekil 3.6.	Doğal meşcereden alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla DRM değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	113
Şekil 3.7.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla DRM değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	115

Şekil 3.8.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla DRM değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	117
Şekil 3.9.	Doğal meşcereden temin edilen dışbudak test ve kontrol örneklerinde farklı sıcaklıklara ait FTIR spektraları. ....	133
Şekil 3.10.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dışbudak test ve kontrol örneklerinde farklı sıcaklıklara ait FTIR spektraları.....	133
Şekil 3.11.	Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dışbudak test ve kontrol örneklerinde farklı sıcaklıklara ait FTIR spektraları.....	134
Şekil 3.12.	Doğal meşcereden temin edilen dışbudak test örneklerine ait SİE değerleri (%). ....	137
Şekil 3.13.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dışbudak test örneklerine ait SİE değerleri (%). ....	138
Şekil 3.14.	Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dışbudak test örneklerine ait SİE değerleri (%). ....	142
Şekil 3.15.	Doğal meşcereden temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	161
Şekil 3.16.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	161
Şekil 3.17.	Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları.....	162
Şekil 3.18.	Doğal meşcereden temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	171
Şekil 3.19.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	171

Şekil 3.20.	Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	172
Şekil 3.21.	Doğal meşcereden temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	180
Şekil 3.22.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	180
Şekil 3.23.	Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	181
Şekil 3.24.	Doğal meşcereden temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla enine kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	188
Şekil 3.25.	Doğal meşcereden temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla teğet kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	188
Şekil 3.26.	Doğal meşcereden temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla radyal kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	189
Şekil 3.27.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla enine kesit sertlik değerlerinde meydana gelen azalma oranları. ....	193
Şekil 3.28.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla teğet kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	193
Şekil 3.29.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla radyal kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları. ....	194

- Şekil 3.30. Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıtıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla enine kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları..... 197
- Şekil 3.31. Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıtıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla teğet kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları..... 198
- Şekil 3.32. Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıtıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla radyal kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları..... 199

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Thermo-S kullanım alanları.....	34
Çizelge 1.2. Thermo-D kullanım alanları.....	35
Çizelge 2.1. Örnek Alan ve ağaçlarına ait genel özellikler.....	65
Çizelge 2.2. Uygulanacak varyasyon şeması ve her varyasyonda kullanılacak test ve kontrol örneklerinin sayısı.....	67
Çizelge 3.1. Farklı meşcerelerden alınan <i>Fraxinus angustifolia</i> örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (%)......	85
Çizelge 3.2. Türkiye’de yetişen bazı yapraklı ağaç odunlarının kimyasal bileşimi (%)......	86
Çizelge 3.3. Doğal dişbudak örneklerine ait ortalama kimyasal analiz değerleri (%)......	88
Çizelge 3.4. Plantasyon (3x2,5 m) ormanı dişbudak örneklerine ait ortalama kimyasal analiz değerleri (%)......	89
Çizelge 3.5. Plantasyon (4x4 m) ormanı dişbudak örneklerine ait ortalama kimyasal analiz değerleri (%)......	89
Çizelge 3.6. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%)......	95
Çizelge 3.7. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%)......	96
Çizelge 3.8. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%)......	97
Çizelge 3.9. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%)......	99
Çizelge 3.10. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda ortalama ağırlık kaybı değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ )......	100

Çizelge 3.11.	Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait ortalama hava kuru yoğunluk değerleri ( $\text{g/cm}^3$ ).....	101
Çizelge 3.12.	Doğal meşcereden alınan dışbudak odununun ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları.....	102
Çizelge 3.13.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama hava kuru yoğunluk değerleri ( $\text{g/cm}^3$ ).....	104
Çizelge 3.14.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununun ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları.....	104
Çizelge 3.15.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama hava kuru yoğunluk değerleri ( $\text{g/cm}^3$ ).....	106
Çizelge 3.16.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununun ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları.....	107
Çizelge 3.17.	Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununa ait ortalama hava kuru yoğunluk değerleri ( $\text{g/cm}^3$ ).....	109
Çizelge 3.18.	Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda ortalama yoğunluk değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).....	110
Çizelge 3.19.	Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).....	112
Çizelge 3.20.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).....	114
Çizelge 3.21.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).....	116
Çizelge 3.22.	Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).....	119
Çizelge 3.23.	Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda ortalama DRM değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).....	120
Çizelge 3.24.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtma işlemi görmüş dışbudak (doğal meşcere) test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%).....	122



Çizelge 3.25.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış görmüş dişbudak (plantasyon (3x2,5 m)) test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%). .....	125
Çizelge 3.26.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış görmüş dişbudak (Plantasyon (4x4 m)) test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%). .....	127
Çizelge 3.27.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış görmüş, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%). .....	129
Çizelge 3.28.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210 °C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış uğratılmış, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda SAO'ya ait ÇVA sonuçları (p<0,05).....	132
Çizelge 3.29.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış görmüş doğal dişbudak örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%). .....	136
Çizelge 3.30.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış görmüş dişbudak (plantasyon (3x2,5 m)) örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%). .....	139
Çizelge 3.31.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış görmüş dişbudak (plantasyon (4x4 m)) örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%). .....	143
Çizelge 3.32.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış görmüş, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak test örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%). .....	146
Çizelge 3.33.	Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış uğratılmış, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda SİE'ye ait ÇVA sonuçları (p<0,05).....	148

Çizelge 3.34. Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait ortalama GET değerleri (%).....	149
Çizelge 3.35. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama GET değerleri (%).....	150
Çizelge 3.36. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama GET değerleri (%).....	152
Çizelge 3.37. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununa ait GET değerleri (%). ....	153
Çizelge 3.38. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda GET değerlerine ait ÇVA (p<0,05).....	154
Çizelge 3.39. Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ).....	157
Çizelge 3.40. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ). ....	158
Çizelge 3.41. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ). ....	160
Çizelge 3.42. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ).....	164
Çizelge 3.43. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait ÇVA (p<0,05). ....	165
Çizelge 3.44. Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ).....	166
Çizelge 3.45. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ). ....	168
Çizelge 3.46. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ). ....	170
Çizelge 3.47. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm <sup>2</sup> ). ....	173
Çizelge 3.48. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda eğilme direnci değerlerine ait ÇVA (p<0,05). ....	174

Çizelge 3.49.	Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri ( $N/mm^2$ ).....	176
Çizelge 3.50.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri ( $N/mm^2$ ).....	177
Çizelge 3.51.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri ( $N/mm^2$ ).....	179
Çizelge 3.52.	Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri ( $N/mm^2$ ).....	182
Çizelge 3.53.	Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda elastikiyet modülü değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).....	183
Çizelge 3.54.	Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama enine kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	185
Çizelge 3.55.	Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama teğet kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	186
Çizelge 3.56.	Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama radyal kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	186
Çizelge 3.57.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama enine kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	190
Çizelge 3.58.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama teğet kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	190
Çizelge 3.59.	Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama radyal kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	191
Çizelge 3.60.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama enine kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	195
Çizelge 3.61.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama teğet kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	195
Çizelge 3.62.	Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama radyal kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	196
Çizelge 3.63.	Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait enine kesit sertlik değerleri ( $N/mm^2$ ).....	201

Çizelge 3.64. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait teğet kesit sertlik değerleri (N/mm <sup>2</sup> ).....	202
Çizelge 3.65. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait radyal kesit sertlik değerleri (N/mm <sup>2</sup> ). .....	203
Çizelge 3.66. Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda enine, teğet ve radyal kesit sertlik değerlerine ait ÇVA (p<0,05).....	204

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AIL	Acid-insoluble lignin (Asitte çözünmeyen lignin)
AlCl <sub>3</sub>	Alüminyum klorür
ASL	Acid-soluble lignin (Asitte çözünen lignin)
BA	Borikasit
BVA	Basit varyans analizi
CCA	Bakır krom arsenik
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
ÇVA	Çoğul varyans analizi
DNS	Dinitrosalysilic acid
DOT	Disodyum oktoborat tetrahidrat
DP	Selüloz molekülündeki yapı taşlarının sayısı
DRM	Denge rutubet miktarı
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
DTA	Diferansiyel termal analiz
DÜBİT	Düzce üniversitesi bilimsel ve teknolojik araştırmalar uygulama ve araştırma merkezi
DYD	Dar yapraklı dişbudak
E	Enine kesit
FF	Fenol formaldehit
FTIR	Fourier transform infrared (Fourier dönüşümlü kızılötesi)
GC-MS	Gaz kromatografi-Kütle spektrometresi
GET	Genişlemeyi önleyici etkinlik
HG	Homojenlik grubu
HPLC	High performance liquid chromatography (Yüksek performanslı sıvı kromatografisi)
IET	Uluslararası çevre teknoloji enstitüsü
IR	Infrared (Kızılötesi)

İYA	İğne yapraklı ağaç
K	Kontrol
LDN	Lif doygunluk noktası
MF	Melamin formaldehit
MÜF	Melamin-üre-formaldehit
N	Azot
N <sub>2</sub>	Nitrojen
NaClO <sub>2</sub>	Sodyum klorit
NaOH	Sodyum hidroksit
NMR	Nükleer manyetik rezonans
NREL	National renewable energy laboratory (Ulusal yenilenebilir enerji laboratuvar)
OH	Hidroksil grubu
OHT	Oil heat treatment (Sıcak yağlı muamele)
PÜR	Poliüretan
R	Radyal kesit
RID	Refractive index detector (Kırılma indisi dedektörü)
SAO	Su alma oranı
SBS	Suda bekleme süresi
SİE	Su itici etkinlik
SnCl <sub>2</sub>	Kalay II klorür
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal bilimler için istatistik paketi)
T	Teğet kesit
TGA	Termogravimetrik analiz
UV	Ultra viyole (morötesi)
VOC	Volatile organic compounds (Uçucu organik bileşikler)
VTT	Finlandiya teknik araştırma merkezi
WTT	Wood thermal technology (Danimarka)
YA	Yapraklı ağaç
ZnCl <sub>2</sub>	Çinko klorür
$\chi$	Ortalama değer

## ÖZET

### ISIL İŞLEMİN DOĞAL VE PLANTASYON ORMANLARINDA YETİŞEN DIŞBUDAK (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) ODUNLARININ BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Halil İbrahim ŞAHİN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Cengiz GÜLER

Ekim 2013, 233 sayfa

Bu tez çalışmasında, Adapazarı-Süleymaniye yöresindeki doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından temin edilen dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) odunlarının bazı teknolojik özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla benzer yetiştirme ortamı özelliklerine sahip ve mümkün olduğunca aynı yaşlı üç meşcere belirlenmiştir. Üç meşcerenin her birinden, çatlaksız ve anormal tepe formu göstermeyen 4'er adet (toplam 12 ağaç) örnek ağaç kesilerek fiziksel, mekanik ve teknolojik testler yapılmıştır. Kimyasal analizlerin ve yıllık hakla genişliklerinin belirlenmesinde, kesilen ağaçların boyuna yönünde her iki metrede bir tekerlekler alınmıştır. Test ve kontrol örneklerine uygulanacak her bir deney için ilgili standartlara uygun örnekler hazırlanmıştır. Isıtma işlemi, 120, 160, 190 ve 210°C sıcaklıklarda 3, 6 ve 9 saat süre ile su buharı ortamında gerçekleştirilmiştir. Her üç meşcerenin kontrol örneklerine ait odun ana bileşenleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Isıtma işleminden en fazla zarar gören hücre duvarı bileşeni ksilan olmuştur. Fiziksel testlerden ağırlık kaybı ve yoğunluk dışındaki diğer özelliklerin ısıtma işlemi sonucu iyileştiği tespit edilmiştir. Özellikle boyutsal stabilizasyonda %62'lik bir artış elde edilmiştir (3x2,5 m). Isıtma işlemi uygulamalarında olumsuz yönde en fazla etkilenen mekanik özellik eğilme direnci olmuştur. 210°C'nin altındaki varyasyonlarda elastikiyet modülü ve Janka sertlik değerlerinde önemli değişiklikler meydana gelmemiştir. Ancak liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve sertlik değerlerine ait azalma oranlarında, 210°C'deki tüm uygulamalarda (3, 6 ve 9 saat) önemli artışlar görülmüştür. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda ve uzun süre ısıtma işlemi görmüş dişbudak örnekleri, binalarda yük taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanılmamalıdır. Genel olarak en iyi sonuçlar, 3x2,5 m dikim aralığından temin edilen dişbudak örneklerinde tespit edilmiştir. Bu ağaç türü için en uygun ısıtma işlemi sıcaklık ve zaman kombinasyonları 190°C'de 3 saat olarak belirlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Dar yapraklı dişbudak, Isıtma işlemi, Plantasyon, Sıcaklık, Süre

## ABSTRACT

### EFFECT OF HEAT TREATMENT ON SOME TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF ASH (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) WOOD GROWN IN NATURAL AND PLANTATION FORESTS

Halil İbrahim ŞAHİN  
Duzce University  
Graduate School of Natural and Applied Science,  
Department of Forest Industrial Engineering  
Doctoral Thesis  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cengiz GÜLER  
October 2013, 233 pages

In this study, the effect of heat treatment on some technological properties of ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) woods, obtained from natural and plantation (3x2,5 m ve 4x4 m) forests of Adapazarı, were examined. By cutting down 4 pieces sample trees from three stand (12 trees in total) which are crack-free and do not show any abnormal head shape, physical, mechanical and technological tests were made. Disks were taken from the longitudinal direction of the trees to determine the chemical analyzes and width of the annual ring. The samples suitable for related standards were prepared for each experiment that will be applied to test and control samples. Heat treatment were performed with water vapour at four different temperature (120,160, 190 and 210°C) and three different time (3, 6 and 9 hour). There is no difference statistically between main wood compounds of each stand's control samples. The most damaged cell wall due to heat treatment became xylan. It was determined from the physical tests that the properties other than weight loss and density were improved as a result of heat treatment. Especially, the dimensional stabilization has been increased about 62% (3x2,5 m). The most adversely affected mechanical property of ash wood was determined as bending strength. The modulus of elasticity and Janka hardness value was not affected significantly with treated under at 210°C. However, decrease rates belonging to compression strength parallel to grain, bending strength, modulus of elasticity and Janka hardness values show significant increases in all applications at 210°C (3, 6 and 9 hours). Therefore, ash wood samples processed by heat treatment with high temperatures and for a long time should not be used load-bearing structure element in the buildings. Generally, the best results were determined from ash tree samples supplied from 3x2,5 m spacing. The most suitable heat treatment combination of temperature and time was decided as 3 hours at 190°C.

**Keywords:** Narrow-leaved ash, Heat treatment, Plantation, Temperature, Time



## **EXTENDED ABSTRACT**

### **EFFECT OF HEAT TREATMENT ON SOME TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF ASH (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) WOOD GROWN IN NATURAL AND PLANTATION FORESTS**

Halil İbrahim ŞAHİN  
Duzce University  
Graduate School of Natural and Applied Science,  
Department of Forest Industrial Engineering  
Doctoral Thesis  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cengiz GÜLER  
October 2013, 233 pages

#### **1. INTRODUCTION**

Wood can be degraded due to many reasons, including fungal activity, insects, and high humidity. Therefore, different methods have been developed to decrease this disadvantage for many years. One of these methods involves thermal treatments. Wood heat treatment has increased significantly in the last few years and is still growing as an industrial process to improve some wood properties. More recently the interest in heat treatment processes has been renewed. This renewed interest is due to the declining production of durable timber, to the increasing demand for sustainable building materials, to the deforestation of especially sub-tropical forests, and to the increased introduction of governmental restrictive regulations reducing the use of toxic chemicals. Recently, environmental concerns and scarcity of high quality wood encouraged the search for new preservation methods without the use of harmful chemicals and heat treatment processes have evolved in some European countries. Thermowood in Finland, Plato wood in Holland, Rectification and Bois-Perdure in France and OHT (Oil Heat Treatment) in Germany are different wood heat treatments that are in pilot plant or commercial phases. When wood material is treated by heating, the chemical, physical,

and mechanical properties of wood undergo permanent changes, and the structure of the wood is re-formed. The observed changes in the structure of wood can be mainly attributed to the degradation of hemicelluloses. The objectives of this study are;

- to create a database at a scientific level for environmentally friendly heat treatment technologies which have lately started to be established commercially in our country,
- after all applied variations, to determine the most suitable combination of heat treatment's temperature, time and growing environment for this species and to improve the dimensional stability of ash wood with heat treatment,
- with this study, to reduce the pressure on the forests by increasing service life of ash wood which fast grown thus to make contribution to the sustainable forestry and country economy.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

In this study, effect of heat treatment on some technological properties of ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) woods obtained from natural and plantation (3x2,5 m ve 4x4 m) forests of Adapazarı, was examined. Heat treatment was made in a heat treatment furnace its capacity about 1 m<sup>3</sup>. The test samples were subjected to heat treatment under atmospheric pressure and water vapour environment at four different temperature (120, 160, 190 and 210°C) and three different time (3, 6 and 9 h). Samples were remained in furnace at 27 hours (heating, pre-drying and conditioning steps). Some disks were taken from the longitudinal direction of the trees to determine the chemical analyzes and width of the annual ring. Chemical analysis including holocellulose,  $\alpha$ -cellulose, lignin, ash, alcohol-benzene, 1% NaOH, hot water and cold water solubility for control samples were determined according to TAPPI test standards. Sugar analysis (glucan, xylan and arabinan) and the amount of acid-soluble lignin were determined by HPLC, FTIR and UV spectrophotometer, respectively. Physical properties such as mass loss, air-dry density (TS 2472), equilibrium moisture content (TS 2471), water absorption, water repellent effectiveness and anti-swell effectiveness (TS 4084) for heat-treated and control ash samples were determined. In addition some mechanical properties such as

compressive strength parallel to grain (TS 2595), bending strength (TS 2474), modulus of elasticity (TS 2478), and Janka hardness values (TS 2479) were identified according to Turkey standards (TS).

### **3. RESULTS AND DISCUSSIONS**

There is no difference statistically between main wood compounds of each area's control samples. The most damaged cell wall due to heat treatment became xylan (65,2 and 63,2%). It was determined from the physical tests that the properties other than weight loss and density were improved as a result of heat treatment. Especially, the dimensional stabilization has been increased about 62% (3x2,5 m). Equilibrium moisture content also decreased by means of increasing the treatment temperature and time (50,95%). The most adversely affected mechanical property of ash wood was determined as bending strength (59,2%). The modulus of elasticity and hardness value was not affected significantly with treated under at 210°C. However, decrease rates belonging to compression strength parallel to grain, modulus of rupture, modulus of elasticity and hardness show significant increases in all applications (3, 6 and 9 hours) at 210°C.

### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK**

Heat treatment application increases the dimensional stability of ash wood dramatically in each area. Therefore, it may be recommended that ash woods processed by heat treatment are used in the fields (door, window, flooring, bath, sauna, deck etc.) where dimensional stabilization is important. Generally, the best results were taken from ash tree samples supplied from 3x2,5 m spacing. The most suitable heat treatment combination of temperature and time was determined as 3 hours at 190°C. Therefore, ash wood samples processed by heat treatment with high temperatures and for a long time should not be used load-bearing structure element in the buildings. When considered generally, the decrease rates that happened on technological properties of ash woods supplied from plantation forest (3x2,5 m) remains limited compared to other spacing (4x4 m). Therefore, in case of growing up ash tree with plantation, it would be right to prefer narrower spacing (3x2,5 m) instead of wide spacing.

## 1. GİRİŞ

Odun geçmişten günümüze kadar birçok malzemenin yapımında sürekli olarak kullanılan bir hammaddedir. Günümüzde yeni ürünlerin ve teknolojilerin geliştirilmesi ile hammadde olarak odunun kullanımı azalmıştır. Buna rağmen, odun hala birçok sektör tarafından kullanılan ve biyolojik olarak devamlılığı olan bir hammaddedir. Ağaç malzemenin kullanım alanlarını sınırlayan ve kullanıldığı yerde problemlere neden olan bazı olumsuz yönleri bulunmaktadır. Lif doygunluk noktası altında rutubet alıp vererek higroskopik değişimler göstermesi (şişme ve daralma), uygun ortamlarda mantar ve böcek saldırılarına maruz kalarak tahrip olması, düşük sıcaklıklarda kolaylıkla tutuşabilmesi odunun bazı olumsuz özellikleridir.

Odun hücre çeperi temel olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmakta ve odunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin pek çoğundan sorumlu olmaktadır. Odun ile zararlı çevre faktörleri arasındaki kimyasal reaksiyonların sonucu olarak, odun biyolojik bakımdan bozulmakta, tutuşabilmekte, çalınmakta, ultraviyole (UV) ışınlarıyla degrade olmakta, asit ve bazlardan olumsuz olarak etkilenmektedir. Bu zarar ve bozulma şekilleri doğal olarak kimyasal karakter taşıması nedeniyle, hücre çeper polimerlerinin temel kimyasal yapısını değiştirerek söz konusu bozunmaları bertaraf etmek mümkün olabilmektedir (Yıldız 2004, Hill 2006).

Higroskopik bir madde olan ağaç malzeme, ortamın bağıl nemi ve sıcaklığına bağlı olarak su alıp vererek çalışmaktadır. Ağaç malzemenin anizotropik yapıda olması farklı yönlerde farklı çalışmasına neden olur. İstenmeyen bu çalışma özelliğini azaltmak ve boyutsal stabilizasyonu sağlamak amacıyla ağaç malzeme çeşitli işlemlere tabi tutulur. Bu işlemler sonucunda elde edilen yöntemlere odun modifikasyon yöntemleri denilmektedir.

Genel olarak odun modifikasyon yöntemleri, fiziksel, kimyasal, enzimatik ve termal modifikasyon olarak sınıflandırılabilir. Fiziksel modifikasyon yönteminde, odun hücre

çeperi bileşenleriyle ve/veya odun bünyesine verilen kimyasal maddelerin kendi arasında herhangi bir kimyasal reaksiyon meydana gelmemektedir. Kullanılan kimyasal maddelerin odunda bulunan hücresel ve kapiler boşluklara yerleşmesi söz konusudur. Bu yöntemlerin ağırlıklı amacı, mekanik direnç özelliklerini iyileştirmekten çok odun-su etkileşimini azaltmaya yöneliktir (Suttie ve Thompson 2001, Dizman 2005).

Kimyasal modifikasyon yöntemde ise odun hücre bileşenleri ile reaksiyona girebilen ve odunun kimyasal yapısını değiştirebilecek kimyasallar kullanılmakta, böylece odunun sakıncalı özelliklerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu tür odun modifikasyonu yöntemleri genellikle yüksek bir maliyeti de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle odun modifikasyonu yöntemleri tek bir işlemle birden fazla özelliği iyileştirmek üzere planlanmaktadır. Bu yöntemlerle odunun, boyutsal stabilitesini, biyolojik dayanımı ile akustik özelliklerini arttırmayı, denge rutubet miktarını azaltmayı, dış hava koşullarına karşı dayanımının iyileştirmesi amaçlanmaktadır. Bu olumlu özelliklerin yanı sıra kimyasal modifikasyon, yönteme bağlı olmak üzere, odunda çekme dayanımı ve elastikiyet azalmasına da neden olabilmektedir (Hill 2006, Tomak ve Yıldız 2010).

Enzimatik modifikasyonda ise, lakkaz enzimi ile fenolik bileşiklerin oksidasyonu yoluyla lignoselülozik liflerin bağ yapması sağlanır. Enzim yöntemini kullanarak levha ve panellerin sentetik yapıştırılması hem ekonomik hem de çevresel avantajlara sahiptir. (Suttie ve Thompson 2001).

Ağaç malzemedeki, boyutsal stabilizasyonun yanında, biyolojik saldırılarda (mantarlar ve böcekler tarafından) problemlere sebep olabilmektedir. Rutubetin, odunun direnci üzerinde önemli bir etkisi vardır. Çünkü mantar ve bakteriler yaşamlarını sürdürebilmek için suyun varlığına ihtiyaç duyarlar. Nem oranı % 20'nin altında tutulduğunda mantar ya da bakterilerin yaşamaları için su miktarı yeterli olmamaktadır. Odun % 20'nin altındaki rutubet derecelerine kadar kurutulması hem çevreye dost hem de etkili bir yöntemdir. Fakat bu durum her zaman etkili olamamaktadır. Örneğin, dış ortamlarda kurutulmuş odunu sudan uzak tutmak mümkün değildir. Bu nedenle mantar ve bakterilerden ağaç malzemeyi korumak için emprenye çok sık kullanılan bir yoldur. Emprenye yöntemlerinin en önemli dezavantajı ise çevreye zarar veren kimyasal maddelerin kullanılmasıdır. Emprenye yöntemleri ayrıca ağaç malzemenin çalışmasını

engelleyemezler. Fakat kimyasal olarak odunu kararlı hale getirebilmektedirler. Son on yılda çevreyle dost ürünlerin kullanılması hızla artmış ve birçok odun koruyucu emprenye maddesi yasaklanmıştır. Bu durum, biyolojik degradasyon ve boyutsal stabilizasyona karşı ağaç malzemelerin çevreyle dost yeni odun koruma yöntemlerinin araştırılmasına sebep olmuştur (Aydemir ve Gündüz 2009).

Isıl işlem ile odunun korunması ise kimyasal maddelerle odunu koruma yöntemlerine alternatif bir uygulama olarak ortaya çıkmıştır. Isıl işlem bir termal modifikasyon yöntemi olarak ele alındığında, odunun 100-250°C arasında normal atmosfer, azot gazı (N) nitrojen gazı (N<sub>2</sub>) veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi olarak ifade edilmektedir. Isıl işlem uygulamalarının amacı, odunun rutubet alışverişini azaltmak, yani oduna boyut stabilizasyonu kazandırmak ve odun tahrip edici organizmalara karşı odunun biyolojik direncini arttırmaktır. Bunun yanında ısıl işlemle odunda denge rutubeti miktarını düşürmek, permeabiliteyi arttırmak, üst yüzey işlemlerinin performansını yükseltmekte mümkündür (Yıldız 2005, Tomak ve Yıldız 2010). Diğer yandan kimyasal maddeler kullanılmadığından, çevre kirliliğine yol açmaması, ekonomiklik ve uygulama kolaylığı odun modifikasyonu yöntemleri açısından önem kazanmaktadır. Isıl işlemler ağaç malzemenin kimyasal yapısını değiştirdiği için bu yöntemler arasında önemli bir yeri bulunmaktadır. Odunun kimyasal maddelerle modifikasyonunda özel işlem araçları, teknik kurutma ve farklı bir kalite kontrol gerekirken, ısıl işlemle muamelede ise bütün bunlara gerek duyulmamaktadır (Yıldız 2002).

Dünya’da en yaygın kullanılan ısıl işlem muamele metodu, ThermoWood olarak adlandırılmakta ve muamele su buharı altında yapılmaktadır. Bu yöntem Finlandiya’da kullanılan ve patenti de bu ülke tarafından alınmış endüstriyel bir metottur. Son yıllarda yapılan çalışmalarla artık ısıl işlem, Finlandiya, Almanya, Fransa ve Hollanda gibi ülkelerde bir endüstri kolu haline gelmiştir. Günümüzde Fransa gibi bazı Avrupa ülkeleri ısıl işlem uygulamalarında farklı ağaç türlerini denemekte ve ısının ağaç malzeme içerisindeki hareketi üzerine çalışmalar yapmaktadırlar.

Genel anlamda, orman ağaçlarının yetiştirilmesi ve bakım faaliyetleri silvikültür olarak ifade edilmektedir. Ülkemiz ormanlarında uygulanan farklı silvikültürel tekniklerin

temel amacı, ormandan en az masrafla, mevcut şartların mümkün kılabilirdiği en yüksek kalite ve kantitede çok taraflı ürün elde etmektir. Ayrıca milli ekonominin çeşitli orman ürünleri ihtiyaçlarını devamlı olarak karşılayabilecek nitelikte, dış etkilere dayanıklı, verimli ormanlar meydana getirmektir (Saatçioğlu 1976). Bu amaç doğrultusunda uygulanan silvikültürel teknikler genel olarak; genetik işlemler, dikim yolu ile yetiştirilen ormanlarda dikim sıklığının kontrolü, vejetasyon periyodunun kontrolü, dikimle ya da doğal olarak yetiştirilmiş ormanlarda aralama ve bakım kesimleri, toprak işleme, gübreleme, sulama, budama vb. başlıklar altında sıralanabilir (Haygreen ve Bowyer 1996, Dünder 2005).

Büyümenin ilk yıllarından itibaren, bir meşcere içerisinde büyüyen ağaçlar buldukları ortamda kullanılabilir durumdaki su, besin maddesi ve güneş ışığı gibi kritik öneme sahip büyüme faktörleri için kıyasıya bir rekabet içerisine girerler. Yukarıda sıralanan uygulamalar, genel anlamda ya birim alandaki ağaç sayısına müdahale etmek suretiyle (dikimle yetiştirilen ormanlarda dikim sıklığının kontrolü, aralama ve bakım kesimleri vb.) ya da sulama ve gübreleme vasıtası ile ilave su ve besin maddesi sağlayarak, ağaçlar arasındaki doğal rekabeti azaltmakta ve böylece büyümeyi hızlandırmaktadır. Büyüme hızı, aynı zamanda tohumların ya da fidanların genetik seçimi yoluyla da teşvik edilebilir. Bu şekilde çap ve boy artışı, doğal büyüme hızı ile ulaşamayacak kadar artar.

Büyüme hızının teşvik edilmesiyle ormandan elde edilecek odun hammaddesi miktarı arttırılabilmektedir. Silvikültürel müdahaleler, meşcere içerisinde bulunan ağaçların gövde formu ve kalitesini, ağaç içerisindeki genç odun miktarını, reaksiyon odunu oluşumunu, odunun yıllık halka yapısını, anatomik özelliklerini, yoğunluğundan sertliğine kadar bir dizi fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu nedenle müdahaleden sonra oluşan odun, artık doğal büyüme ile oluşan odundan farklı özelliklere sahip olmaktadır (Dünder 2005).

Bu tez kapsamında Adapazarı Bölgesi, doğal meşcerede ve farklı dikim aralıklarında (3x2,5 m ve 4x4 m) yetiştirilen ve hızlı gelişen bir tür olan dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia*, DYD) odunları kullanılmıştır. Hızlı gelişen bir tür olması nedeni ile Avrupa'da yapılan plantasyon çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde

ortalama yıllık artımı, doğal meşcerelerde 12-15 m<sup>3</sup>/ha ve uygun plantasyon ormanlarında ise 20-25 m<sup>3</sup>/ha ulaşmaktadır (Kapucu ve diğ. 1999). Çalışmada üç meşcerede yetiştirilen DYD odunlarının bazı kimyasal, fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısı işlem uygulamasının etkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda 120, 160, 190 ve 210°C sıcaklıklarda 3, 6 ve 9 saat süreyle 12 farklı kombinasyonda örnekler muamele edilmiş, bu ağaç türü ve dikim aralığı için en uygun ısı işlem sıcaklık ve zaman kombinasyonları belirlenmiştir. Böylece ısı işlem sonucu DYD odununun teknolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler, sebep sonuç ilişkileri kurularak açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasının amaçları aşağıda belirtilmiştir.

- Ülkemizde ticari olarak yeni kurulmaya başlanmış olan çevre dostu ısı işlem teknolojilerine bilimsel düzeyde katkı sağlamak,
- Uygulanan tüm varyasyonlar sonrası bu tür için en uygun ısı işlem sıcaklık ve süre kombinasyonlarını belirlemek,
- Yetiştirme sıklığı konusunda pratik uygulamaya katkıda bulunmak,
- Isıl işlem ile birlikte, dışbudak odununun çalışma (sorpisyon) özelliklerini iyileştirmek, mevcut kullanım alanlarındaki kalitesini artırmak ve bazı özel kullanım alanlarında değerlendirilebilmesini sağlamak,
- Yapılan çalışma ile birlikte, hızlı yetişen DYD odunlarının servis ömürleri artırılarak, ormanlara olan baskıyı azaltmak, böylece sürdürülebilir ormancılığa ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak.

Bu çalışma dört bölümden oluşmakta olup, şu şekilde özetlenebilir;

Çalışmanın birinci kısmı olan Giriş bölümünde, çalışmanın amaçları ortaya konularak, çalışma kapsamındaki çeşitli konular ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, çalışma ile ilgili ulusal ve uluslar arası ölçekte literatür irdelemesi yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmını Materyal ve Yöntem bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümde çalışmada kullanılan hammaddenin temin edildiği meşcere tanıtılmış, deney örneklerinin temini hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında yararlanılan test yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.



Üçüncü kısım olan Bulgular ve Tartışma bölümünde ise, çalışma kapsamında yapılan kimyasal analizler, fiziksel, mekanik ve teknolojik testler sonunda elde edilen bulgular ortaya konmuş ve istatistiki açıdan değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu ortaya çıkan sonuçlar konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın son kısmını ise Sonuç ve Öneriler bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara dayalı çeşitli öneriler ortaya konmuştur.

## **1.1. DAR YAPRAKLI DIŞBUDAK (*Fraxinus angustifolia* Vahl.)**

### **1.1.1. Botanik Özellikleri**

Dar Yapraklı Dişbudak'ın sistematikteki yeri (Davis 1965),

Sınıf : Angyospermae

Familya : Oleaceae

Cins : *Fraxinus*

Tür : *Fraxinus angustifolia* Vahl. (syn. *Fraxinus oxycarpa* Willd.)

Dişbudak (*Fraxinus*) kuzey yarım kürenin ılıman bölgelerinde ve ender olarak da subtropikal ve tropikal yayılış gösteren bir ağaç türüdür. Türkiye'de dişbudağın *Fraxinus excelsior* L. (Adi dişbudak), *Fraxinus angustifolia* Vahl. (Dar Yapraklı Dişbudak-Sivri Meyveli Dişbudak) ve *Fraxinus ornus* L. (Çiçekli dişbudak) olmak üzere üç türü ve bu türlere ait yedi alt türü bulunmaktadır (Yaltırık 1978). Kıymetli odun özelliklerinin yanı sıra, hızlı gelişen türler içinde anılan DYD ülkemizde saf ormanlar kurabilmektedir. Dişbudak tüm bu özelliklerinden dolayı, Avrupa ve ülkemizde ekolojik ve ekonomik değeri yüksek ağaç türleri arasında yer almaktadır (Çiçek ve Yılmaz 2002, Çiçek ve diğ. 2005, Tilki ve Çiçek 2005).

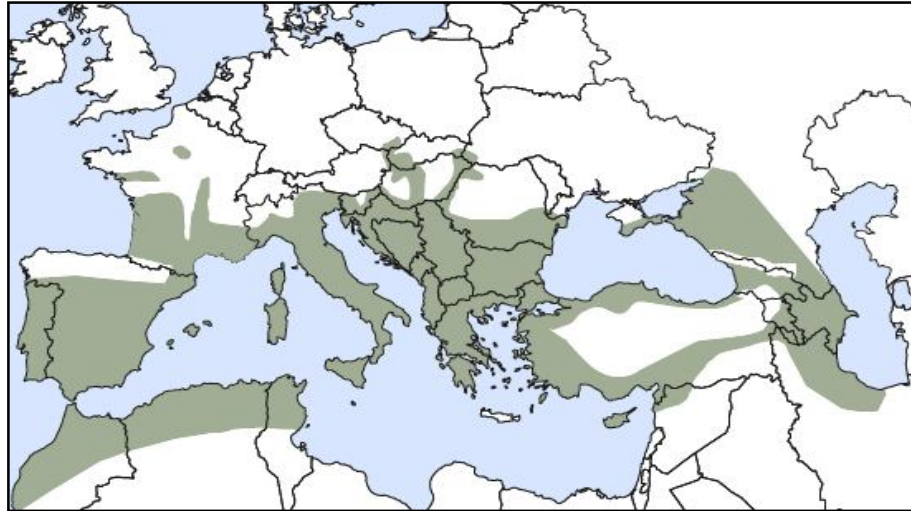
Ülkemizde, dişbudak orman alanı yaklaşık 14410 hektar civarında olup bunun genel orman alanı içindeki payı %1'den daha azdır (Anonim 2007). Mevcut dişbudak ormanlarının tamamına yakını, Trakya, Doğu ve Batı Karadeniz Bölgesi, Marmara ve Ege Bölgesi taban arazilerinde yer alan ve subasar özellik gösteren dar yapraklı

dişbudak (DYD, *Fraxinus angustifolia* Vahl.) oluşturmaktadır. Bu ormanların çoğunluğu da Adapazarı yöresinde yer almaktadır.

Çeşitli nedenlerden dolayı büyük tahrip gören DYD ormanlarının hem alanları oldukça daralmış hem de meşcere yapıları bozulmuştur (Çiçek 2002, Çiçek 2004). Bu yüzden, yaklaşık 50 yıldır sürdürülen orman yenileme çalışmaları ile Adapazarı yöresindeki DYD ormanlarının neredeyse tamamı (%95) dikimle suni meşcerelere dönüştürülmüştür. Mevcut doğal meşcereler ise baltalıklar ile bozuk meşcere artığından oluşmaktadır. DYD taban araziler yanında 700-800 m yükseltilere kadar diğer yapraklı türlerle karışıma girebilmektedir. DYD hızlı gelişen tür olup 40 yıllık idare süresi ile yetiştirilmektedir (Çiçek ve Yılmaz 2002). Genel ortalama artım yapay meşcerelerde 23 m<sup>3</sup>/ha ve doğal meşcerelerde 15 m<sup>3</sup>/ha civarındadır (Kapucu ve diğ. 1999).

### 1.1.2. Doğal Yayılışı

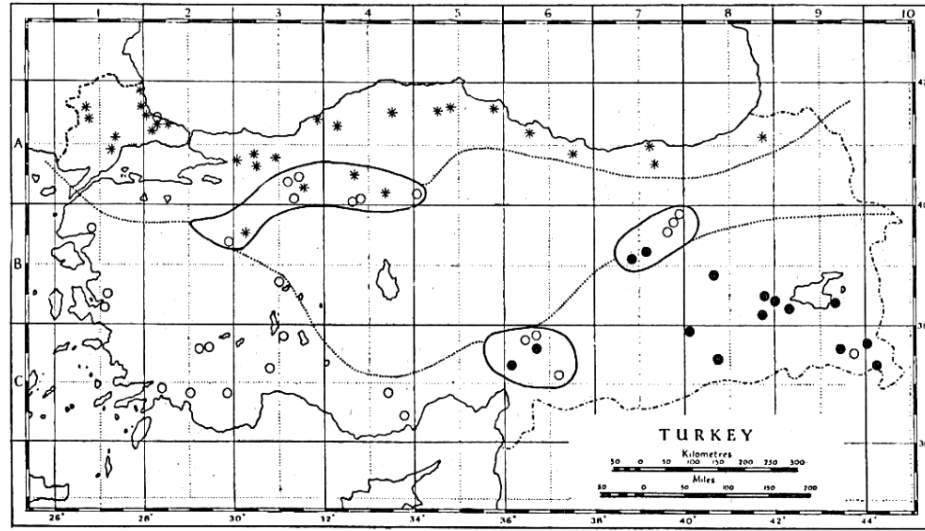
DYD, Portekiz ve İspanya'dan başlayarak doğuya tüm Güney Avrupa, Orta Avrupa'nın doğusu ile Balkan Yarımadası ülkelerinde geniş bir yayılış göstermektedir. Batı Asya, Kuzey Afrika'da, Cezayir'de ve Türkiye'de 2000 m'nin üzerine çıkmaktadır. Kırım, Kafkasya, Türkiye, Suriye, İran ve Türkmenistan'a, Orta Asya'ya kadar ulaşmaktadır (do Amaral Franco 1972, Anşin ve Özkan 1997). Şekil 1.1'de dişbudakların dünyadaki yayılış alanları gösterilmektedir.



Şekil 1.1. *F. angustifolia*'nın dünyadaki yayılış alanları (Anonim 2005).

Özellikle, Adapazarı yakınlarında Sakarya nehri ağzında dolma alanlarda Süleymaniye ormanı, Demirköy yakınlarında Çilinkoz ormanı bu türün en güzel ormanlarını oluşturduğu kesimlerdir (Çiçek ve diğ. 2007).

Pamay (1967) ülkemizde, Demirköy-İğne ada (1000 ha, bir birinden ayrı üç parça halinde); Hendek-Süleymaniye (1650 ha); Adapazarı Dokuma-Döşeme (3000 ha) ve Meşeligöl (500 ha); Karasu Turnalı-Acarlar (3000 ha); İzmit Büyükderebent (250 ha); Sinop Bektaşğa-Aksaz (100 ha) su basar ormanlarının bulunduğunu ifade etmektedir. *F. angustifolia* Vahl. Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi Türkiye’de çok geniş bir yayılışa sahiptir.



Şekil 1.2. *F. angustifolia* Vahl. subsp. *angustifolia* (o), subsp. *syriaca* (●) ve subsp. *oxycarpa* (\*)’nın Türkiye’deki dağılışı (Yaltırık 1978).

Yetiştirme yeri istekleri, coğrafi yayılışı, yaprakçık sayısı ve büyüklüğü, yapraklarının rengi bakımından oldukça farklılıklar gösteren polimorfik bir türdür. Bu nedenle DYD, biri ekolojik, ikisi coğrafik üç alt türe ayrılmaktadır (Yaltırık 1971).

#### ***F. angustifolia* Vahl. subsp. *oxycarpa*;**

Trakya, Batı ve Doğu Karadeniz Bölgelerindeki yapraklı ormanların rutubetli yerlerinde daha çok tek ve kümeler halinde karışıma girer. Taban suyu bakımından zengin ve derin humuslu topraklar üzerinde oldukça geniş ormanlar kurarlar. Adapazarı civarında Mudurnu suyunun Sakarya’ya karıştığı yerde, eskiden çok geniş alanları kaplamış

bulunan Süleymaniye dişbudak ormanı örnek verilebilir. Bu ormanda subsp. *oxycarpa* saf bükler kurar veya kısmen diğer yapraklı ağaçlar ile karışıklığa girer: subsp. *oxycarpa* (%84), *Ulmus carpinifolia* (%8), *Carpinus betulus* ve *Quercus pendunculiflora* (%5), *Acer campestre* (%1). Ayrıca bu karışık ormanlarda *Salix caprea*, *Populus alba*, *Platanus orientalis*, *Cornus australis* vb. gibi türlerde katılır (Yaltırık 1978).

Ülkemizde orman oluşturan ve Adapazarı-Süleymaniye ormanının esas ve değerli taksonu olan “*Fraxinus angustifolia* subsp. *oxcarpa* (Bieb. Ex Willd.) Franco & Rocha Afonso” büyük ekonomik değere sahiptir. Süleymaniye ormanında iyi topraklar üzerinde 2,5-3 cm’ye varan yıllık halka genişliği, 1,5-2 m göğüs çapı ve 45 m boy yapabilmekte ve çok hızlı gelişebilmektedir (Çiçek 2002).

Yaprakçıkların alt yüzeyleri orta damar boyunca tüylü, 3-8 cm boyunda, 1,5-2,5 genişliğinde, yaprakçık kenarları keskin, sivri dişli, terminal yaprakçığın bir taraftaki diş sayısı 10-20 adet olup rutubetli bölgelerde yayılış göstermektedir.

#### ***F. angustifolia* Vahl. subsp. *parvifolia*;**

Yaprakçıkların her iki yüzeyi de çıplak, geniş yumurta biçiminde (eliptik) 1-3 cm boyunda, 0,7-1,5 cm genişliğinde, yaprakçık kenarlarındaki dişler çoğunlukla üst kısımda ter almaktadır. Terminal yaprakçığın bir tarafındaki diş sayısı 3-10 adet olup, kurak yetişme yerlerinde görülürler.

#### ***F. angustifolia* Vahl. subsp. *syriaca*;**

Orta Toroslar’dan Doğuya doğru, Doğu ve Güneydoğu Anadolu’da doğal bir yayılış gösterir. Dikey olarak 450-2000 m yükseltiler arasında, sığ ve çok taşlı sızıntılı dere yamaçlarında, küçük dereler ve vadi tabanlarında karışık yapraklı ormanlarda (Tunceli-Pülümür boyunca, çınar, ceviz, akçağaç, söğüt, kavak vb. türlerle beraber) küçük gruplar halinde yer almaktadır.

Tüysü yaprağın yaprakçık sayısı, tepe yaprakçığı hariç 1-3 çifttir. Yaprakçıklar çoğunlukla çıplak ve alt yüzeylerinde orta damar hafif tüylüdür. Yaprakçık boyu 8-11

cm, genişliği 2,5-4,5 cm olup kenarları kaba dişlidir. Terminal yaprakçığın bir tarafındaki diş sayısı 7-15 adet olup rutubetli yerlerde görülmektedirler (Yaltırık 1971).

### **1.1.3. Toprak ve İklim Özellikleri**

DYD taban arazilerde rutubetli ve zengin killi topraklarda, yükseklerde ise rutubetli ve drenajı iyi olan topraklarda yetişmektedir. En iyi gelişimini düşük yüksekliklerde yapmakta ve geçici su baskınlarına karşı koyabilmektedir. DYD havalandırılmış, az yoğun kumlu-balçıklı toprakları tercih etmektedir. Tuzlu topraklarda ve sahil arazilerinde yetiştirilmeye uygun bir türdür. Üstelik toprak pH'sı 5,0-8,0 arasında killi, kumlu-killi ve kumlu-killi-balçıklı arazilerde iyi bir gelişim göstermektedir. En uygun toprak derinliği 40-100 cm arasında, toprak hacmi ise 0,45-0,90 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>'dir. İkincil olarak alüvyal topraklarda da gelişim göstermektedir (Anonim 2005).

Derin, gevşek ve besince zengin topraklarda da uygun gelişim gösterir. Bu tür en iyi gelişmeyi pH'sı 6,0-7,5 arasında, nemli fakat iyi drenajlı ve alkalin toprakların bulunduğu alanlarda yapar. Genellikle rutubetli derin topraklarda iyi gelişme göstermelerine karşın kurak ve soğuk iklim koşullarına da uyum sağlayabilmektedirler. Toprak istemi çoktur. Durgun sudan etkilenmez, kütük sürgünü verme özelliğine sahiptir. Bu istekler doğrultusunda DYD sulak yerlerde özellikle nehir yatakları ve vadilerde yetişirler. Kurak sığ topraklarda, çayırliklar, kötü drenajlı ve ağır killi topraklar ile pH < 4,5 olan alanlardan kaçınırlar (Odabaşı ve diğ. 2004).

DYD ılıman bir iklime ihtiyaç duymakta olup yıllık olarak 400-800 mm yağış, türün gelişimi için uygundur. Böyle bir ortamda 6-7 aylık bir büyüme sezonu temin edilmiş olur. DYD bir ışık ağacı olup güneşten gelen toplam ışığın %60-100 ihtiyaç duymaktadır (Anonim 2005).

Kutbay ve diğ. (1998) tarafından, Gelemen, Çakırlar Korusu ve Balık Gölleri yöresi DYD ormanlarında yapılan bir araştırmada, bölgenin kumlu-balçıklı, kumlu-killi-balçıklı ve balçıklı topraklardan meydana geldiği bildirilmiştir. Toprak pH'sı nötr veya çok az asidik olarak bulunmuştur. Toprak tuzluluk oranının oldukça düşük olduğu, içerdiği Azot (N) miktarının ise normal sınırlar içerisinde (%0,42-0,84) değiştiği belirtilmektedir. Fosfat konsantrasyonu ise çok düşük olarak bulunmuştur. Bu türün

genç ve yaşlı bireylere sahip ormanlarında toprağın potasyum miktarının genellikle yüksek olduğu ifade edilmiştir.

#### **1.1.4. Silvikültürel Özellikleri**

DYD genellikle karışık meşcereler oluşturur. Bu ormanlar çok sağlam bir ekosisteme ve zengin bir tür çeşitliliğine sahiptir. Bu bölgelerdeki yapraklı ağaçlardan yüksek kalitede keresteler elde edilir. Bu tür ormanların silvikültürel yönetimi devam eden kapalılık metodu (şer altı veya grup sistemi) ile başarılı olabilir. Bu metotla DYD ve saplı meşede doğal gençleştirme, bol tohum yıllarında küçük alanlarda yapılacak kesimleri ile sağlanabilir. Aynı bölgede ikinci gençleştirme 15-25 yıl periyodunda birkaç kez tekrarlanır. İlkbahar ve yaz aylarında su baskınlarının olduğu DYD meşcerelerinde tohumdan doğal gençleştirme çok azdır. Böyle durumlarda bu tür ormanlar 25-35 yıllık rotasyonlarda baltalık ormanı olarak kullanılırlar (Anonim 2005).

Karışık plantasyon ormanlarındaki DYD'in oranı hedeflenen karışım oranına ve yetiştirme ortamına bağlıdır. Genellikle meşe ormanlarında diğer yapraklı türlerin (dişbudak, kiraz, kızılâğaç vb.) oranı %30-40 civarında olmalıdır. Fakat daha rutubetli alanlarda (subasar ormanlar gibi) DYD'in oranı %70-80 'e çıkarılmalıdır (Anonim 2005).

Bir yapraklı ağaç olarak DYD erken yaşlarda çok hızlı büyür iken 50-60 yaşlarından sonra büyüme hızı yavaşlar. Ortalama yıllık artımı, doğal meşcerelerde 12-15 m<sup>3</sup>/ha ve uygun plantasyon ormanlarında ise 20-25 m<sup>3</sup>/ha olduğu için DYD hızlı büyüyen bir ağaç türü olarak düşünülmektedir. Seçilen bölgeye ve hedeflenen odun kalitesine ulaşmak için önerilen idare süresi 40-60 yıl olup, bu sürede 40-60 cm çapa ulaşabilmektedir. Orta Avrupa'da 60-80 yıl civarında, Hırvatistan ve Sırbistan'da yaklaşık 60 yıl, Türkiye'nin kuzeyindeki subasar ormanlarda, büyüme hızı yüksek olduğu için idare süresi 40 yıl gibi kısa bir süre olabilmektedir. Meşe ve DYD'den oluşan karışık meşcerelerde DYD'nin idare süresi 60-80 yıl, meşe için ise 120-140 yıl olarak uygulanabilir. Yapraklı ağaçlarda olduğu gibi DYD'de kesim kışın yapılmalıdır (Anonim 2005).

Nehir kenarlarında kurulan yeni plantasyonlarda, topraktaki fazla suyun drenaj ile uzaklaştırılması önemlidir. Alüvyal topraklarda dikim aralığı ve diri örtü rekabetinin

kontrolü önemlidir. Çünkü DYD diri örtünün kuvvetli rekabetine karşı koyamamaktadır. Plantasyon ormanlarında eğer fidanlar küçük ise hektardaki fidan sayısı (dikim aralığı 1x2 m) genellikle 5000 civarındadır. Ancak günümüzde yoğun plantasyonlarda ise daha az ve büyük boyutlu fidanlar (2-3 yaşında) tercih edilmektedir. Dikim aralığı ise daha büyük (2x2 m, 3x3 m arasında) alınmaktadır. Bu uygulama daha pahalı olmasına rağmen diri örtü rekabet etkisinin azaltılması ile DYD'lerde daha yüksek hayatta kalma oranı sağlamaktadır (Anonim 2005).

Tüm ağaç türlerinde olduğu gibi DYD'nin plantasyonlarında da ana problem odun hammaddesi üretimi için dikim aralığının ne kadar olacağıdır. Geniş dikim aralığı odun kalitesini ve ağaç gövdesini olumsuz olarak etkiler (Çiçek 2002, Anonim 2005). Yüksek kalitede odun üretimi için dar dikim aralıkları (2x2 m, 2,5x2,5 m, 2x3 m ve 3x3 m vb.) tavsiye edilmektedir. Dişbudak plantasyonları, genellikle fidanlıkta yetiştirilmiş fidanlardan ve nadiren de kök kesimi yapılmış fidanlardan kurulur. Direk tohumla gençleştirme, daha pahalı olması ve DYD'nin yüksek diri örtü sebebiyle ilk yıllarda yavaş büyüdüğü için tavsiye edilmemektedir. Hızlı büyüyen türlerin (dişbudak, akçaağaç, ıhlamur, kızılbaş, söğüt, kavak vb.) meşe ile rekabet edememesi nedeni ile karışık meşcereler oluşturulmasından kaçınılmalıdır (Anonim 2005).

#### **1.1.5. Makroskobik Özellikleri**

Dişbudak odununun mekanik ve teknolojik özellikleri yüksektir. Genellikle yıllık halkalar genişledikçe odunun yoğunluğu ve setliği artar. Diri odunu geniş, genellikle sarımsı beyaz renkte ve parlaktır. Diri ve öz odunu arasında renk farklılaşması yoktur. Diri odun-öz odun sınırı her zaman belirgin değildir. Çok yaşlı ağaçlarda görülen yalancı öz odunu (kahverengi öz odun) kül rengimsi kahverengidir (Örs ve Keskin 2001, Merev 2003).

DYD, kereste üretiminde *F. exelsior*'a benzeyen odun özellikleri ile önemli bir türüdür. Bu iki dişbudak türünün odun kalitesinin karşılaştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. *F. exelsior*'un özodunu oranı (%52-74) DYD'den (%30-56) daha yüksektir (Matoviç 1977). Benzer bölgelerde yetişen ağaçlarda, yıllık halka genişliği DYD için 1-3 mm

iken, *F. exelsior*'un yıllık halka genişlikleri %15-30 daha dar olduğu bildirilmektedir (Anonim 2005).

İlkbahar ve yaz odunu trahe alanları çıplak göz ile görülür. İlkbahar odunu traheleri büyük ve 1-4 sıralıdır. Radyal kesitte iğne çizikleri şeklinde görülürler. Yıllık halka sınırları çok belirgin olup, özışınları büyüteç ile ince, sık ve açık renkli görülür. Enine kesitte özışınları trahelerin etrafını dolanarak ilerlerler. Bu nedenle görünüşleri düz hatlar halinde değil, dalgalı bir yapı gösterirler. Odunu ağır, sert ve kaba tekstürlüdür. Dekoratif bir görünüşe sahip olup, düzgün liflidir (Bozkurt ve Erdin 1989a, Örs ve Keskin 2001).

### **1.1.6. Mikroskopik Özellikleri**

Yıllık halkalar çok belirgin olup odunu halkalı trahelidir. İlkbahar odunu traheleri çok büyük çaplı, yaz odunu traheleri ise çok küçük çaplıdır. İlkbahar odunu traheleri genellikle tek tek bulunur. İlkbahar odunu zonunda 5-7 hücre genişliğinde yer kaplarlar. Yaz odunu traheleri tek tek ve 2-3 hücreli radyal gruplar halinde homojen bir şekilde dağılırlar. Yıllık halka içerisindeki libriform lifleri ilkbahar odununda ince, yaz odununda ise kalın çeperlidirler. Yaz odunu trahelerinin etrafını çevreleyen boyuna paranzim kanat şeklinde paratraheal konumdadır (Merev 1998).

İlkbahar odunu traheleri yaz odunu trahelerinden büyüktür. Değişik yetiştirme ortamlarında ilkbahar odunu traheleri, teğet çapları 144-302 µm arasında, ortalama 227,71 µm, radyal çapları ise 144-360 µm arasında değiştiği ortalama 277,58 µm olarak tespit edilmiştir. Yaz odunu traheleri, teğet çapları ortalama olarak 62,27 µm, radyal çapları ise 59,91 olarak tespit edilmiştir. Trahe hücre uzunluğu ise 120-360 µm arasında değiştiği ifade edilmektedir (Merev 1998).

Yaz odunu zonunda trahe yoğunluğu daha fazladır. 1 mm<sup>2</sup>'deki trahe sayısı 16,66 olarak bulunmuştur. DYD'nin perforasyon tablası basittir. Yaz odunu zonunda bulunan trahe hücrelerinde dikine yönde yer alır. İlkbahar odunu trahe hücrelerinde ise enine yöndedir. Bu nedenle radyal kesitlerde sadece yaz odunu trahe hücrelerinin perforasyon tablasına rastlanır. Perforasyon tablası daire şeklinde olup, ortalama uzunluğu 32,64 µ, genişliği ise 31,68 µ'dur (Merev 1998).



Trahe hücrelerinin müşterek çeperlerindeki kenarlı geçitler ilkbahar odunu trahe hücrelerinde genellikle elips şeklinde, yaz odunu trahe hücrelerinde ise daire şeklindedir. Bazı geçitlerde iki veya daha fazla geçidi kapsayan müşterek geçit açıklıkları bulunur. Bu açıklıkların boyutları 10-20  $\mu$  arasında değişmektedir. Geçit açıklıkları trahe çeperleri üzerinde enine veya boyuna yönde ince çizgi şeklinde bir görünüm arz ederler. Trahe-özışını ve trahe-boyuna paraşim hücreleri arasında yer alan kenarlı geçitlerin boyutları çok küçük dizilişleri almaçlıdır. Geçit açıklıkları daire şeklindedir. Trahelerin lümenlerinde till oluşumuna rastlanmaz (Merev 1998).

Odunda sadece libriform lifleri bulunmaktadır. Liflerin geçitleri uzun yarık şeklindedir. Lifler çift boyutludur. Uzun lifler yıllık halkaların her yerinde, kısa lifler sadece trahelerin çevresinde kümelenmişlerdir. Uzun libriform liflerinin uzunluğu 588-1882  $\mu$ , genişliği 16,79-33,58  $\mu$ , lümen genişliği 7,46-18,66  $\mu$  ve çeper kalınlığı ise 2,79-7,46  $\mu$  arasında değişmektedir. Kısa libriform liflerinin uzunluğu, 527,29  $\mu$ , lif genişliği 27,68  $\mu$ , lümen genişliği 19,09  $\mu$  ve çeper kalınlığı ise 4,16  $\mu$  olduğu ifade edilmektedir (Merev 1998).

Boyuna paraşim paratraheal paraşim konumundadır. İlkbahar odunu trahelerinin çevresini tek sıra hücre halinde çevreler (paratraheal-vasisentrik). Yaz odunu trahelerinin çevresinde kanat şeklinde yer alır (paratraheal-aliform). Yıllık halkaların sonunda kanatlar birbirleriyle birleşirler (paratraheal-konfluent). Boyuna paraşim hücrelerinin çeperlerinde basit ve kenarlı geçitler bulunur. Trahelerin çevresinde bulunan boyuna paraşim hücrelerinin ünite sayıları daha fazla olup, çeperlerinde kenarlı geçitler vardır. Basit geçitlere sahip olanlarda ünite sayıları daha azdır (Merev 2003).

Özışınları üniseri ve mültiseri homoselüler özışını şeklindedir (%15 üniseri, %85 mültiseri). Özışınlarını oluşturan hücrelerin tümü yatık hücrelerdir. Üniseri özışınları çok kısadır. Özışınlarının genişlikleri 1-4 hücre arasında değişmektedir. En fazla bulunanlar üç hücre genişliğinde olanlardır. Dört hücre genişliğindeki özışınlarına nadiren rastlanır (Merev 1998).

### 1.1.7. Teknolojik Özellikleri

Dişbudak odunu ana kimyasal bileşenlerinden, selüloz oranı %41-47, lignin içeriği %21-30, pentozan oranı %21-27 arasında değiştiği, odun yan bileşenlerinden alkolbenzen çözünlülüğü %5,4 ve pH'sı ise 5,8 olduğu belirtilmektedir (Bozkurt ve Erdin 1989a).

*F. exelsior* odununun yoğunluğu ( $665-728 \text{ kg/m}^3$ ), DYD'den ( $645-684 \text{ kg/m}^3$ ) daha yüksektir (Matoviç 1977). Fakat DYD'nin hacimsel daralması ise diğer türden daha yüksektir. Mekanik özellikleri (basınç, eğilme, şok, liflere paralel çekme direnci, elastikiyet modülü) bakımından DYD diğer türe göre biraz daha düşük değerler vermektedir (Anonim 2005).

Bozkurt ve Göker (1996) Türkiye'de yetişen bazı yapraklı ve iğne yapraklı ağaçların fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini incelemişlerdir. Buna göre; sivri meyveli dişbudak'a ait hava kuru yoğunluk  $0,682 \text{ g/cm}^3$ , tam kuru yoğunluk  $0,650 \text{ g/cm}^3$ , hacim yoğunluk değeri  $0,564 \text{ g/cm}^3$  olarak bulunmuştur. Lif doygunluğu noktasından (LDN) tam kuru hale (%0) kadar hacimsel daralma yüzdeleri sırasıyla, liflere paralel yönde %0,27, radyal yönde %5,28, teğet yönde %9,00 ve toplam hacimsel daralma miktarı ise %14,55 olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı araştırmada LDN %28,3 olarak, odunun bünyesine alabilecek olduğu en yüksek su miktarı ise %128 olduğu hesaplanmıştır (Bozkurt ve Erdin 1989a, Örs ve Keskin 2001).

Başka bir çalışmada Türkiye'de yetişen DYD'nin hava kuru yoğunluk değerinin  $0,450-0,860 \text{ g/cm}^3$ , tam kuru yoğunluk değerinin ise  $0,410-0,820 \text{ g/cm}^3$  arasında değiştiği ifade edilmektedir. Hacim yoğunluk değeri  $0,555 \text{ g/cm}^3$ , hacimsel daralma miktarı %13,20, genişleme miktarı ise %15,20 olarak bulunmuştur (Bozkurt 1986).

Hava kuru haldeki, elastikiyet modülü  $9590 \text{ N/mm}^2$ , eğilme direnci  $108,7 \text{ N/mm}^2$ , dinamik eğilme (şok) direnci  $0,64 \text{ kN/cm}$ , şok direnci ve yoğunluk değerlerinden faydalanılarak elde edilen dinamik kalite değeri 1,40 bulunmuştur. Makaslama direnci  $9,37 \text{ N/mm}^2$ , liflere paralel ve dik yönde Brinell sertlik değerleri sırası ile  $16,4 \text{ kg/mm}^2$  ve  $8,15 \text{ kg/mm}^2$ , liflere paralel yönde çekme direnci  $102,27 \text{ N/mm}^2$ , liflere paralel basınç direnci  $51,7 \text{ N/mm}^2$ , liflere paralel yönde basınç direnci ve yoğunluk

değerlerinden yararlanılarak elde edilen spesifik ve statik kalite değerleri sırasıyla 11,1 ve 7,6 olarak bulunmuştur (Bozkurt ve Göker 1996).

### **1.1.8. Geleneksel ve Modern Kullanım Alanları**

Dişbudak odunu, orman ürünleri endüstrisinde birçok kullanım alanına sahiptir. Dişbudak odununun dinamik eğilme direncinin yüksek olması nedeniyle spor aletleri yapımında tercih edilmektedir. Raket, hokey sopaları, jimnastik aletleri, kriket ve bilardo sopaları, küçük gemilerin bükme kısımları ile iskelet ve yer döşemelerinde, masif mobilya yapımında, karoseri, dekoratif kaplama levha ve lambri, uçak malzemesi, sandal kürekleri, vagon ve bükme eşya üretiminde kullanım alanı bulmaktadır (Gürsu 1971).

Dişbudak odunundan ayrıca kayak tahtaları, tenis raketleri, trapez ve jimnastik salonları için duvar kafesleri üretiminde de faydalanılmaktadır. Ancak bu sahada kullanılan dişbudağın %80 oranında dal, budaksız ve özellikle düz gövdeli olması gerekmektedir. Ayrıca bu alanlarda kullanılacak dişbudaklarda yıllık halkanın orta genişlikte veya geniş olması talep edilmektedir. Kayak tahtaları üretiminde yıllık halka genişliği 2–2,5 mm olan dişbudaklar tercih edilmektedir. Tomruklardan kayak tahtalarının biçilmesi esnasında, yıllık halkaların tahta yüzeyinde birbirine paralel ve düzenli çizgiler oluşturmasına dikkat edilmelidir.

DYD'nin odun özellikleri yetiştirme yerine göre farklılıklar göstermektedir. Güney ve Güney Batı Avrupa'da odun kalitesi daha yüksektir. Özellikle Türkiye'nin Kuzey'deki uygun bölgelerde, DYD daha hızlı büyümekte ve kavaktan daha yüksek bir verim elde edilebilmektedir. Kuru ve yaş haldeki yapraklar, hayvanlar için hoş ve besleyici olduğu için Güney Avrupa'da hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Plantasyon ve doğal bölgelerdeki genç ağaçlara karaca ve kızıl geyikler tarafından sıklıkla zarar verilmektedir. DYD, Orta Avrupa ve Güney'deki şehirlerin cadde ve sokaklarında dekoratif ağaç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Anonim 2005).

Genel olarak dişbudak, kaplama levhası ve mobilya üretiminde önemli bir yere sahiptir. Kaplama levha üretiminde dişbudak tomrukları, prizma haline getirildikten sonra buharlama işlemine tabi tutulmaktadır. Buharlanan prizmalar, kesme kaplama

makinelerinde 0,5–0,7 mm kalınlığında levhalar halinde kesildikten sonra kurutma fırınlarında kurutulur ve paketlenir (Güler 2009).

Dişbudak odunu mobilya endüstrisinde, yemek ve oturma odalarının masa, sandalye, sehpa, büfe ve vitrin imalinde kullanılmaktadır. Son yıllarda mobilya endüstrisinde, kaplama ve masif ağaç malzemenin cilalanmasında polyester cilalar kullanılmaktadır. Bu tür cilalar, dişbudak odununun lümen kısımlarını doldurarak pürüzsüz, düz ve parlak bir yüzey vermektedir. Modern görünüşlü bükme sandalye ve koltukların yapımında dişbudaktan elde edilen kontrplaklar kullanılmaktadır (Güler 2009).

Dişbudak odunu özellikle yolcu vagonlarında koltuk, tavan döşemelerinde de kullanılmaktadır. Ağaç malzeme olarak, aşınmaya karşı direncinin ve sertliğinin yüksek oluşu, yüksek elastikiyeti ve dekoratif olan beyaz rengi ile tercih edilmektedir. Dişbudak, vagonların pencere pervazlarında, boyuna olan tavan kirişleri, kapı kasaları, korkulukları ve kanepeler için imalinde kullanılmaktadır (Gürsu 1971).

Gemilerin iç kısımlarında kullanılan mobilya ve döşeme imalatında, kamara, duvar kaplaması, lambri yapımında faydalanılmaktadır. Dişbudak odununun aşınmaya karşı direncinin, özgül ağırlığının ve sertliğinin meşeye yakın, renginin ise beyaz oluşu nedeniyle günümüzde parke üretiminde tercih edildiği rapor edilmektedir (Gürsu 1971).

## **1.2. SİLVİKÜLTÜR KAVRAMI VE TEKNİĞİ**

Latince Silva (orman) ve kultura (yetiştirmek, üretmek) kelimelerinin bir araya gelmesinden oluşan silvikültür, orman kurmak ve yetiştirmek demektir. Daha geniş anlamda silvikültür, yeni ormanların planlı olarak kurulması ve bunların doğal ormanlarla birlikte iyileştirilmesi (bakımı), gençleştirilmesi ve varlıklarının iyi bir şekilde devam ettirilmesi ile uğraşan bir bilim dalıdır (Saatçioğlu 1976).

Silvikültürün temel amacı; ormandan en az masrafla, mevcut şartların mümkün kılabilirdiği en yüksek kalite ve kantitede çok taraflı ürün elde etmek ve milli ekonominin çeşitli orman ürünleri isteklerini devamlı olarak karşılayabilecek nitelikte, dış etkilere dayanıklı, verimli ormanlar meydana getirmektir. Ulusal ekonominin orman ürünleri

ihtiyacını karşılamak için kalite ve kantite itibarı ile en yüksek maddi verimin elde edilmesi de silvikültürün amacına girer (Odabaşı ve diğ. 2004, Dündar 2005).

Silvikültürün çalışma alanı ormandır. Silvikültür, insan toplumlarının ihtiyaçları için ormanların işletme kural ve yöntemlerini araştırır ve saptar. Bu nedenle silvikültür, her şeyden önce ekosistem olarak ormanın doğal oluşum, gelişim ve büyüme özellikleri ile sürekliliği için gerekli koşulları araştırmak zorundadır. Bu koşulların tespitinden sonra, bu koşullara uygun olarak insan toplumlarının gereksinimlerine ve ekosistemin sürdürülmesine yönelik ormanda yapılacak işlemlerin yöntemlerini araştırarak uygulama kurallarını belirler (Odabaşı ve diğ. 2004).

### **1.2.1. Ülkemizde Dişbudak (*Fraxinus sp.*) Meşcerelerinde Uygulanan Silvikültürel Faaliyetler**

Dişbudak türlerinin tohumları genellikle Ağustos ayında olgunlaşır ve tohum dökümü sonbaharda başlayarak kış boyunca sürer. Zengin tohum yılları 2-3 yılda bir oluşur. Dişbudak türlerinin tohumları çimlenme engeli gösterir. Bu nedenle kışı kar altında geçiren tohumlar ilkbaharda büyük ölçüde çimlenir (Odabaşı ve diğ. 2004).

Dişbudak gençliği gölgeye oldukça dayanıklıdır. Pamay (1967)'in İğneada-Longos subasar ormanlarında yaptığı tespitlerde, %1,5 gibi oldukça düşük ışık yoğunluğunda dişbudağın bol miktarda fideliklerine rastlandığı, ancak gençliklerde %6'dan az ışıktaki gelişmenin durduğunu ve gençliklerde deformasyonun başladığı görülmüştür. Gençlikte iyi bir gelişim için %14-15'in üstünde bir ışık yoğunluğu olması gerektiği belirtilmektedir. Yaş ilerledikçe ışık isteği artar ve ışık ağacına eğilimli yarı gölge ağacı olur. Bu durumda tepeleri seyrekleşir ve bulunduğu yetişme ortamda toprağın diri örtü ile yeşillenmesi artar. Gençlikte geç donlara karşı hassastır (Saatçioğlu 1976, Atay 1984).

Dişbudak türlerinin biyolojisi ve tohum özelliği göz önünde bulundurularak doğal gençleştirmenin siper durumu ile yapılması uygun olur. Gençleştirme yapılacak meşcerenin yapısına bağlı olarak, grup ve kümelerde siper işletmesi uygulanabileceği gibi geniş saf yayılış alanlarında büyük alan siper işletmesi de uygulanabilir. Dişbudak

tohumlarının kanatlı ve rüzgârla uçma yeteneğinin olması nedeniyle don tehlikesi olmayan etek şeridi tıraşlama işletmesi de uygulanabilir (Odabaşı ve diğ. 2004).

Büyük alan siper işletmesi uygulamasında, meşcere kuruluşuna göre bir yada iki yıl ara ile iki hazırlama kesiminden sonra zengin bir tohum yılında yaz sonunda tohumlama kesimi yapılır. Gölge ağaçlarında olduğu gibi dişbudak meşcerelerinde de tohumlama kesimi ile kapalılık 0,6-0,7'ye düşürülür. Fidan oluşumundan iki yıl sonra ışık kesimlerine geçerek iki yıl aralarla 2-3 ışık kesimi yapılabilir. Işık kesimlerinin tamamlanmasından iki yıl sonra yani fidan oluşumundan 6-8 yıl sonra boşaltma kesimlerine geçilebilir. Grup ve kümelerde yapılacak gençleştirmelerde ışık kesimleri evresi 2-4 yıl sürebilir. Boşaltmaya gençliğin oluşumundan 4-6 yıl sonra girişilebilir (Odabaşı ve diğ. 2004).

Özellikle subasar ormanlarda yapılacak gençleştirme çalışmalarında meşcere kapalılığının kırılması sonucu, yetiştirme ortamının yüksek verim gücü nedeniyle gençlikle birlikte yoğun bir diri örtünün geldiği ve bu diri örtünün gençlikte daha hızlı büyüyerek onu boğduğu durumlarda siper altı dikimleri de düşünülebilir. Böyle durumlarda yöresel orijinli 2+0 fidanlarla 2x2 m aralık mesafelerle siper altı dikimler yapılabilir ve yaşlı meşcereleri alandan tedrici olarak çıkarılır. Bu şekilde yeni meşcerelerin dikim yolu ile kurulması da idare süresini 8-10 yıl kısaltır. Kaliteli dişbudak meşcereleri için karaağacı bir dolgu ağacı ve yardımcı bir tür olarak değerlendirmek gerekir (Atay 1984, Çiçek 2002).

### **1.2.2. Silvikültürel Uygulamaların Odun Kalitesine Etkisi**

Kullanım yeri bakımından ağaç malzemenin uygunluğunu belirleyen faktörler, odun kalitesini de tayin etmektedir. Uygulanan silvikültürel tedbirler bu faktörler üzerinde önemli derecede etkili olabilmekte ve kaliteyi artırabilmektedir. Her bir ağaç yetiştirilirken etrafında kullandığı alanın büyüklüğü yıllık halka genişliği ve buna bağlı olarak çap ve boy yönündeki artımı önemli derecede etkilemektedir. Ormanda ağaçlar arasındaki mesafe ve bunları çevreleyen vejetasyonun çokluğu, besin maddeleri, su ve güneş ışını gibi kritik büyüme faktörleri rekabet derecesini belirlemektedir. Rekabet az ise ağacın taç kısmı ve kök sistemleri çok iyi bir gelişme gösterir. Çünkü kritik faktörler

sınırlayıcı bir derecede değildir. Diğer taraftan ağaçlar sık ise büyüme faktörlerinden yeterince faydalanamazlar (Bozkurt ve Erdin 1989b, Haygreen ve Bowyer 1996).

Sık dikim aralığında, güneş ışığı, besin maddesi ve su rekabeti nedeniyle bastırılan ağaçlar giderek daha fazla geri kalırlar ve güçsüzleşirler. Çok hızlı büyüyen ağaç bile, aşırı sıklıktan kaynaklanan ışık azlığının neden olduğu doğal budama ile alt dallarını kaybederler. Meşcerede böyle bir sıklık odun üretim kapasitesinin azalmasına neden olacaktır. Bu nedenle Orman Mühendisinin dikkat edeceği hususlardan biri ormanda ağaçlar arası rekabeti azaltmak ve böylece büyüme hızını en üst seviyeye getirmektir. Örneğin, rekabet seviyesini kontrol altında tutmak için meşceredeki mevcut büyüme faktörlerini dengede tutmak ve bakım tedbirleri uygulamaktır (Bozkurt ve Erdin 1989b).

Dikim esnasında ağaçlar arasında geniş bir boşluk bırakmak ya da doğal ormanlarda gençlik bakımı ve ayıklama kesimlerinin uygulanması ve sonra rekabet halindeki vejetasyonun kontrolü vasıtası ile erken yaşlardaki büyüme büyük miktarda hızlandırılabilir. Zamanla yapılan aralama kesimleri rekabeti azaltır ve geri kalan ağaçlar hızla büyümeye devam ederler. Bu uygulama şekli uzun yıllardan beri ormancılıkta kullanılmaktadır. Fakat bu önlemlerin odun özellikleri üzerinde etkisine dikkat edilmelidir (Bozkurt ve Erdin 1989b, Dündar 2005).

Aşağıda bazı silvikültürel uygulamaların odun özelliklerini nasıl etkilediği incelenecektir. Bu araştırmanın konusunu teşkil etmesi bakımından dikim aralığı üzerinde daha detaylı olarak durulacaktır.

#### *1.2.2.1. Dikim Aralığı*

Dikim aralıkları, yetiştirilecek ormanın kalite ve kitle üretimi ile tesis maliyetine etki yapan önemli bir konudur. Dikim aralığı öncelikle ağaçların yetişme ortamından faydalanma derecesini belirler. Ağaçların büyümesi ve gelişmesi topraktan alınacak gıda maddelerine, suya ve ışığa ihtiyaç duymaktadır. Aralıklı yetişen ağaçlar sık olanlardan daha hızlı büyümektedir. Kısacası ağaçlar arası mesafe, yoğunluk ve direnç özelliklerini etkilediği için dikimde aralıklara dikkat edilmelidir (Bozkurt ve Erdin 1989b, Dündar 2005).

Hızlı büyümede yıllık halkalar genişlemekte ve geniş aralıklı dikimde genç, halkalı traheli yapraklı ağaçlarda yoğunluk genellikle en yüksek değerini bulmakta ve buna paralel olarak direnç özellikleri artmaktadır. İğne yapraklılarda dikim aralığının yoğunluk üzerine etkisi bu kadar açık değildir. Bazı araştırmalar dikim aralığının artması ile yoğunluğun azaldığını, bazıları ise belirgin bir etkinin söz konusu olmadığını söylemektedir. Yıllık halkaların ilk yaşlarda geniş olması genç odun oranını artırmaktadır. Genç odun düşük yoğunlukta olduğu için kullanılacak odunda genellikle yoğunluğun azalmasına neden olacaktır. Ancak geniş dikim aralıklı meşcerelerde, sık meşcerelere göre daha kısa sürede ve ticari büyüklükte ağaçlar elde edilmesine rağmen hektardaki lif üretim miktarı arzu edildiği kadar yüksek olmamaktadır. Çünkü böyle meşcerelerde ortalama hacim ağırlık değeri daha düşük olabilmektedir (Haygreen ve Bowyer 1996).

Dağınık traheli yapraklı ağaçlarda ve yıllık halkaları belirgin olmayan iğne yapraklı ağaç türlerinde dikim aralığının etkisi hususundaki araştırmalar çelişkili sonuçlar vermektedir. *Alnus rubra* (Lei ve diğ. 1997), *Betula pendula* (Moberg 1999) ve okaliptüs türleri (Wilkes 1984) üzerinde yapılan araştırmalar, büyüme hızının yoğunluğu etkilemediğini ifade etmektedir. *Eucalyptus grandis*'te yapılan bir başka araştırmada ise, baskı altında büyüyen ağaçların yoğunluğunun özden kabuğa doğru ilerledikçe hızlı bir şekilde arttığı, diğer taraftan daha serbest bir şekilde büyüyen ağaç odunlarının maksimum yoğunluk düzeyine oldukça erken yaşlarda ulaştığı bildirilmektedir. Bu durumun, bir gövdede nispeten üniform yoğunluğa sahip ergin odun oranının daha büyük olmasıyla sonuçlanacağı ileri sürülmektedir (Malan ve Hoon 1992).

Dikim aralığının genç odun oluşum periyodunu etkileyip etkilemediği sorusu üzerine çelişkili bilgiler mevcuttur. *Picea glauca* üzerinde yapılan bir araştırmada 3,6×3,6 m aralıklarla dikilmiş ağaçların daha sık bir şekilde dikilenlerden daha fazla sayıda genç odun yıllık halkasına sahip olduğu bulunmuştur. Güney çamlarıyla oluşturulan plantasyonlarda yapılan bir başka araştırmada dikim aralığının genç odundan ergin oduna geçiş yaşını etkilemediği, ancak geniş aralıklarla yapılan dikimlerin daha dar aralıklarla yapılan dikimlere kıyasla önemli bir şekilde daha büyük bir genç odun kısmı



oluşturduğu tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar *Picea sitchensis* için de tespit edilmiştir (Macdonald ve Hubert 2002). Bu hususta yapılan çalışmaların ortak yönü, erken yaşlarda büyümenin hızlandırılması ile aynı zamanda genç odun kısmının hacmini genişletmektedir. Genç odun düşük yoğunlukta olduğu için geniş bir genç odun kısmı, içinde bulunduğu gövdenin ortalama yoğunluğunu da düşürecektir. Geniş dikim boşlukları aynı zamanda, rüzgâr baskısının artmasına bağlı olarak basınç odunu oluşumunda da bir artışa sebebiyet verebilmektedir. Aynı sebebe bağlı olarak gövde düzgünlüğünün de olumsuz olarak etkilenebileceği ifade edilmektedir (Macdonald ve Hubert 2002, Dündar 2005).

Geniş aralıklı yetiştirilen bir meşcerede sık yetiştirilenlere nazaran daha kalın dallar ve fazla sayıda budaklar bulunabilmektedir. Bu durumda fazla ışık alan ağaçlarda doğal budama azalır ve dalların kalınlaşmasına sebep olur. Böylece açıkta büyüyen ağaçlardan elde edilen odun hammaddesi çok budaklı ve düşük kaliteli olacaktır. Bunların işlenmesi sırasında oluşacak zayıf miktarı da artacaktır (Bozkurt ve Erdin 1989b, Macdonald ve Hubert 2002).

*Betula pendula*'da yapılan bir araştırmada geniş dikim aralıklarının gövdenin alt kısımlarında daha büyük budakların oluşmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Hızlı büyüyen ağaçların daha fazla ve daha kalın dallara sahip olduğu ve hektarda ortalama 5000 ağaç bulunması durumunda alt kısımdaki en kalın dalın 23 mm, ortalama 800 ağaç bulunması durumunda ise 30 mm olduğu bildirilmektedir. *Cedrus atlantica*'nın 1,5×2 m aralıklarla büyümesi durumunda temiz gövde uzunluğu 4,8 m, 2×2 m aralıklarla büyümesi durumunda ise 3,5 m olarak tespit edilmiştir (Wilkes 1984, Hapla ve diğ. 2000).

Odun kalitesi üzerine geniş dikim aralığında büyümenin bir başka önemli etkisi, daha sık büyüyenlere kıyasla daha fazla oranda konik gövdelerin oluşmasıdır. Patlayan tomurcuklarda üretilen Auxin hormonu, ağaç gövdesinde yukarıdan aşağıya doğru hareket eder ve kambiyal aktiviteyi derece derece yeniden aktif hale geçirir. Daha sonra büyüme gövdenin her tarafında yaklaşık aynı zamanda sona erer. Böylece, uzun bir ağaçtaki (yani kapalı meşcere şartlarında) aktif dallar sadece tepededir, daha fazla büyüme her yıl tepeye yakın kısımlara eklenir. Bunun sonucunda silindirik bir gövde

oluşur. Terside durumda, açıkta büyüyen ve gövde uzunluğu boyunca dallarını muhafaza eden gövdelerde, gövdenin dibe yakın kısımları ile taç kısmının çap büyümesine başlangıç zamanları arasında küçük bir fark vardır. Bu gibi gövdelerde konik bir oluşum devam eder. Geniş dikim boşluklarının gövdede konikliği artırdığı *Betula pendula*, *Picea sitchensis* ve *Pinus taeda* üzerinde yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir (Haygreen ve Bowyer 1996, Dünder 2005).

Üretime yönelik ağaçlandırmalarda dikim aralıkları, üretim amacına göre değişmelidir. Kalitenin ön planda olduğu kaplamalık, doğramalık, kereste ve tel direği gibi üretim amaçlarında daha sık dikim aralıkları öngörülür. Böylece toprağa gelen ışık azalır ve kapalılığa bağlı olarak boy büyümesi hızlanır. Gövde dolgunluğu artar, cılız, konik gövde oluşumu önlenmiş olur. Ağaçlar tabii dal budamasına erken yaşta girer ve dal hacmi azalır. Bu kullanım yerlerinden başka selüloz ve kağıt endüstrisi için istenilen kalite ve ağırlıkta odun, seyrek dikim ve hızlı büyüme ile sağlanamaz. Çünkü selüloz verimi bakımından, hektardaki kg üretimi, m<sup>3</sup> üretiminden daha büyük önem taşımaktadır. Ancak kalitenin ikinci planda kaldığı birçok kullanım yeri için hızlı büyüyen türlerde daha geniş dikim aralıkları önerilmektedir. Ayrıca türlere göre de dikim aralıklarında büyük farklılıklar söz konusudur. Örneğin çam, meşe ve kayın türleri gibi gençlikten itibaren dallı geniş tepeler oluşturan türler, kaliteli odun üretimi için daha sık dikilirler. Ladin, göknar ve sedir türleri gibi doğal olarak dar tepe gelişimi gösterenler ise daha geniş aralıklı dikilmelidir. Kavak, okaliptüs ve sahil çamı gibi hızlı büyüyen türler ise yine geniş aralıklı dikilirler (Bozkurt ve Erdin 1989b).

#### 1.2.2.2. Aralama Kesimleri

Aralama kesimleri, meşcerede en iyi gelişme gösterecek gövdelerin bakımı, ağaç taçlarının gelişimini ve yıllık halkaların uygun gelişimini sağlamak amacı ile planlı olarak yapılmaktadır. Sıklık çağından sonra gelen aralama kesimleri meşcere gelişme çağlarında uygulanan bakım tedbirleridir. Periyodik aralama kesimlerinin yapılması üretimde artırıcı etki yapmakta ve kapalılık nedeniyle meşcere doğal ölüm kaybından kurtarılmaktadır.

Aralamanın taç gelişimi ve artım hızı üzerine etkisinden başka, bazı odun özellikleri üzerine olumsuz etkisi vardır. Bu olumsuz etkiyi azaltmak için aralama zamanını ve

sayısını iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. İlk yıllarda yapılan aralamalar genç odun oranını artırır. Böylece, düşük yoğunluk ve direnç, kısa lifler ve fazla lignin yüzdesi elde edilmektedir. Bu nedenlerden dolayı aralamanın genç odun oluşumundan sonra yapılması yaşanabilecek problemleri en aza indirecektir (Bozkurt ve Erdin 1989b).

#### 1.2.2.3. Budama

Budama, dikili ağaç gövdesinin belirli bir yüksekliğe kadar mevcut dallarından temizlenmesi için uygulanan silvikültürel bir uygulamadır. Ağaç gövdesinden uzaklaştırılan dalın, gövde üzerinde kalan kısmı ileriki yıllarda odun dokusu tarafından örtülerek kapatılacaktır. Böylece yüksek kalitede budaksız bir gövde oluşumu elde edilecektir. Bu gövde formu, özellikle masif kullanımında ve kaplama levha üretiminde randıman ve direnç özelliklerinin artmasını sağlamaktadır.

#### 1.2.2.4. Gübreleme ve Sulama

Ormancılıkta uygulanan tedbirlerden biride gübreleme ve sulama ile artım hızının yükseltilmesini sağlamaktır. Gübrelemenin amacı, toprakta yetersiz miktarda bulunan besin maddelerini çoğaltarak, yıllık halka genişliğini artırmaktır. Aralama ile meşcerede kalan ağaçlara fazla gıda maddesi, su ve ışık sağlanması mümkün olmakla birlikte gübre kullanımı, topraktaki gıda maddesi miktarını artırmak sureti ile büyümeyi hızlandırmaktır. Böylece taç gelişmekte ve fotosentez yüzdeleri artmaktadır (Haygreen ve Bowyer 1996).

Bazı dağınık traheli ağaçlarda gübrelemeden sonra önemli bir yoğunluk değişimi gözlenmemiştir. Sadece kavaklarda yoğunluk bir miktar azalmıştır. Halkalı traheli ağaçlarda ise aralamalarda olduğu gibi gübreleme ile yoğunluk bir miktar artış göstermektedir. Yoğunlukta hafif bir artış *Quercus falcata* ve *Fraxinus americana* ile yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (Haygreen ve Bowyer 1996, Dünder 2005).

#### 1.2.2.5. Genetik İyileştirmeler

Son yıllarda ormanda üstün büyüme ve iyi şekil gösteren seçkin ağaçlar üzerinde genetik bakımından durulmaktadır. Bu ağaçlardan elde edilen tohumlar, fidanlıkarda yeni bireylerin yetiştirilmesinde kullanılmaktadır. Yapraklı ve iğne yapraklı ağaçlarda genetik seçicilik hızlı büyüyen ağaçlarda gerçekleştirilmekte olup, bu ağaçlardan

normalden daha yüksek yoğunluk, uzun lifler, trahelere oranla yüksek lif oranı, yoğunluğun yeknesak dağılımı, öz odundaki ekstraktif madde miktarı, düşük miktarda lignin ile genç odun oranı ve az dal oluşumu elde edilebilmektedir. Hatta lif kıvrıklığı eğiliminin bile genetik bir özellik olduğu bilinmektedir. Ayrıca genetik yollarla kabuk kalınlığı, kabukta mevcut taş hücreleri ve diğer arzu edilmeyen elemanların oranının azaltılması da mümkün olmaktadır (Bozkurt ve Erdin 1989b).

### 1.3. ISIL İŞLEM TEKNOLOJİSİ

Odun modifikasyonu, odunun özelliklerini geliştiren bir proses olarak tarif edilmektedir (Hill 2006). Esteves ve diğ. (2007a) yüksek sıcaklıkta kurutma ile odunun denge rutubetinin ve genişlemesinin azaldığını ifade etmektedir. Kollmann (1936) sıcak preste, yüksek sıcaklık uygulayarak odunun yoğunluğunu artırmış ve prosese “Lignostone” adı vermiştir. Morsig (2000)’e göre, basınç altında lamine edilmiş benzer bir ürün “Lignifol” adı altında Almanya’da pazarlanmıştır. Seborg ve diğ. (1945) odunu yüksek sıcaklıklarda presleyerek “Staypack” olarak bilinen ürünü elde etmişlerdir (As ve Akbulut, 1989). Stamm ve diğ. (1946) ısı işlem ile odunun boyutsal kararlılığı yüksek, ancak direnç özellikleri düşük bir ürün (Staybwood) bulmuşlardır. Ancak bu ürünlerin hiç biri yüksek kalitede ürünler olmadığından ticari olarak başarılı olamamışlardır (Esteves ve Pereira 2009).

Odunun ısı işlemi ile muamelesi ilk defa Almanya’da 1930’lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafından, 1940’li yıllarda Amerika’da White, 1950’li yıllarda Almanya’da Bavendam, Rundel ve Buro tarafından yapılmıştır. Kollman ve Schnoider’in 1960’li yıllarda ısı işlem üzerine yaptıkları çalışmalar bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından kabul görmüştür (Mayes ve Oksanen 2002). 1970’lerde Rusche ve Burmester yine bu konuda bilimsel olarak çalışmalar yapmışlardır. Bu alanda özellikle 1990’li yıllardan sonra Finlandiya, Fransa ve Hollanda’da bilim adamları çalışmışlardır. Bunun yanında çoğu önemli, teorik ve bilimsel çalışmalar Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından yürütülmüştür. Uygulama ile ilgili araştırmalar çevre teknoloji enstitüsünde (IET) devam etmektedir (Aydemir 2007, Sefil 2010).

Son yıllarda Avrupa pazarında ısı işlem görmüş odunun tanıtılması, farklı yöntemlerin gelişmesine sebep olmuştur. 2001 yılında ısı ile muamele görmüş odunun tahmini üretim kapasitesi 165000 m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak, hücre çeperi bileşenlerinin kimyasal değişimi, odunun fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine inşa edilmiştir (Militz 2002).

Günümüzde ısı işlem görmüş oduna olan ilgi artmaktadır. Boonstra (2008) bu ilginin nedenini, kaliteli ve sağlam kereste üretimindeki azalmalar, yapı endüstrisinde kullanılan oduna olan ihtiyacın artması, özellikle ormanların tahrip edilmesi ve zehirli kimyasal kullanımını kısıtlayan düzenlemelerin hükümetler tarafından desteklenmesi olarak görmektedir.

Isıl işlem uygulamasındaki amaç, odunun rutubet alış verişini azaltarak oduna boyutsal stabilizasyon kazandırmaktır. Ayrıca ağaç malzemenin mantar ve böcek gibi organizmalara karşı biyolojik dayanıklılığını artırmak ve denge rutubet miktarını düşürmektir. Isıl işlem süresince odun renginde değişimler görülür. Oluşan bu ürün farklı rutubet ortamlarında normal odundan daha kararlı ve termal iletkenliği çok iyidir. Eğer yeterli sıcaklıklarda muamele edilirse ağaç malzemenin çürümeye karşı direnci ciddi oranlarda artmaktadır. Isıl işlem süresince biyolojik direnç ve kararlılık artarken özellikle 200°C'den sonra mekaniksel özelliklerde ciddi düşüşler meydana gelmektedir (Karakaş 2008).

### **1.3.1. Avrupa'da Uygulanan Isıl İşlem Yöntemleri**

Yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısı işlemlerin, odun özelliklerinde değişiklikler meydana getirdiği uzun zamandan beri bilinmektedir. Fakat termal olarak modifiye edilmiş odunun, endüstriyel olarak uygulanabilirliği ile ilgili Avrupa'da son birkaç yıldır bazı gelişmeler olmuştur. Isıl işlem teknolojisi, ticari olarak 5 farklı yöntem kullanılarak uygulanmaktadır. Bunlar; Finlandiya'da-ThermoWood (Viitanen ve diğ. 1994, Jamsa ve Viitaniemi 2001, Syrjanen ve diğ. 2000), Hollanda'da-Plato Wood (Tjeerdsma ve diğ. 1998a, Militz ve Tjeerdsma 2000), Fransa'da iki farklı yöntem, Bois Perdue ve Rectification (Dirol ve Guyonnet 1993, Vernois 2000) ve Almanya'da ise Oil Heat Treatment (Rapp ve Sailer 2000, Rapp ve diğ. 2000) yöntemleridir. Yukarıda belirtilen ısı işlem yöntemlerinde kullanılan sıcaklık derecesi 160-260°C arasında

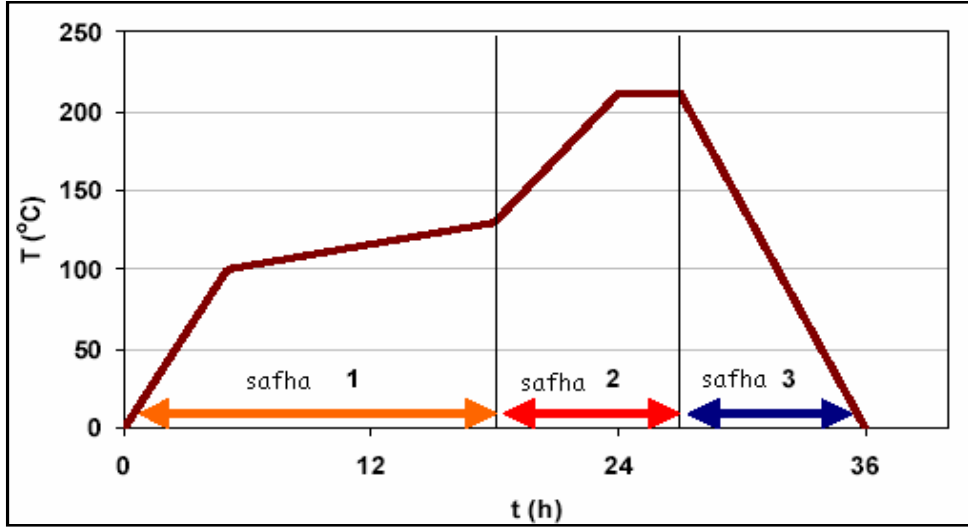
değişmektedir. Daha sonraları yeni ısıtım işlemler, Danimarka (WTT) ve Avusturya (Huber Holz) gibi ülkelerde de kurulmuştur. Genel olarak yöntemler arasındaki ana farklılıklar, proses adımları, inert gaz olarak buharı, yağ, oksijen veya nitrojen uygulaması, kuru veya rutubetli kereste kullanımı, ısıtım işlemler sıcaklığı ve süresidir (Militz 2002).

#### *1.3.1.1. ThermoWood Metodu*

Ağaç malzemeler üzerine yüksek sıcaklıkların uygulanması, Finlandiya başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan ısıtım işlemler yöntemi, VTT tarafından geliştirilen ThermoWood yöntemidir.

Viitaniemi ve diğ. (1997) tarafından patenti alınan yöntem Avrupa’da başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Boonstra (2008) göre, 2007 yılında ısıtım işlemler görmüş kerestenin toplam üretim miktarının 130800 m<sup>3</sup> olduğunu, bu üretimin yaklaşık %90’ının ise ThermoWood yöntemi ile elde edilmiştir. Yöntem, atmosferik basınç altında, yüksek sıcaklıktaki su buharı ortamında uygulanmaktadır. Oksijen oranının %3-5’den daha az ve hava hızının en az 10 m/sn olması gerekmektedir (Syrjanen ve Kangas 2000). İlk fabrika 1997 yılında Finlandiya’da (Mantta) kurulmasına rağmen 2001 yılının sonlarında fabrika sayısı 7’ye, 2004’te ise 12’ye ulaşmıştır. Günümüzde bu ısıtım işlemler teknolojisi, Kanada’nın Quebec şehrinde Ohlin Thermo Tech. firması tarafından pazara sunulmaktadır (Shi ve diğ. 2007). Bu yöntem, ahşap malzeme üzerinde üç aşamada uygulanmaktadır (Şekil 1.3).

İlk safha yüksek sıcaklıkta kurutma olarak ifade edilmektedir. Şekil 1.3’te de görüldüğü gibi en fazla zaman alan aşamadır. Başarılı bir kurutmada iç çatlamaların olmaması önemlidir. Sıcaklık artırılarak su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta kurutma yapılır. Burada önce fırının sıcaklığı hızla 100°C’ye çıkarılır, daha sonra yavaşça 130°C’ye kadar yükseltilir. Aynı zamanda ahşapta çatlakları önlemek için ortama su buharı verilir. Bu safhada odunun rutubeti hemen hemen sıfıra indirilir (Shi ve diğ. 2007). Odun yüksek sıcaklıklarda elastik özellik kazanması sonucu geleneksel fırında kurutma yöntemine nazaran daha iyi deformasyon mukavemeti gösterir.



Şekil 1.3. ThermoWood üretim diyagramı (Anonim 2003a).

İkinci safha ısıtım işlemi olarak bilinir. Bu aşamada fırının sıcaklığı, ısıtım işlemi görmüş ağaç malzemenin kullanım yerine bağlı olarak hızlı bir şekilde 185-215°C'ye çıkarılır. Yanmayı önlemek için ortama koruyucu gaz olarak su buharı verilir. Isıtım işlemi kademesi yaklaşık 2-3 saat sürmektedir. Bu süre, Syrjanen ve Kangas (2000)'e göre 150-240°C'de 0,5-4 saat arasında gerçekleşmektedir (Esteves ve Pereira 2009).

Son safha ise soğutma ve kodisyonlama olarak belirtilmektedir. Bu aşamada amaç, fırın içerisinde yüksek bir sıcaklığa ulaşmış olan ağaç malzemenin, soğuk olan dış ortamdan etkilenerek çatlamasının önlenmesidir. Ortamın sıcaklığı, su püskürtme sistemleri yardımı ile 80-90°C'ye kontrollü olarak düşürülür. Bu aşama sonunda ağaç malzemenin rutubet içeriği %4-7 arasında değişir (Aydemir 2007, Shi ve diğ. 2007).

Bu metod İYA ve YA türleri için uygun olmasına karşın, proses her bir ağaç türü için en uygun şartlar ayrı ayrı belirlenmelidir. İlk safhada yüksek sıcaklıkta kurutma, ısıtım işlemi süresince kullanılan enerjinin %80'ine karşılık gelmektedir. Bu kullanılan enerji klasik kereste kurutma prosesinde kullanılan enerjinin sadece %25'ini oluşturmaktadır. Ayrıca ısıtım işlemi yönteminde hiçbir kimyasal gerektirmeyip sadece su ve ısı enerjisi kullanılmaktadır (Mayes ve Oksanen 2002).

İğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinin anatomik yapılarının farklı olması nedeni ile ThermoWood programları da farklı uygulanmaktadır. Isıtım işlemi prosesi (ThermoWood)

ağaç türlerine göre iki ayrı grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar: Thermo-S ve Thermo-D'dir.

Thermo-S; S (stability) harfi kararlılık anlamına gelmektedir. Kararlılık bu tür ısıtım işlem ürünlerinin son kullanım yerinde çok önemlidir. Rutubet nedeniyle, bu sınıfta muamele görmüş odunların teğet yöndeki ortalama daralma ve genişleme miktarı %6-8 arasındadır. Thermo-S ürünleri, EN 311 standardına göre "genellikle sağlam" kalite sınıfına girmektedirler. Bu yöntemde ısıtım sıcaklığı YA'larda  $185\pm 3^{\circ}\text{C}$ , İYA'larda ise  $190\pm 3^{\circ}\text{C}$  uygulanmaktadır. İYA ve YA'lar için Thermo-S ve Thermo-D kullanım yerleri Çizelge 1.1 ve 1.2'de verilmiştir (Mayes ve Oksanen 2002).

Thermo-D; D (durability) harfi dayanıklılık manasına gelmektedir. Bu ürünlerin karakteristik özellikleri biyolojik zararlılara karşı dayanıklılığının yüksek olmasıdır. Rutubet nedeniyle bu sınıfta muamele görmüş odunların teğet yöndeki ortalama daralma ve genişleme miktarı %5-6 dolaylarındadır.

**Çizelge 1.1.** Thermo-S kullanım alanları.

Thermo-S Yumuşak Ağaç	Thermo-S Sert Ağaç
<ul style="list-style-type: none"><li>• Yapı malzemeleri</li><li>• İç Mekân Mobilyaları</li><li>• İç Cephe Kaplamaları</li><li>• Mutfak ve Elbise Dolapları</li><li>• Bahçe Mobilyası</li><li>• Sauna ve Sauna Elamanları</li><li>• Kapı ve Pencere malzemeleri</li><li>• Dış Cephe Kaplamaları</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• İç Cephe Kaplamaları</li><li>• İç Mekân Mobilyaları</li><li>• Bahçe Mobilyaları</li><li>• Yer Kaplamaları ( Parke )</li><li>• Sauna ve Sauna Elamanları</li></ul>

Thermo-D ürünleri, EN 311 standardına göre ise "sağlam" kalite sınıfına girmektedirler (Mayes ve Oksanen 2002). Bu yöntemde ısıtım sıcaklığı YA'larda  $200 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , İYA'larda ise  $212 \pm 3^{\circ}\text{C}$  uygulanmaktadır (Aydemir 2007).

ThermoWood ile muamele görmüş odun, dış cephe kaplamaları, kapı ve pencere doğramaları, bahçe mobilyaları ve havuz kenarı döşemeleri gibi dış uygulamalarda önemli bir pazara sahiptir. Aynı zamanda ısıtım işlem görmüş odun, yer döşemeleri, panel kaplama, mutfak mobilyası, banyo ve saunanın iç bölümleri gibi uygulama alanlarında da kullanılmaktadır. Ancak direnç özelliklerinde meydana gelen kayıplar nedeniyle ısıtım



işlem görmüş odunun yük taşıyıcı yerlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir (Şahin Kol ve diğ. 2009).

Çizelge 1.2. Thermo-D kullanım alanları.

Thermo-D Yumuşak Ağaç	Thermo-D Sert Ağaç
<ul style="list-style-type: none"><li>• Dış Cephe Kaplaması</li><li>• İç ve Dış Kapı</li><li>• Pencere ve Pencere panjurları</li><li>• Park ve Bahçe Mobilyaları</li><li>• Sauna ve Sauna Elamanları</li><li>• Yer Kaplamaları ( Parke )</li><li>• Bahçe Elemanları ( Bahçe Çitleri )</li><li>• Havuz ve Bahçe Deckleri</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• İç Cephe Kaplamaları</li><li>• İç Mekân Mobilyaları</li><li>• Bahçe Mobilyaları</li><li>• Yer Kaplamaları ( Parke )</li><li>• Sauna ve Sauna Elamanları</li></ul>

Günümüzde üretici firmalar, ısı işlem görmüş odunun sınıflandırılması ve kalite kontrolü üzerine araştırma projelerinde işbirliği yapmaktadırlar (Rapp ve Sailer 2001).

#### 1.3.1.2. Plato Wood Metodu

Bu yöntem, genellikle ara bir kurutma işlemi ile birlikte iki aşamada gerçekleşmektedir. Hidrotermoliz olarak tanımlanan prosesin ilk aşamasında, rutubetli veya hava kurusu odun, 160-190°C’de ve artan basınç altında 4-5 saat boyunca ısı işlem uygulanır. Kurutma aşamasında ısı işlem görmüş oduna 3-5 gün boyunca konvansiyonel kurutma uygulanarak rutubeti %10’a düşürülür. İkinci aşamada, odun 14-16 saat boyunca 170-190°C’de tekrar ısıtılır. Daha sonra 2-3 gün boyunca denkleştirme periyodu uygulanır. Proses zamanı kullanılan odun türüne, kalınlığına ve şekline bağlıdır (Militz 2002, Elyıldırım 2008).

#### 1.3.1.3. Bois Perdure ve Rectification Metotları

Bois Perdure yöntemi, BCI-MBS şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu metotta taze haldeki keresteler ısı işleme tabi tutulmaktadır. Öncelikli olarak keresteler kurutulmakta daha sonra doymuş su buharı atmosferi altında 200-240°C’de ısı işlem uygulanmaktadır. (Vernois 2000, Elyıldırım 2008).

Rectification yöntemi, Ecole des Mines de Saint-Etienne tarafından geliştirilen ve New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan bir metottur. Ahşap önce % 12 rutubete

kadar kurutulmakta daha sonra % 2'den daha az oksijenin bulunduğu inert nitrojen gazı içeren atmosfer şartlarında ısıtma işlemi tabii tutulmaktadır. Isıtma işlem sıcaklığı 210-240°C'dir (Vernois 2000, Elyıldırım 2008).

#### *1.3.1.4. Sıcak Yağ ile Muamele (OHT)Metodu*

Isıtma işlemi genellikle 180-260°C sıcaklıklar arasında inert bir gaz ortamında gerçekleştirilir. Birçok doğal yağ ve reçinenin kaynama sıcaklığı, oduna uygulanacak olan ısıtma işlem sıcaklığından daha yüksektir. Bu durumda sıcak yağ banyosunda odunun ısıtma işlemi tabii tutulmasına olanak sağlamaktadır. Yağlı ısıtma işlem uygulamalarında odunun bazı özelliklerinde iyileşmeler olmaktadır (Rapp ve Sailer 2001).

Bu süreçte ısıtma işlemi 3 safhada gerçekleştirilmektedir. Birinci safha ısıtma ve kurutma safhası olup sıcaklık 60°C'den 160-200°C'ye kadar çıkmaktadır. İkinci safhada ahşabın kalınlığının orta noktası maksimum sıcaklığa ulaştığında asıl ısıtma işlemi başlatılmaktadır. Üçüncü safhada ise soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir (Elyıldırım 2008).

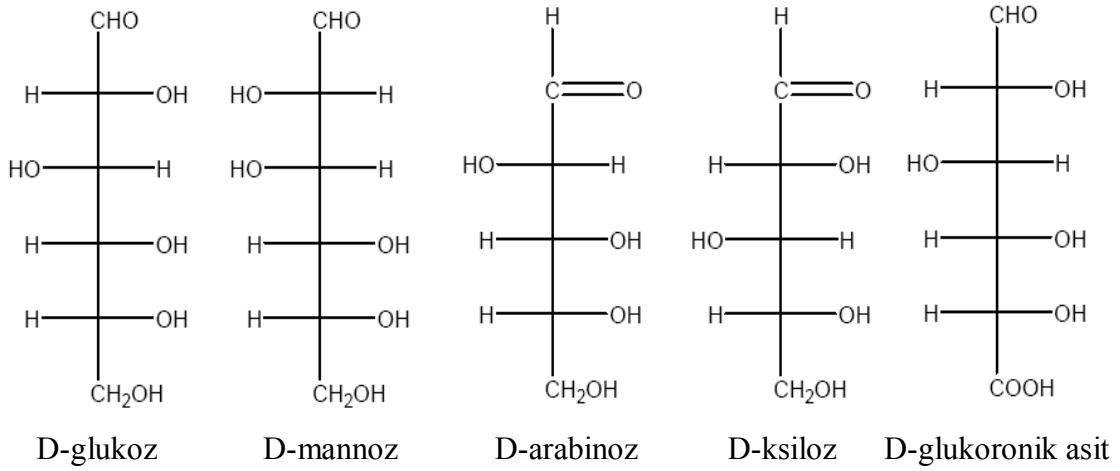
Isıtma işlemi kapalı bir tankta uygulanır. Odunun tanka yerleştirilmesinden sonra ortama stok tankından sıcak yağ pompalanır. Bu yağ odun etrafında sirkülasyonu sağlanarak kapalı tankın sıcaklığının yüksek olmasını sağlar. Isıtma işlemi sonunda tank boşaltılmadan önce sıcak yağ tekrar stok tankına geri pompalanır. En yüksek dayanıklılık ve en düşük yağ tüketimi için ısıtma işlem sıcaklığının 220°C'de olması gerekir.

## **1.4. ISITMA İŞLEMİNİN ODUN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

### **1.4.1. Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi**

Odun hücre çeperi bileşenlerini lignin ve holoselüloz (polisakkaritler) oluşturur. Yan bileşenleri ise ekstraktif maddeler (reçine ve yağlar) ile inorganik pektik ve proteinimsi maddelerdir. Odunun nötral çözücülerde ve soğuk suda çözünebilen veya su buharıyla uçucu duruma gelebilen bileşenlerine ekstraktif maddeler denir. Ekstraktiflerinden arınmış odun lignin ve polisakkaritlerden oluşur. Polisakkaritler, selüloz ile birlikte nonselülozik polisakkaritleri (hemiselüloz) içermektedir. Odun polisakkaritlerinin komple hidrolizi ile D-glukoz, D-mannoz, D-arabinoz, D-ksiloz ve D-galaktoz meydana

gelir (Şekil 1.4). Bunların dışında üronik asitler ve metoksi üronik asitler oluşur (Deniz 2013).

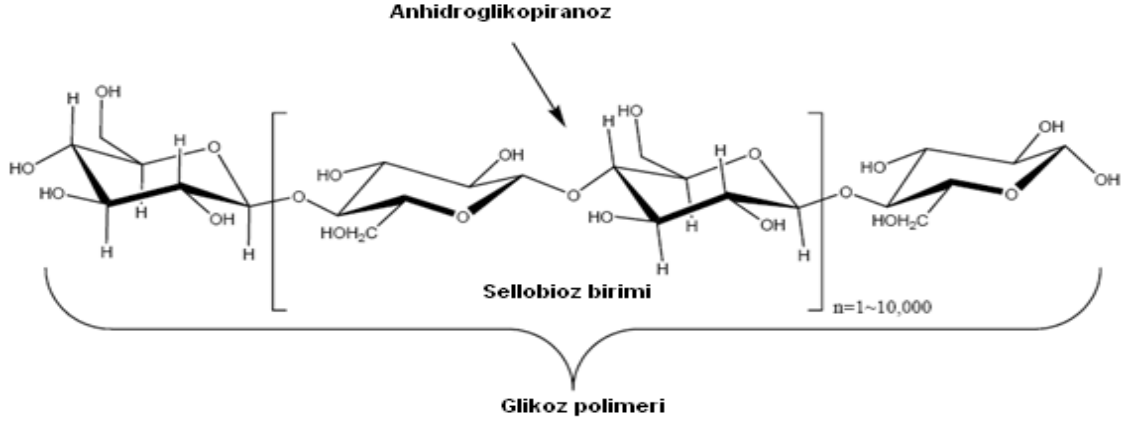


**Şekil 1.4.** Hemiselülozların kimyasal bileşimi (Hu ve diğ. 2008, Deniz 2013).

Selüloz odunun %40–45’ini oluşturmaktadır. Selüloz molekülünün yapı taşları glukoz anhidrit birimleridir. Bu birimler 1,4- $\beta$ -glukozidik bağlarla birbirlerine bağlanarak selüloz molekülünü oluştururlar. Doğal selüloz molekülünde yapı taşlarının sayısı (DP) 7000-10000 arasında değişmektedir (Şekil 1.5, Johansson 2008).

Hemiselülozlar tüm odun türlerinde kuru ağırlığın %25-35’ini oluştururlar. İYA’ların hemiselüloz bileşimi YA’lardan farklıdır. Hemiselüloz, polimerizasyon derecesi 150-200 arasında olan kısa bir polimerdir. Isıl işlem boyunca her iki polimerde de değişim olmakla beraber ve yüksek oksijen içerikli, kısa zincirli, amorf yapıda, hidrojen bağları az (Deniz 2013) hemiselülozda ciddi oranda kayıplar meydana gelmektedir.

Odun ısıtıldığında meydana gelen değişikliklerin açıklanmasında bir takım zorluklar vardır. Ekzotermik ve endotermik reaksiyonların birleşimi olarak eş zamanlı bir dizi reaksiyon meydana gelmektedir. Bu reaksiyonların başlangıç sıcaklıklarının belirlenmesi neredeyse imkânsızdır.



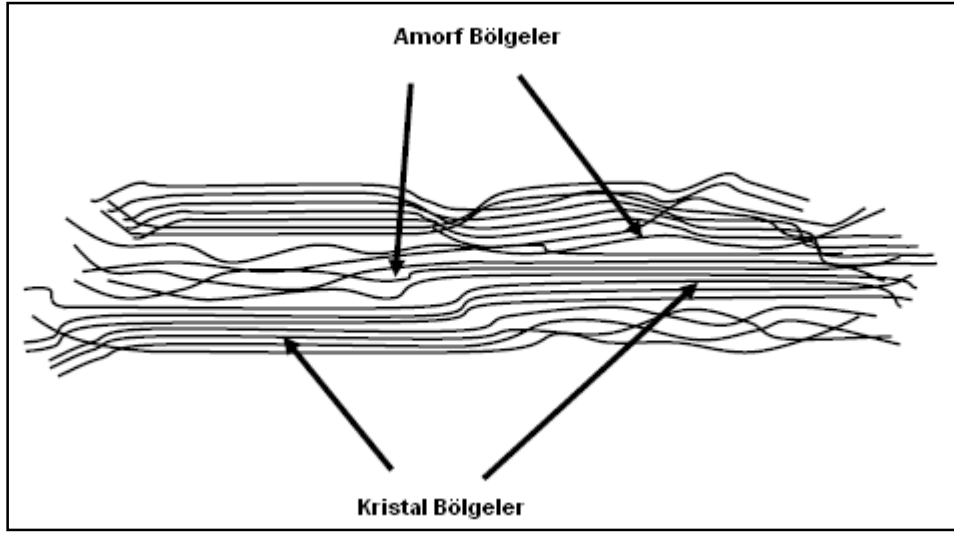
**Şekil 1.5.** Selülozun kimyasal yapısı (Hu ve diğ. 2008).

Farklı odun bileşenlerinde meydana gelen reaksiyonlar arasındaki ilişkinin açıklanması daha karmaşıktır. Bu manada, odun bileşenlerinden birinin izole edilerek analiz edilmesi, odun içerisinde meydana gelen reaksiyonların açıklanmasında yardımcı olabilir. Odun hücre çeperi bileşenleri arasındaki ilişkinin yanında, odun ile ısı işlem ortamı arasındaki ilişkinin de bilinmesi gerekmektedir.

Isıl işlemin etkisi, gerçekleştiği ortamdaki su ve oksijenin varlığına bağlıdır. Isıl işlem ortamında oksijenin olması, oksidatif reaksiyonların hızlanmasına neden olur. Bu reaksiyonlar ısı işlemi, su buharı, nitrojen ve yağ gibi ılımlı bir ortamda gerçekleşmesini engeller. İlimli bir ortam oluşturmak için su buharı kullanmak, ucuz ve etkili bir yoldur. Üstelik su buharı, ısı işlem esnasında meydana gelen reaksiyonları da etkilemektedir (Johansson 2008). Oksijen veya rutubetin bulunduğu bir sistemde termal bozunma çok daha fazla olmaktadır.

Sıcaklığın 140°C'nin üzerine çıkması ile suyun yapı taşı olarak adlandırılan dehidrasyon reaksiyonlarının oluşumu başlar. OH içeriğinde düşüşler meydana gelir ve sıcaklığın artmasıyla bu durum daha fazla önem kazanır. Sıcaklık artarken CO ve CO<sub>2</sub>, oluşan gazlar içerisinde belirlenmiştir (Bourgois ve diğ. 1991). Isıl işlem sıcaklığının 270°C'ye çıkması ile ekzotermik reaksiyonlar meydana gelmekte ve reaksiyon hızlarında önemli değişimler olmaktadır.

Odun hücre çeperi bileşenleri içinde selüloz, büyük oranda kristalin bir yapı gösterirken, hemiselüloz ve lignin ise amorf bir yapı sergilemektedir (Şekil 1.6). Isıl işlem esnasında kristal yapıların aksine amorf yapılar daha fazla etkilenmektedir. Çünkü bu yapılarda hidrojen bağları az olduğundan kolaylıkla hidrolize olurlar (Deniz 2013). Kimyasal yapı içerisinde en çok etkilenen hücre çeperi bileşenleri sırası ile hemiselüloz, selüloz ve lignindir. Yıldız ve Gümüşkaya (2007) ortam şartlarına bağlı olarak selülozun kristallik derecesinde, 200°C gibi yüksek sıcaklıklarda dahi herhangi bir değişiklik meydana gelmediğini ifade etmişlerdir.

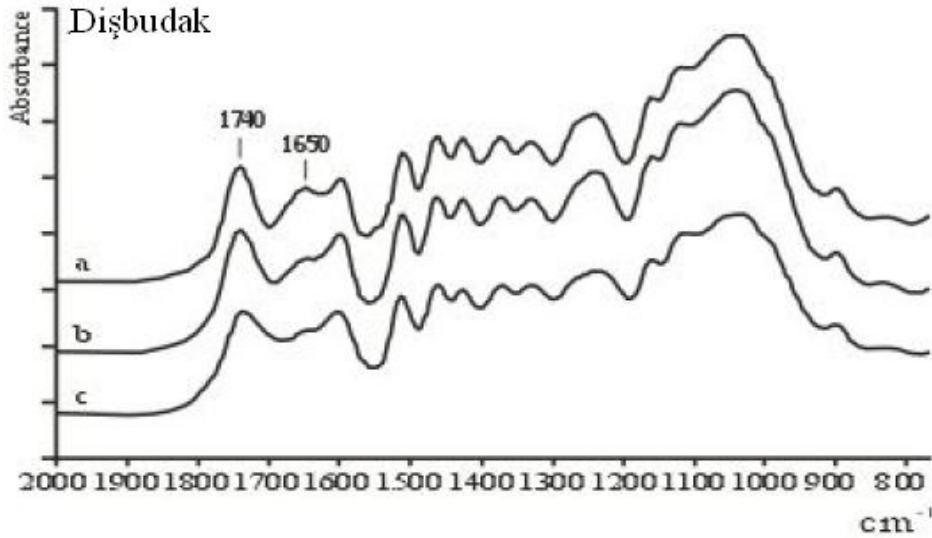


**Şekil 1.6.** Selüloza ait kristal ve amorf bölgeler (Hu ve diğ. 2008, Deniz 2013).

Isıl işlem odunun kimyasal özelliklerini değiştirmekte ve bozunmalar hemiselüloz ile başlamaktadır. Lignin yumuşamakta, selülozda ve suyu bağlayabilen gruplarda (OH grupları) değişiklikler olmaktadır (Bekhta ve Niemz 2003). Bunun sonucu olarak yüksek sıcaklıklarda, geleneksel kurutulmuş odunun aksine, bünyesine su alabilme kapasitesinde azalmalar meydana gelmektedir (Kocaefe ve diğ. 2007a, Deniz 2013). Bütün bu değişiklikler, herhangi bir kimyasal madde kullanılmadan ısıl işlem ile gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle ısıl işlem görmüş odun, emprenye edilmiş oduna alternatif ve çevre dostu bir materyal olarak görülmektedir (Kamdem ve diğ. 2000, Gündüz ve diğ. 2008).

Miklečić ve diğ. (2011) tarafından, ısıtma işlemi ve UV ışığına maruz kalmış farklı yapraklı (dişbudak, kayın, gürgen) odun türlerinin yüzey FTIR spektrumları alınmıştır. Isıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış odun örneklerinin yüzeylerine ait IR spektrum analizlerinin karşılaştırılması, örnekler arasında önemli kimyasal farklılıkların olduğunu göstermiştir. Bütün örneklerin FTIR spektrumları sonucunda ana yapıların aynı olduğu bulunmuştur. Özellikle kuvvetli bir hidrojen bağı O-H gerilim absorpsiyonu, 3300-4000  $\text{cm}^{-1}$  ve C-H gerilim absorpsiyonu ise 2800-3000  $\text{cm}^{-1}$ 'de elde edilmiştir. Odun polisakkaritleri (selüloz ve hemiselüloz) ve lignininden kaynaklanan çeşitli fonksiyonel gruplar nedeni ile 750-2000  $\text{cm}^{-1}$  (parmak izi bölgesi) de çok keskin ve ayırt edici pikler bulunmuştur.

Şekil 1.7'de kontrol ve ısıtma işlemi uğratılmış (190 ve 212°C) dişbudak ağacına ait FTIR spektrumları gösterilmiştir. Spektrumda en önemli absorpsiyon pikleri 1740  $\text{cm}^{-1}$ 'de karbonil grubuna bağlanmış esterler gözlemlenmiştir. Karbonil pikleri, kontrol örneklerinde test örneklerine göre daha yoğun bulunmuştur (Miklečić ve diğ. 2011).



**Şekil 1.7.** Isıtma işlemi uğratılmış farklı ağaç türlerine ait FTIR spektrumları; a: kontrol, b: 190°C, c: 210°C (Miklečić ve diğ. 2011).

Yapılan bir araştırmada, inert bir gaz ortamında 240°C'de ısıtma işlemi maruz bırakılan kayın ve kavak odunlarının kimyasal yapılarında meydana gelen değişiklikler, FTIR ve  $^{13}\text{C}$ -NMR analizleri ile incelenmiştir. Analizler sonucu FTIR spektarı, karbon karbon çift bağı oluşumuna ya da su adsorpsiyonuna dayandırılabilir küçük yapısal

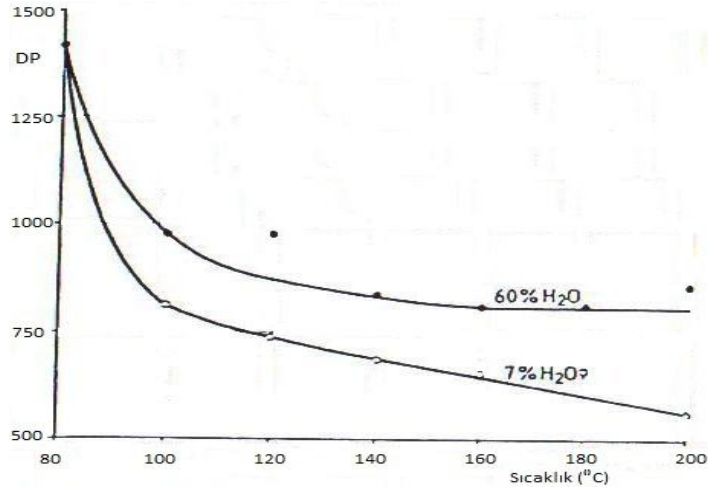
değişiklikleri göstermiştir. NMR analizleri selülozun çok yüksek kristallilik derecesinin yanında, odun yapısında küçük bir kimyasal değişikliğin meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu durum, daha yüksek temas açısıyla da açıklanabilir (Petrisans ve diğ. 2003).

#### *1.4.1.1. Selüloz*

Selülozun termal degradasyonundaki ilk adım, alkalide çözünebilir bileşikler meydana getiren makro moleküllerdeki kopmalardır. Ön bir ısıl işleme tutulmuş ladin odunundan izole edilen selülozun polimerizasyon derecesi 120°C'ye kadar sabit kalmış, artan sıcaklıkla birlikte ise hızlı bir azalma meydana gelmiştir (Yıldız 2002). Selülozun parçalanma reaksiyonları 210-220°C sıcaklıklarda başlar. Sıcaklığın 270°C'ye ulaşması ile selülozun parçalanma reaksiyonları yoğunlaşmaktadır.

İzole edilen selülozun (ağartılmış sülfite hamuru) yalnız 20 dakikalık bir ısıl işleme tutulması ile birlikte 100°C'de bile polimerizasyon derecesinde azalmalar görülmüştür. Selülozun bozunma derecesi örneğin su içeriğinden etkilenmektedir (Şekil 1.8). 200°C'de ısıl işlem sonrası, başlangıç rutubet içeriği yüksek (%60) olan bir selüloz örneğinin polimerizasyon derecesi, rutubet içeriği düşük (%7) selülozdan 200 birim daha yüksek bulunmuştur.

160°C'ye kadar farklı sıcaklıklarda ısıtılan pamuğun, %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile hidrolizi esnasında selülozun amorf bölgelerinde bir artışa sebep olduğu belirlenmiştir. Gergin sentetik liflerin 200°C'de su buharı ile yumuşatılması esnasında selülozun kristalleşmesinde bir büyüme ve kristallik derecesinde bir artış meydana gelmektedir (Fengel ve Wegener 1989). Kristal selülozun 300°C'nin üzerinde bozunmaya başlaması nedeniyle odunun ısıl işlemi esnasında selülozun bozunması büyük bir problem oluşturmamaktadır (Kim ve diğ. 2001). Fengel ve Wegener (1989)'e göre selülozun polimerizasyon derecesi (DP), 120°C'nin üzerinde (izole edilmiş selüloz da 100°C'nin üzerinde) düşmektedir. DP'deki azalma, zincirin kopması (glukozidik bağların ayrılması) nedeniyledir. Ortamdaki asitler, bağlarla reaksiyona girerek zincirin koparılmasını hızlandırır.



**Şekil 1.8.** Isıl işlem sonrası farklı rutubet miktarlarına sahip selülozun polimerizasyon derecesindeki değişim (Fengel ve Wegener 1989).

Sundqvist ve diğ. (2006) viskozite ölçümleri yaparak ısıl işlem görmüş odun selülozunun molekül boyutunu belirlemiştir. Sonuç olarak ısıl işlemin, selülozun molekül büyüklüğünde dikkate değer bir düşüşe sebep olduğunu tespit etmiştir. Aynı zamanda 180°C'deki hidrotermal muameleler esnasında, yüksek PH değerine sahip tampon çözeltiler kullanılarak viskozite düşüşlerinin geciktirilebileceği ifade edilmektedir.

Selülozun termal bozunması sırasında sadece zincir şeklindeki moleküler yapının kopması değil, aynı zamanda dehidrasyon ve oksidasyon reaksiyonları da meydana gelir. Zincir kopması ve dehidrasyon başlangıç reaksiyonu olup, oksidasyon ise bu reaksiyonları izleyen birincil reaksiyondur. Hidroksil gruplarının oksidasyonuna sebep olan hava ortamındaki ısıl işlem, karbonil ve karboksil grupları selülozda zincir kopmalarına neden olmaktadır (Deniz 2013). Ortam sıcaklığı, her iki reaksiyonun oranını belirlemektedir. Yapılan bir çalışmada sararma eğilimi ile aldehit grupların içeriği arasında bir korelasyonun olduğu belirtilmektedir. Sentetik liflerle yapılan çalışmada karbonil gruplarının ısı formasyonu 17 kJ/mol, sararan bileşiklerin ise 92 kJ/mol olarak tespit edilmiştir (Fengel ve Wegener 1989).

Termogravimetrik analizlerin sonucu, selülozdaki ağırlık kaybı 100°C'de ilk olarak adsorblanan suyun uzaklaşması ile başlamaktadır. Bu kayıplar genellikle 100-300°C aralığında çok düşük olmaktadır. Sıcaklığın 200°C'nin üzerine çıkması ile selülozun



bozunması ve buharlaşan ürünlerin oluşumu meydana gelmektedir. Ağırlık kaybı 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda artmakta ve 400°C'de kuru ağırlığa oranla odun maddesinin %80'den fazlası buharlaşmaktadır. Diferansiyel termogravimetrik analizlere göre en fazla ağırlık kaybı 325-400°C sıcaklıklar arasında meydana gelmektedir (Yıldız 2002, Deniz 2013).

Piranoz halkalarının kopması ile oluşan düşük moleküllü bileşikler (glikolaldehit, glioksal, akrolein vb) gibi anhidroglukoz, furan ve furan bileşiklerinin oluşumu için çeşitli yollar ortaya konulmuştur (Yıldız 2002).

#### *1.4.1.2. Hemiselüloz*

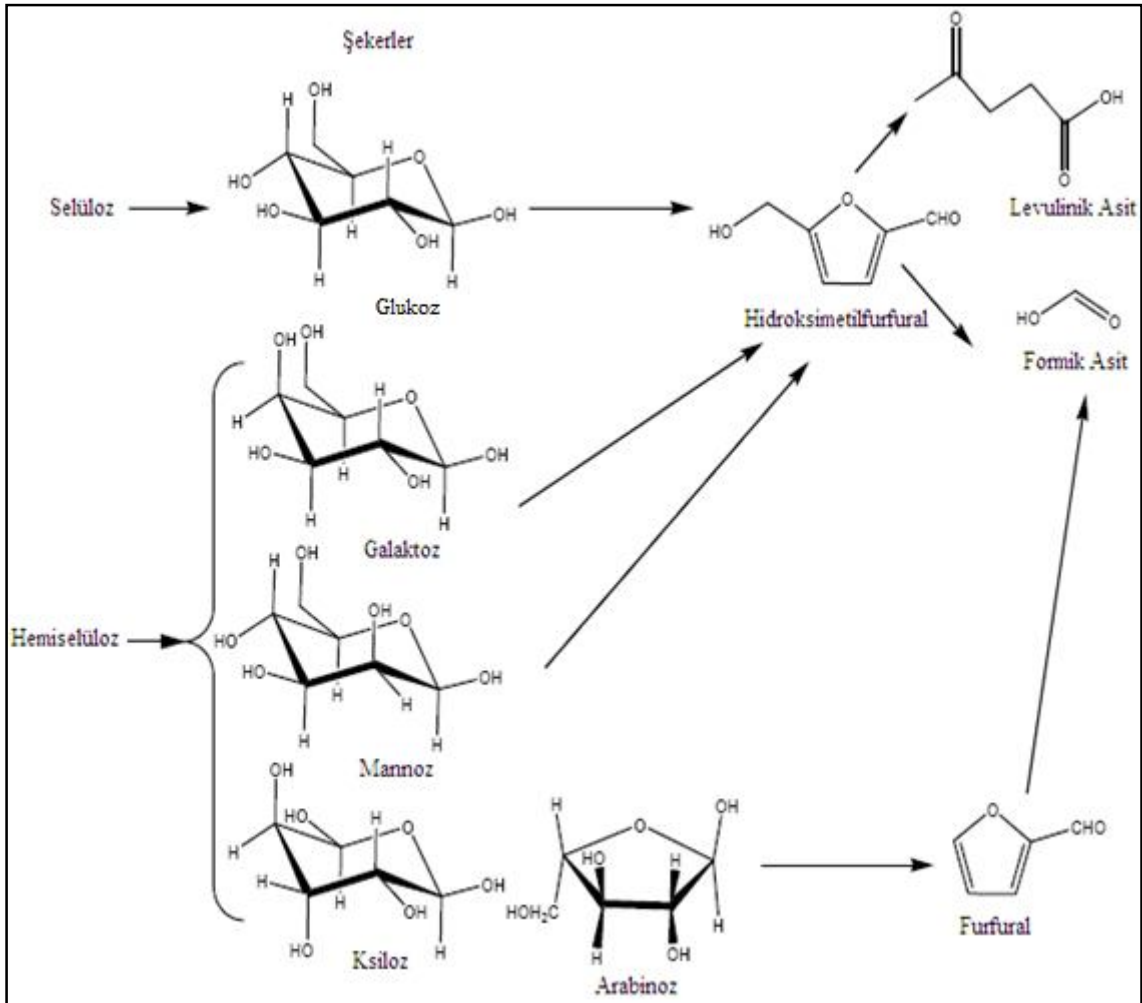
Hemiselülozlar ısıya karşı çok hassas odun hücre çeperi bileşeni olup, üstelik su ile reaksiyona girebilen (hidrofilik) bir özellik göstermektedir. Hemiselülozların bozunması, genellikle su moleküllerini bağlayacak bölgeleri (OH bağlarının) daha az bulundurması olarak ifade edilmektedir.

Asidik ortamlarda karbonhidratlar kolaylıkla bozularak furfural ve 5-hidroksimetil furfural'a dönüşürler. Reaksiyonların ilerlemesi ile furan türevleri asetik asit ve levunilik asit gibi organik ürünlere dönüşecektir. Karbonhidratların olası bozunma reaksiyonları Şekil 1.9'da gösterilmiştir (Hu ve diğ. 2008, Deniz 2013).

Hücre duvarına bağlı suyun 150°C'nin altındaki sıcaklıklarda buharlaşması, endotermik reaksiyonlar sonucu enerjinin büyük bir kısmının tüketilmesine neden olmaktadır (Fengel ve Wegener 1989). Odun özelliklerinin kısa sürede geliştirilmesi için ısı işlem en az 170°C'de gerçekleştirilmektedir. Stamm (1964)'a göre dehidrasyon, sadece higroskopisitenin düşürülmesi ile değil aynı zamanda bozunmuş karbonhidratlardan oluşmuş furfural polimerlerinin varlığı ile de açıklanabilir.

Odun hemiselülozlarından ksilan, diğer şeker birimlerine göre çok reaktif olup, genellikle bozunma ve dehidrasyon (suyun eliminasyonu) reaksiyonlarına karşı son derece hassastır (Alen ve diğ. 2002, Esteves ve diğ. 2007a). Yapraklı ağaçlarda ksilan, selülozdan sonra buharlaşan bozunma ürünlerinin en önemli kaynağıdır. Reaktif oluşu nedeni ile ksilan, piroliz reaksiyonlarının başlamasında önemli bir etkiye sahiptir.

Buharlaşan ürünler esas olarak furfural ve asetaldehittir. Reaksiyon ürünlerinin kompozisyonu büyük oranda uygulanan ısıl işlem şartlarına bağlıdır (Yıldız 2002).



**Şekil 1.9.** Lignoselülozik materyallerin hidrolizi esnasında karbonhidratlarda meydana gelen reaksiyonlar (Hu ve diğ. 2008).

Hemiselülozların bozunması ile asetik asit, metanol ve uçucu heterosiklik bileşikler gibi bozunma ürünleri meydana gelmektedir. Asetik asit, hemiselüloz zincirlerindeki asetillenmiş hidroksil gruplarının koparılması ile oluşur (Sundqvist 2004, Deniz 2013). Isıl işlem sıcaklığı ve süresinin artması ile hemiselülozların bozunma reaksiyonları da artar. Hemiselülozların bozunması odunun kristalizesini artırıcı bir etki gösterir.

Hemiselülozlardaki kayıplar, şeker hidrolizinin artması ile oluşan asidik buhardan dolayı kapalı sistemlerde çok daha hızlı gerçekleşir. Odunun farklı termal analiz (DTA)

sonuçları, hücre duvarındaki bağlı suyun buharlaşması nedeni ile 90°C'den 150°C kadar uzayan geniş bir endoterm reaksiyonların olduğunu göstermiştir. Daha sonra hücre çeperi polimerik bileşenlerinin 200°C'de bozunması ile ekzotermik pikler gözlenmiştir (Fengel ve Wegener 1989).

Yapılan bir araştırmada termogravimetrik analiz (TGA) uygulanarak izole edilmiş hemiselülozun nitrojen ve hava ortamında ısıl bozunması araştırılmıştır. Isıl işlem nedeni ile oluşan %10'luk ağırlık kaybının olduğu 200°C sıcaklıklarda İYA ve YA'ların hemiselülozları karşılaştırıldığında, İYA hemiselülozunun termal muameleye karşı daha dirençli ve hemiselülozların bozunması oksijenli ortamda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Nitrojen atmosferi altında DTA kullanımı, İYA ksilanında ekzotermik reaksiyonların 180°C'de başladığını göstermiştir. Fakat glukomannanın ilk ekzotermik reaksiyonlarının başlaması ise daha yüksek sıcaklıklarda olduğu görülmüştür (Beall 1969).

Hemiselülozun, oligosakkaritlere ve monosakkaritlere parçalanması sonucunda furfural (pentozlar) ve hidroksimetilfurfural (heksozlar) oluşmaktadır. YA'ların termal kararlılığı İYA'lardan daha düşüktür (Fengel ve Wegener 1989). İzole edilmiş kayın ksilanı, 117°C'de, çam glukomannanı ise 127°C'de bozduğunu belirtilmektedir. YA hemiselülozlarındaki pentozan oranının yüksek olması, düşük termal kararlılığın sebebi olarak ifade edilmektedir. Çünkü pentozanlar, heksozlara göre daha fazla reaksiyona girmeye eğilimlidirler (Johansson 2008). Ayrıca YA hemiselülozları İYA'lara göre daha fazla asetil grubuna sahiptirler.

Kosik ve diğ. (1969) artan sıcaklıklarda (150-230°C) kayın odununun oksijen tüketimi üzerine çalışmışlardır. 4-O-metilglukoronaksilanın, selülozun tükettiği oksijen miktarından iki kat daha fazlasını tüketmiştir. Yüksek oranda ksilan içeren hemiselülozlar, saf ksilandan daha az oksijen tüketmekte ve daha yavaş oksitlenmektedir.

Kartal ve diğ. (2007) *Cryptomeria japonica* diri odununu önce borlu bileşiklerle (borik asit (BA) ve disodyum oktoborat tetrahidrat (DOT)) emprenye ettikten sonra 180-220°C'de ısıl işleme maruz bırakmışlardır. Bu işlemler sonucunda odunun kimyasal

yapısında meydana gelen değişimleri yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) ile belirlemişlerdir. 220°C’de 2 ve 4 saatlik muamelede hemiselülozlarda olağanüstü kayıplar meydana gelmiştir. 220°C’de 4 saatlik ısıtıl işlem uygulaması ile tüm emprenyeli bileşiklere ait rammanın tamamı bozunmuş, arabinan içeriğindeki azalmalar ise muamele görmemiş (emprenyesiz ancak ısıtıl işlem görmüş) odunda %90, BA muameleli örnekte %87 ve DOT muameleli örnekler de ise %84 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bir çalışmada, *Carpinus betulus*’tan izole edilmiş 4-O-metilglukuronaksilana, 150°C’den daha yüksek sıcaklıklarda nitrojen gazı ortamında uygulanan ısıtıl işlem sonucunda depolimerizasyon ve dehidrasyon meydana gelmiştir. Moleküller arası dehidrasyon ile ester bağları, molekül içi dehidrasyon ile ise keton grupları,  $\gamma$ - laktonlar ve furfural oluşmaktadır (Fengel ve Wegener 1989).

Odun örneklerinin asidik bileşiklerle emprenye edilmesi, furfural ve asetik asit verimini etkilemektedir. Kayın odunu ile yapılan bir çalışmada en yüksek furfural verimi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub> ve SnCl<sub>2</sub> ile emprenye edilmiş örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek asetik asit verimi AlCl<sub>3</sub> ile elde edilmiştir. Üstelik daha yüksek sıcaklıklarda (500°C) furan ve türevlerinin verimi, selüloz, ksilan ve O-asetilksilanda olduğu gibi ZnCl<sub>2</sub>’nin varlığında artmaktadır (Fengel ve Wegener 1989).

#### 1.4.1.3. Lignin

Sanderman ve Augustin (1964)’e göre, ısıtıl işlemin inert (ılımlı) bir ortamda gerçekleşmesi durumunda lignin termal olarak en dayanıklı odun bileşenidir. Oksijenli ortamda ise lignin aşırı bir oksidatif bozunmaya uğramaktadır. Lignin çok sağlam bir bileşen olduğu için büyük kütle kayıplarında bile termal olarak bozunmadan kalabilmektedir. Ancak ligninin yapısında önemli değişiklikler ortaya çıkmaktadır. 130°C’de lignin yapı bileşenlerindeki  $\beta$ -O-aril eter bağlarında kopmalar görülmektedir (Westermarck ve diğ. 1995). Kondenzasyon ürünlerini oluşturan reaksiyonlar, serbest radikalleri de meydana getirdiği iddia edilmektedir. Üstelik bu reaksiyonlar, lignin ile polisakkaritler arasında çapraz bağlanmaya neden olmaktadır (Tjeerdsma ve diğ. 1998b, Sivonen ve diğ. 2002). Sivonen ve diğ. (2002) lignin yapısı içinde meydana gelen çapraz bağlanmanın artması ile metoksil grup içeriğinde bir azalmaya neden

olduğu belirtilmektedir. Bu azalma, ısıl işlem görmüş odunun boyutsal kararlılığının artmasına neden olmaktadır.

Yapılan bazı araştırmalarda, ısıl işlem muamelesine bağlı olarak lignin içeriğinin arttığı belirtilmektedir (Boonstra ve Tjeerdsma 2006, Kartal ve diğ. 2008). Yıldız ve diğ. (2006) bu artışı, karbonhidratların termal bozunma ürünlerinden bazılarının tekrar lignin birimlerine bağlanması ile olabileceğini ifade etmektedir. Isıl işlem görmüş odunun lignin içeriğindeki artış, daralma ve genişleme oranlarına olumlu bir etki yapmaktadır. Bu etki sadece lignin artışına bağlı olmayıp, aynı zamanda selülozun kristalin yapısı ile hasar görmemiş karbonhidratlara da bağlıdır. Ayrıca lignin artışına bağlı olarak ısıl işlem görmüş odunun renginde kararına meydana gelmektedir (Ateş ve diğ. 2009).

Odunun pirolizi esnasında meydana gelen egzotermik reaksiyonların en önemli sebebi olarak lignin görülmektedir. Kayın ve bambu odunundan izole edilerek elde edilen odun lignini, argon gazı ortamında 900°C’de ısıl işleme maruz bırakılmıştır. Odun lignininden kalan katı madde yüzdesi kayında %27, bambuda ise %32 olarak bulunmuştur. İlk ağırlık kaybı 180-200°C sıcaklıklar arasında, en fazla ağırlık kaybı ise 360-407°C sıcaklıklar arasında meydana gelmiştir (Yıldız 2002).

Ligninin pirolizi esnasında 450°C sıcaklıkta 80’den fazla piroliz ürünü elde edilmiştir. Bu ürünler genellikle benzen, toluen, stiren, anisol, vanilin, siringil alkol gibi bir çoğu düşük moleköl ağırlığına sahip aromatik bileşiklerden türemiştir (Kotilainen 2000).

Ateş ve diğ. (2009) tarafından, atmosferik basınç altında kızılçam odununa üç farklı sıcaklık (130, 180 ve 230°C) ve iki farklı sürede (2 ve 8 saat) uygulanan ısıl işlemin, odunun bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri ile kristallilik derecesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Isıl işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak, holoselüloz ve alkol-hegzan çözünürlüğünde azalmalar meydana gelir iken %1’lik NaOH çözünürlüğü ve lignin içeriğinde artışlar meydana gelmiştir. Kızılçam selülozunun kristallilik derecesinde önemli bir farklılık bulunmamıştır.

Funaoka ve diğ. (1990), ısıl işlemin lignin yapısında meydana getirmiş olduğu değişiklikleri incelemişlerdir. 120-220°C sıcaklıklar arasında meydana gelen ana

reaksiyonların difenilmetan tipi kondenzasyon olduğunu ifade etmişlerdir. Kuru odunda %40 ve ıslak odunda %75 oranında yoğunlaşmadan kalan ligninin, 220°C'deki ısıtma işlemi ile difenilmetan tipi ünitelere dönüştüğü ifade edilmiştir.

Kayın (*Fagus sylvatica*) odunu, 100°C sıcaklıkta 28 saat süre ile ısıtma işlemine uğratılmış ve lignin oranının azaldığı, 160°C'de ise asitte çözünmeyen lignin miktarının %1'den az olduğu görülmüştür. Kayın odunundan ayrıştırılan ligninin termogravimetrik analizleri, 100°C'nin başlangıcında lignin miktarının hafif azaldığı ve 400°C'de ise ağırlığının %15'ini kaybettiğini göstermiştir (Fengel ve Wegener 1989).

#### 1.4.1.4. Ekstraktifler

Ekstraktif maddeler, odun hücre çeperi bileşenleri olmayıp, çoğu ekstraktif bileşenleri ısıtma işlemi esnasında kolaylıkla buharlaşırlar. Nuopponen ve diğ. (2003)'e göre, çam diri odunu 100-160°C'de ısıtma işlemine maruz kaldığında, parafinler ve yağlar odun yüzeyine çıkarlar. Sıcaklık 180°C'nin üzerine çıktığında ise buharlaşırlar. Sıcaklık, 200°C'nin üzerine çıktığında ise reçine asitleri belirlenmemektedir.

Isıtma işleminin başlangıcında (40-90°C'de) odunun kimyasal yapısında bazı ekstraktifler nedeni ile değişiklikler meydana gelebilir. Kurutulmuş çam ve ladin odunundaki uçucu organik bileşiklerin salınımı ile ilgili yapılan bir çalışmada, monoterenlerin nispeten daha düşük konsantrasyonda olduğu tespit edilmiştir (Englund ve Nussbaum 2000, Aydemir 2007).

Başka bir çalışmada Manninen ve diğ. (2002) ısıtma işlemi görmüş çam odununun uçucu organik bileşiklerinin (VOC) salınımı, hava kurusu oduna göre 8 kat daha azdır. Isıtma işlemi esnasında çam odununda önemli kimyasal değişiklikler meydana geldiği için ancak 41 VOC bileşiğinden 14'ü tespit edilebilmiştir.

#### 1.4.2. Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi

Isıtma işlemi odunun, daralma ve genişleme oranlarının azalmasını, düşük denge rutubet miktarı, dış hava koşullarına karşı direncinin artması, daha dekoratif bir koyu renk alması ve çürümeye karşı direncin daha yüksek olması gibi fiziksel özelliklerinde olumlu değişiklikler meydana getirmektedir (Yıldız ve diğ. 2006).

Isıl işlem, odunun biyolojik zararlılara karşı dayanıklılığını geliştirmektedir. Bazı laboratuvar çalışmaları ısıl işlem görmüş odunun, CCA ile emprenye edilmiş odunlarla karşılaştırılabileceğini göstermektedir (Viitanen ve diğ. 1994). Ancak bu yöntemle elde edilmiş odun, toprakla temas eden yerlerde kullanılamamakta ve CCA ile emprenye edilmiş odunun yerini alması mümkün değildir (Kamdem ve diğ. 1999, Edlund 2003, Epmeier ve diğ. 2003). Diğer bir olumsuz durum ise yüksek dayanıklılık için ısıl işlem sıcaklığının yüksek olması gerekmektedir. Bu durumda ise direnç özelliklerinde aşırı düşümlere sebep olmaktadır (Johansson 2008).

130, 180 ve 230°C sıcaklıklarda 2 ve 8 saat süreyle ısıl işlem uygulanan kızılçam odununda bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler incelenmiştir. Bu özelliklerin ısıl işlem sıcaklığı ile yüksek bir ilişkiye sahip olduğu ve farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ( $p<0.01$ ) ifade edilmektedir. Ancak ısıl işlem süresi ile kızılçam odununun elastikiyet modülü, eğilme ve basınç direnci ile %1'lik NaOH çözünürlüğü arasında bir ilişkinin olduğu belirtilmektedir. Isıl işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bütün fiziksel özelliklerde bir azalma meydana gelmiştir. Fakat ısıl işlem sıcaklığının fiziksel özellikler üzerine etkisi, süreden çok daha fazla bulunmuştur (Ateş ve diğ. 2009).

#### *1.4.2.1. Ağırlık Kaybı*

Isıl işlem, bir taraftan odunun kuru ağırlığının azalmasına sebep olurken diğer taraftan odunun daralmasına neden olur. Chang ve Keith (1978)'e göre ağırlık kaybı ile hacimsel daralma arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Ağırlık kaybı, ısıl işlem esnasında meydana gelen en önemli olaylardan biri olup odun kalitesinin bir göstergesi olarak ifade edilmektedir. Yapılan çalışmalarda ağırlık kaybının, ısıl işlem ortamına, sıcaklığına, süresine ve ağaç türüne bağlı olduğu ifade edilmektedir.

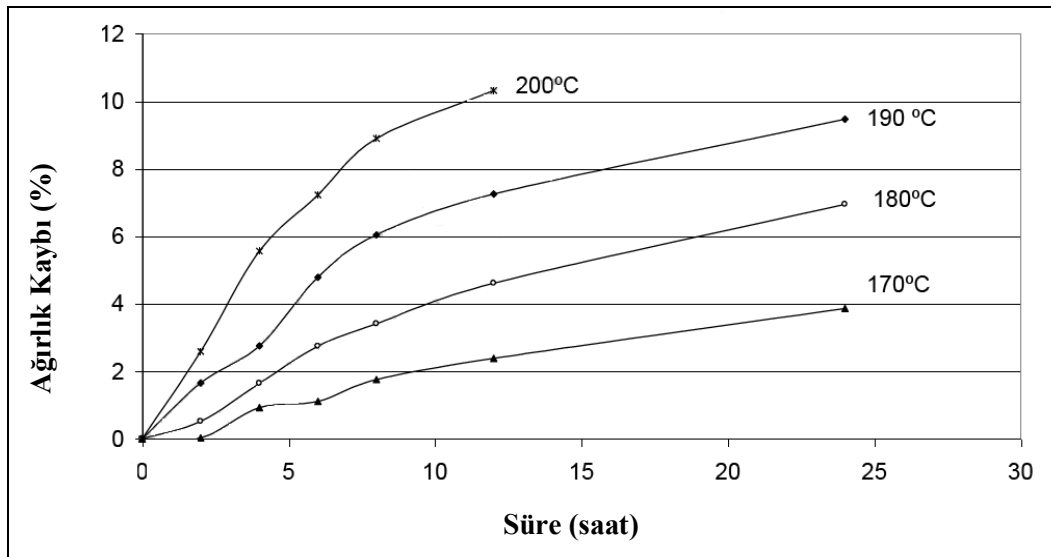
Zaman ve diğ. (2000), sarıçam ve adi huş odunlarının 200-230°C'de 4-8 saat uygulanan ısıl işlem sonucunda oluşan ağırlık kayıplarını incelemiştir. Ağırlık kaybı, huş odununda çam odununa göre daha yüksek bulunmuştur. Çam odununda 205°C'de %5,7-7,0 (4-8 saat) ve 230°C'de ise %11,1-15,2 (4-8 saat) ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Huş ağacında ise ağırlık kaybı 200°C'de %6,4-10,2 (4-8 saat) ve 220°C'de ise %13,5-15,2

(4-8 saat) olarak gerçekleşmiştir. Yine Esteves ve diğ. (2007a) tarafından yapılan bir araştırmada aynı şartlar altında mavi sakız okalıptüs odunundan elde edilen ağırlık kaybı değeri, sahil çamından daha yüksek bulunmuştur.

Mazela ve diğ. (2003) farklı sıcaklık (160, 190 ve 210°C), süre (6 ve 24 saat) ve ortamlarda (hava ve su buharı) sarıçam odununa uyguladıkların ısı işlemi ağırlık kaybına etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, hava ve su buharı ortamlarında 6 saatlik ısı işlem uygulamasında kütle kayıpları benzer sonuçlar verir iken, özellikle 190°C ile 220°C ve 24 saatlik uygulamada ise ağırlık kayıpları hava ortamında daha yüksek bulunmuştur.

Esteves ve diğ. (2007b) yapmış oldukları çalışmalarında okalıptüs odununa 170-200°C sıcaklıklarda, 2-24 saat süreyle oksijenli ortamda ısı işlem uygulamışlardır. Sıcaklık ve sürenin artışına paralel olarak ağırlık kaybının arttığı ifade edilmektedir. En yüksek ağırlık kaybı %10,3 ile 200°C'de 12 saatlik muamelede belirlenmiştir (Şekil 1.10).

Ağırlık kaybındaki artış ısı işlem uygulamasının başlangıcında çok yüksek olup, ilerleyen aşamalarda hızını kaybetmektedir (Şekil 1.10). Bunun nedeni olarak, ısı işlemi ilk safhasında odun bünyesinde bulunan uçucu ekstraktiflerin hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaşması gösterilmektedir (Esteves ve diğ. 2007b).



Şekil 1.10. Farklı sıcaklık ve sürelerde ısı işlem görmüş okalıptüs odununda ağırlık kaybı (Esteves ve diğ. 2007b).



#### *1.4.2.2. Denge Rutubeti ve Boyutsal Stabilizasyon*

Isıl işlemin önemli hedeflerinden biri de, denge rutubet miktarını düşürerek boyutsal olarak daha kararlı bir materyal elde etmektir. Denge rutubet miktarının %0-50 oranında düşürülmesi, ısıl işlemin nasıl gerçekleştirildiğine bağlıdır (Chirkova ve diğ. 2005). Ancak higroskopisitenin düşürülmesi konusunda farklı değerlendirmeler vardır. Obataya ve diğ. (2000) yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıl işlemin, başlangıç denge rutubetini düşürerek, tamamen değiştirdiğini belirtmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada, meşe, kestane, kızılçam ve karaçam odun örneklerine, üç farklı sıcaklık (130, 180 ve 230°C) ve iki farklı sürede (2 ve 8 saat) atmosferik basınç altında ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem sıcaklığının ve süresinin artmasına bağlı olarak odun örneklerinin denge rutubet miktarlarında azalmalar meydana gelmiştir. Diğer türlerle karşılaştırıldığında en düşük denge rutubet değeri (%7,0) meşe odununda, 230°C ve 2 saatlik uygulamada elde edilmiştir. Isıl işlem görmemiş odunla karşılaştırıldığında, 230°C sıcaklıklardaki uygulamalarda muamele görmüş odunların denge rutubet değerlerinde %40-50'e varan azalmalar gözlemlenmiştir (Akyıldız ve Ateş 2008).

Odun karbonhidratlarında serbest hidroksil gruplarının bulunması, odunun su absorpsiyonu ve desorpsiyonu üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Isıl işlem, özellikle hidroksil grupları nedeni ile odunun kimyasal yapısını değiştirir. Bu nedenle odun karbonhidratlarındaki DP'nin düşmesi ile ısıl işlem sonrasında odunun su absorpsiyonu azalmaktadır. Bu yüzden ısıl işlem görmüş odunun denge rutubet değeri, görmemiş oduna göre daha düşüktür (Metsa-Kortelainen ve diğ. 2006).

Teorik olarak hücre çeperi içerisindeki en higroskopik polimerin yer aldığı hemiselülozlar ısıl işlem sonucu bozundurulmaktadır. Bu şekilde suyu bağlayabilecek polar adsorpsiyon gruplarının miktarının azaltılması ile oduna boyutsal stabilizasyon kazandırılmaktadır (Yıldız 2002).

Isıl işlemin değişik ağaç türleri üzerindeki etkileri hemiselülozların tipine ve miktarına göre farklılık göstermektedir. Örneğin YA türlerinden dişbudak, İYA türlerinden olan çama göre daha yoğun bir reaksiyon göstermekte, çamdaki reaksiyonun yoğunluğu ise ladine göre daha yüksek olmaktadır. Bu nedenle dişbudaktaki ortalama ağırlık kaybı ve

boyutsal stabilizasyon oranları, çam ve ladine göre daha yüksek olmaktadır (Yıldız 2002).

Basınç altında buharlanarak veya sıkıştırılarak ısı işlem uygulanan odunun boyutsal kararlılığı hemiselülozun bozundurulması ile değil, lignin-selüloz kompleksinin ısı ile plastikleştirilmesi sonucunda ulaşılmaktadır. Bu şekilde hemiselülozun bozunması en düşük seviyede tutulmakta ve mekanik özelliklerdeki azalmalar ise kabul edilebilir bir seviyeye getirilmektedir (İnoue ve diğ. 1991).

Farklı sıcaklık (170-200°C) ve sürelerde (2-24 saat) ısı işlem uygulanan okalıptüs odunu, %35, %65, %80 bağıl nem ve 20°C'deki ortamda bekletilerek boyutsal stabilizasyonundaki değişimler incelenmiştir. Kısa sürelerde bile yüksek boyutsal kararlılık elde edilmiştir. 170°C'de ve 2 saatlik muamelede, radyal yöndeki genişlemeyi önleyici etkinlik değeri %60 civarında bulunmuştur. Isıl işlem sıcaklığının artışına bağlı olarak genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri artmıştır. 170°C'de en yüksek %76, 200°C'de ise %88 genişlemeyi önleyici etkinlik değeri elde edilmiştir (Esteves ve diğ. 2007b).

Isıl işlem sonucu teğet yöndeki boyutsal sağlamlık radyal yöndekine göre daha fazla gelişmektedir. Örneğin, 180°C'de muamele edilmiş odun örneklerinde teğet yöndeki genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değeri %69-95 arasında iken radyal yönde ise bu oran %63-85 arasında değişmektedir (Esteves ve diğ. 2007b).

#### *1.4.2.3. Odunun İslanabilirliği*

Genellikle literatürde, ısı işlemin odunun ıslanabilirliğini düşürdüğü ifade edilmektedir (Petrisans ve diğ. 2003, Hakkou ve diğ. 2005, Esteves ve diğ. 2007a, Gerardin ve diğ. 2007).

Ağırlık kaybının bir fonksiyonu olarak belirlenen okalıptüs odununun ıslanabilirlik değerleri, ağırlık kaybının %6'nın üzerine çıkması ile kontak açısında bir azalma gözlemlenmiştir. Ancak ağırlık kaybı %5'e vardığında, okalıptüs odununun yüzey ıslanabilirliğinin azalmasına bağlı olarak temas açısı, radyal yönde 70°, teğet yönde ise 75° olarak bulunmuştur (Esteves ve diğ. 2007b).

Sahil çamının kullanıldığı bir araştırmada (170-200°C ve 2-24 saat) hava ortamında ısıtılma işlemi uygulanmış ve odun yüzeyinin ıslanabilirliği üzerine etki eden faktörler belirlenmiştir. ıslanabilirlikteki azalma ile ağırlık kaybı arasında bir ilişkinin bulunduğu, aynı zamanda higroskopik bileşenlerin, hemiselülozun ve amorf selülozun azalması ile dehidrasyon reaksiyonlarının ıslanabilirliği azalttığı ifade edilmiştir. Odunun ıslanabilirliği üzerine ekstraktif madde içeriğinin de önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (Esteves ve diğ. 2008a).

#### *1.4.2.4. Renk Özellikleri ve Koku*

Isıtılma işlemi sonrasında odun daha koyu bir renk kazanır. Bu renk değişimi özellikle YA odunlarında olumlu bir etki olarak sıklıkla görülür. Renk değişiklikleri oduna yeni pazarların yolunu açabilir. Isıtılma işlemi görmüş odunun rengi, çoğu tropik ağaçların rengine benzemektedir. Bu durum, ısıtılma işlemi görmüş odunun bazı uygulamalarda estetik olarak avantajlar sağlamaktadır (Bekhta ve Niemz 2003, Mitsui 2006). Aynı zamanda odunun rengi ısıtılma işleminin kalitesi hakkında önemli ipuçları verdiği belirtilmektedir (Patzelt ve diğ. 2003).

Isıtılma işlemi sırasında odunun higroskopisitesinin ve mantara karşı dayanıklılığının artmasının en önemli sebeplerinden biride odunun renginin değişmesidir. Bu renk değişimi, oduna daha geniş bir kullanım alanı sunmakta ve özellikle düşük değerli odun türlerinin pazar payını artırmaktadır. Renk değişikliklerinin kaynağı, hemiselülozların, ligninin ve bazı ekstraktif bileşenlerin bozunması olarak gösterilmektedir (Kocafe ve diğ. 2008a, Vindeisen ve diğ. 2009, Niemz ve diğ. 2010, Aydemir ve diğ. 2011).

Isıtılma işlemi görmüş odun, güneşten gelen UV ışınlarına karşı koruyucu bir katmanla örtülmelidir. Aksi takdirde hava ve güneş ışınları nedeniyle normal odun gibi yüzeylerinde gri renk değişimi meydana gelmektedir (Miklečić ve diğ. 2011).

Tuong ve Li (2010) melez akasya odununu koruyucu gaz ortamında (nitrojen) yüksek sıcaklıklarda ısıtılma işlemine maruz bırakmış ve renk değişimlerini incelemiştir. Sonuçlar ısıtılma işlemi yoğunluğunun artışına paralel olarak odun dokularının da karardığını ortaya koymuştur. Bu durum, ısıtılma işlemi esnasında ekstraktif maddelerin, lignin ve

hemiselülozların değişmesi ile mümkün olabileceği ifade edilmiştir. Isıl işlem sonucunda odun, tropik ağaçlara benzer koyu bir renk kazanmaktadır. Bu durum bazı kullanım alanları için estetiksel bir avantaj sağlar.

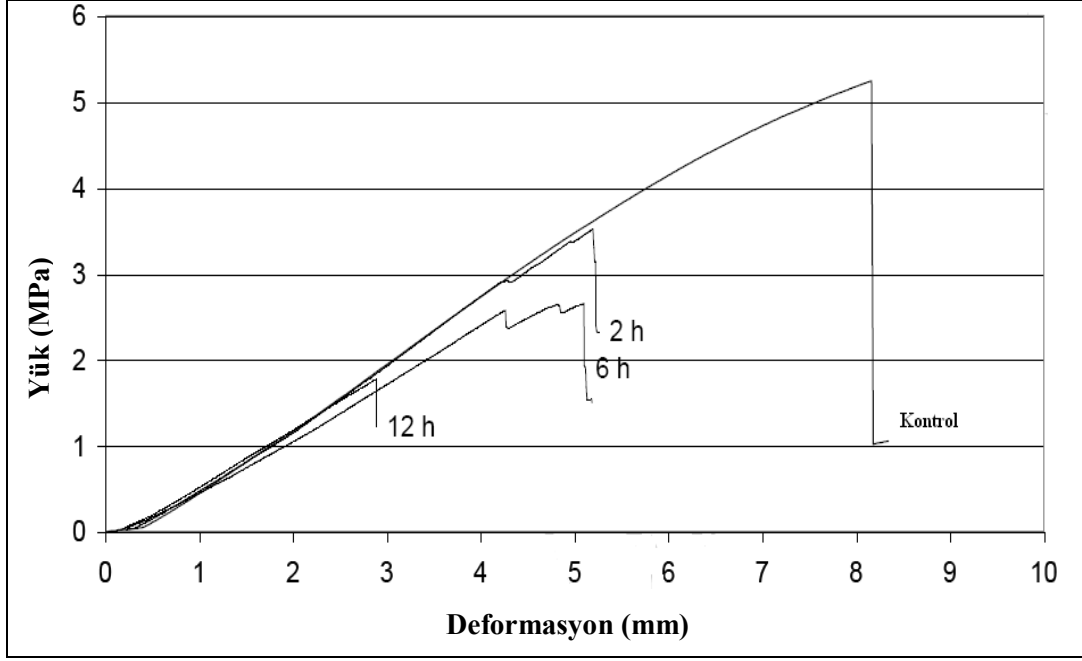
Isıl işlem esnasında bozunma ürünleri meydana gelirken, bu ürünler hoş kokulu değillerdir. Furfural gibi çoğu organik asitler ve aldehitler güçlü kokulara sahiptirler. Ancak ısı işlem görmüş odunların hoş olmayan kokuları muameleden 2-3 hafta sonra kaybolmaktadır (Aydemir 2007).

#### **1.4.3. Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi**

Isıl işlem sırasında gerek odun içerisinde gerekse yüzeylerde meydana gelen çatlaklar ve yarılmalar ahşap malzemenin direncinde ciddi kayıplara yol açmaktadır. Bu yüzden ahşap malzemenin mekaniksel özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda oluşan formik ve asetik asit formasyonu öncelikle hemiselülozdan başlayarak birçok odun bileşenini tahrip etmekte ve bunun sonucunda kütle kayıpları meydana gelmektedir. Kütle kayıpları sonucunda yoğunluğun düşmesi mekanik özellikleri de olumsuz yönde etkilemektedir (Karakaş 2008).

Viitaniemi (1996) yaptığı bir araştırmada uygulanan ısı işlem prosesine göre direnç özelliklerinde %0-30 arasında değişen bir azalma tespit etmiştir. Fakat bu araştırmada yalnız küçük boyutlu örnekler kullanılmıştır. Küçük örneklerle çalışıldığında odunda meydana gelen değişiklikler hakkında daha fazla bilgi sahibi olunur iken büyük boyutlu kirişler üzerinde çalışıldığında ise kirişlerin zayıf noktaları daha iyi belirlenmektedir. Bengtsson ve diğ. (2002) çam ve ladin kirişlerine 220°C'de 5 saat süre ile ısı işlem uygulamışlar ve eğilme direncinin yaklaşık %50 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

Şekil 1.11'de ısı işleme uğramış ve uğramamış okalıptüs odununun yük deformasyon grafiği verilmiştir. Başlangıç aşaması elastik deformasyon bölgesidir. Bu bölge ısı işlem görmüş odun ile görmemiş odun için benzerdir. Plastik deformasyon bölgesinde ise deformasyon belirgindir ve ısı işlem görmüş örneklerde daha kısadır. Isıl işlem süresinin artmasına bağlı olarak yük-deformasyon eğrisindeki değişiklik önemli olmakta ve daha küçük gerilmelerde ise kırılmalar meydana gelmektedir (Esteves ve diğ. 2007b).



**Şekil 1.11.** 200°C’de 2, 6 ve 12 saat ısıl işlem görmüş ve görmemiş okalıptüs odununun yük deformasyon eğrisi (Esteves ve diğ. 2007b).

Ghalehno ve Nazerian (2011), gürgen odununun 130, 160, 190°C ve 3, 6 ve 9 saat süre ile muamele ederek odunun fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Mekanik özelliklerdeki maksimum azalmalar 190°C’de 9 saatlik uygulamada elde edilmiştir. Test örneklerine ait eğilme direnci değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında %22,25 daha düşük bulunmuştur. Sıcaklık ve sürenin artışına paralel olarak diğer direnç özelliklerinde de azalmalar meydana gelmiştir. Direnç özelliklerindeki azalmalar, termal şartların bir sonucu olarak hücre bileşenlerinde meydana gelen kayıplar nedeniyle olduğu bildirilmiştir.

Isıl işlem uygulamasının hava ortamında yapılması, eğilme direncindeki kayıpları su buharı ortamına göre %40-60 artırmaktadır. Bu durum aynı ağırlık kayıplarında su buharı ortamının, odunun mekanik özelliklerini daha az etkilediğini göstermektedir. Bununla birlikte, sıcak hava veya buhar ortamında muamele edilmiş odunun aynı ağırlık kayıplarında, makromoleküler bileşenlerin bozunmaları da farklıdır. Örneğin %3 ağırlık kaybında, fırın ortamında (hava) muamele görmüş odunun hemiselüloz içeriğindeki kayıp %17,2 iken otoklavda muamele görmüşlerde ise bu kayıp %10,4’tür (Esteves ve diğ. 2008a).

Isıl işlem uygulamaları eğilme direncini, elastikiyet modülüne göre daha fazla etkilemektedir. Yapılan bir çalışmada 200°C ve 12 saat muamele görmüş çam odununun eğilme direncindeki azalma %58 iken, elastikiyet modülünde ise bu değer %19 olarak elde edilmiştir. Eğilme direncindeki bu azalmaların ana nedeni hemiselülozların bozunmasıdır. Hemiselüloz içeriği ile eğilme direnci arasında yakın bir ilişkinin olduğu ifade edilmektedir (Esteves ve diğ. 2008a).

Poncsak ve diğ. (2006) yaptıkları bir araştırmada, özellikle sıcaklığın 200°C'nin üzerinde artırıldığında kayın odununun eğilme direncinde azalmalar meydana geldiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada sertlik değerlerinde de az bir artışın olduğu ifade edilmektedir. Shi ve diğ. (2007) Thermowood yöntemi kullanarak bazı odun türlerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Isıl işlem sonrası eğilme direncinde, çam, ladin, göknar ve kavakta %0-49 arasında değişen bir azalma meydana gelmiş iken, kayında ise çok az (%6) bir artış tespit edilmiştir. Çam ve ladinin elastikiyet modülü %4-28 arasında azalmasına rağmen, göknar, kavak ve kayında ise artışlar gözlemlenmiştir.

170-200°C sıcaklıklarda 2, 6, 12 saat süreyle ısıl işlem uygulanan okalıptüs odununda, muamele sıcaklığı ve sürenin artışına bağlı olarak elastikiyet modülü azalmıştır. Ancak ısıl işlem sıcaklıkları arasındaki farkın az olması (10°C), elastikiyet modülünü çok etkilememiştir. 2 saatlik muameleler için elastikiyet modülünde, 180°C'de %0, 190°C'de %3'lük azalma ve 200°C'de ise %1'lik bir artış olmuş iken 12 saatlik uygulamada ise 180 ve 190°C sıcaklıklarda %6 ve 200°C'de ise %25'lik bir azalma gözlemlenmiştir (Esteves ve diğ. 2007b).

Yapılan başka bir araştırmada, atmosferik basınç altında uygulanan ısıl işlem sıcaklığı ve süresinin artışına bağlı olarak, kızılçam odununun sertlik değeri hariç bütün mekanik özelliklerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu durum muhtemelen selüloz polimerlerinin ve hemiselülozların parçalanması nedeniyle gerçekleştiği ifade edilmektedir. Ayrıca yoğunluk, mekanik özellikler üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Kızılçam odununun sertlik değeri, muamele görmemiş örneklerle karşılaştırıldığında 230°C'ye kadar sıcaklık ve sürenin artışına paralel olarak kısmen artar iken, daha sonra yapısal bozunmalarının artışı nedeniyle bir azalma eğilimi

gözlenmiştir. Mekanik özelliklerdeki en büyük kayıplar 230°C’de 2 ve 8 saatlik uygulamalarda elde edilmiştir (Ateş ve diğ. 2009).

Isıl işlem esnasında, odun hücre çeperi bileşenlerinde meydana gelen kimyasal değişiklikler hemiselüloz ve ligninden kaynaklanmaktadır. Bu değişiklikler oduna yeni özellikler kazandırmakta ve onun daha reaktif hale getirmektedir. Bu kimyasal değişikliklerin bir sonucu olarak odunun yapışma direncini değiştirmektedir. Odun ile tutkal arasındaki yapışma direnci birçok faktöre bağlıdır. Odun yüzeyinin ıslanabilirliği, yüzey düzgünlüğü, tutkalın oduna penetrasyonu, odunun rutubet ve ekstraktif içeriği, higroskopisitesi ve odunun kimyasal bileşimi yapışma direncini etkilemektedir (Şahin Kol ve diğ. 2009).

Şahin Kol ve diğ. (2009) bazı organik tutkallarla birleştirdikleri tali ve iroko lamine levhalarında 180°C’de 2 saat uygulanan ısıl işlemin yapışma direnci üzerine olan etkisini incelemiştir. Isıl işlemin lamine edilmiş odunun yapışma direncini, kullanılan bütün tutkallarda olumsuz etkilediğini tespit etmişlerdir. Tutkal olarak, melamin-üre-formaldehit (%3 MÜF, %20 MÜF), melamin formaldehit (MF), fenol formaldehit (FF) ve poliüretan (PÜR) kullanılmıştır. Tali’den üretilmiş levhaların yapışma direncindeki en yüksek azalma miktarı %9,1 ile melamin ve fenol formaldehit kullandıkları levhalarda elde edilirken, iroka’da ise %8,9 ile %3’lük melamin-üre-formaldehitli levhalarda bulunmuştur. Isıl işlem sonrası levhaların yapışma dirençlerindeki azalmalar, odun yüzeyinin daha hidrofobik bir yapı kazanması ile odunun ıslanabilirliğinin (Petrisans ve diğ. 2003, Sernek ve diğ. 2004, Follrich ve diğ. 2006, Gerardin ve diğ. 2007, Sernek ve diğ. 2008), karbonhidratlardaki serbest hidroksil gruplarının (Nakano ve Miyazaki 2003) ve odun pH’sının azalması ile meydana geldiği ifade edilmektedir.

Selülozun polimerizasyon derecesinin yüksek oluşu ve kristalimsi (selüloz zincir moleküllerinin birbirlerine paralel uzanması) olması nedeniyle liflerin çekme direncinde önemli bir rol oynamaktadır. Isıl işlem sonrası, selülozun depolimerizasyonu sonucu amorf selülozun bozulmakta ve odunun çekme direncinde azalmalara sebep olmaktadır. Isıl işlem sonucu oluşan makaslama direncindeki düşüşlerin nedeni orta lamelde bulunan hemiselülozların furfurala dönüşmesidir. Hemiselülozun bozunması, selüloz

mikrofibrilleri arasındaki yük taşıma kapasitesini azalttığı için makaslama direncini olumsuz etkiler (Boonstra 2008).

#### 1.4.4. Biyolojik ve Anatomik Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlem sonrası, tahrip edici mikroorganizmalara karşı odunun biyolojik dayanımının arttığı belirtilmektedir. Bunun en önemli nedenleri; odunda doğal olarak bulunan suyun uzaklaşması, mevcut hidroksil gruplarının parçalanması ve sayılarının azalması, hidroksil gruplarının çapraz bağlar oluşturarak çürüklüğe hassas olmayan yapıların meydana gelmesidir. Böylece enzimatik yapılı bir saldırı, muamele görmemiş odundaki kadar hızlı ilerleyememektedir (Yıldız 2002).

Dirol ve Guyonnet (1993) doğal dayanımı düşük ağaç türlerine (ladin, göknar ve kavak) 200-260°C'de ısıl işlem uygulamış ve ısıl işlem görmüş odunların bazı mantar türlerinin (*Coriolus versicolor*-beyaz çürüklük, *Gloeophyllum trabeum* ve *Coniophora puteana*esmer çürüklük mantarları) tahribatına karşı dayanımını test etmişlerdir. Kontrol örneklerindeki ağırlık kayıpları %40'ın üzerinde iken, ısıl işlem görmüş odun örneklerinin ağırlık kayıpları ise %1'in altında tespit edilmiştir.

Yapılan bir araştırmada, ısıl işlem görmüş odundan elde edilen organik ekstraktiflerde, GC-MS ve <sup>13</sup>C-NMR analizleri sonucu bazı zehirli poliaromatik bileşikler tespit edilmiştir. Bu bileşiklerin muhtemelen odunun çürüme dayanımını geliştirdiği ifade edilmektedir (Kamdem ve diğ. 2000).

Sıcak yağlı ısıl işlem uygulaması (OHT) ile 180-220°C sıcaklıklarda muamele görmüş çam ve ladin odunları *Coniophora puteana* mantarı ile aşılanarak 19 hafta sonundaki ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Çam ve ladin kontrol örneklerinin ağırlık kayıpları sırası ile %48 ve %40 iken, ısıl işlem örneklerindeki kayıplar ise sırası ile %11 ve %5,5 olarak bulunmuştur (Sailer ve diğ. 2000).

Farklı ısıl işlem proseslerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, kahverengi çürüklük mantarının, muamele görmüş odun örnekleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Muamele görmemiş odunlarındaki kütle kayıpları %60-67 arasında değişir iken, Thermowood (Finlandiya) odunundaki ağırlık kaybı %1'in altında, Plato ve OHT odunlarında %3,



Retification yönteminde ise %12 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar bütün ısı işlem uygulamalarının, odunun mantarlara karşı direncini olağan üstü artırdığını göstermektedir (Welzbacher ve Rapp 2002).

Isıl işlem uygulamaları, toprak ile temas eden odunların mantar çürümelerine karşı dirençleri yetersiz bulunmaktadır. Toprakla temas eden sahil çamı odunlarına 200-260°C sıcaklıklarda uygulanan ısı işleminin, birkaç mantar türünün ağırlık kayıpları üzerine etkileri araştırılmıştır. Kütle kayıplarındaki azalmalar, *Irpex lacteus* ve *Poria placenta* mantarlarında %7 gibi düşük bir değer elde edilir iken, kahverengi çürüklük mantarı ile ilgili sonuçlarda kütle kayıplarındaki azalmalar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve %57'den %11'e inmesi sağlanmıştır (Kamdem ve diğ. 2002).

Isıl işlemin böcekler üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda (Fransa ve Finlandiya, Kuopi Üniversitesi) *Hylotrupes bajulus*, *Lyctus brunneus* ve *Annobium punctatum* böceklerine karşı ısı işlem uygulamasının biyolojik dayanımı artırdığı ifade edilmektedir (Militz 2002). Nunes ve diğ. (2004) göre, OHT ile ısı işlem görmüş odunların düşük kütle kayıplarında dahi termit (*Reticulitermes grassei*) ölüm oranlarının yüksek olduğu belirtilmektedir.

Isıl işlem, kullanılan proses şartlarına ve ağaç türüne bağlı olarak odunun anatomik yapısını etkiler. İYA odunlarında, özellikle yıllık halka genişliği dar veya ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş ani ise bu türler yaz odununda teğet çatlaklara karşı çok hassastırlar (Boonstra ve diğ. 2006a).

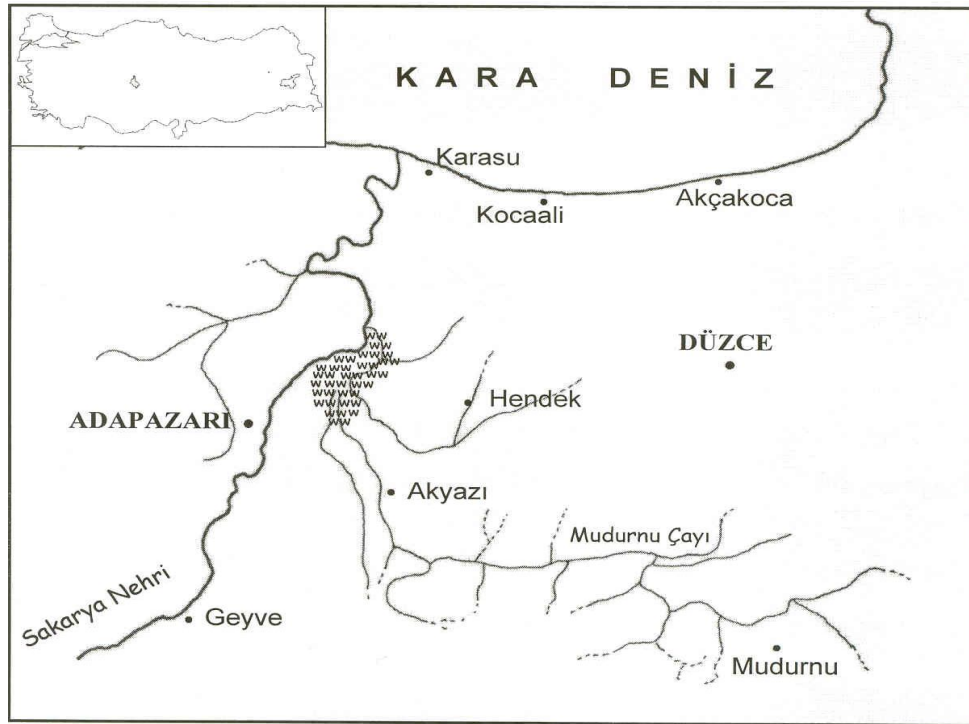
Boonstra ve diğ. (2006b) ısı işlem görmüş YA odunlarını, mikro yapı ve fiziksel açıdan incelemişlerdir. Isıl işlem görmüş kayın ve kavakta hücre çökmelerine hassas olduklarını ve trahelere yakın libriform lifleri üzerinde bazı deformasyonların oluştuğunu ifade etmektedirler. Muamele görmüş kayın ve huş ağaçlarında, özışınlarına yakın bazı radyal çatlaklara rastlamışlardır. Boonstra ve diğ. (2006a ve 2006b)'e göre, hücre duvarının liflere dik olarak parçalanması, muamele görmüş odunun eğilme direnci esnasında ani kırılmalarına sebep olmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. MATERYAL

#### 2.1.1. Örnek Sahasının Tanıtımı

Adapazarı G30-a<sub>1</sub>,G30-a<sub>3</sub> ve G30-d<sub>2</sub> topoğrafik haritalarında yer alan Süleymaniye ormanı, Adapazarı Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde (Şekil 2.1). Araştırma konusu saha Türkiye'nin üç büyük flora bölgesinden biri olan Avrupa-Sibirya (Euxin-Colchis) bölgesinin Euxin (Öksin) kesiminde bulunmakta olup, Davis'in karelej sistemine göre A<sub>3</sub> karesi içinde bulunmaktadır (Çiçek 2002).



Şekil 2.1. Araştırma alanının coğrafi konumu (Çiçek 2002).

Araştırma alanı Dinsiz ve Mudurnu çaylarının yayılarak Sakarya nehrine karıştığı oldukça düz, taban arazide bulunmaktadır. Bu çaylar, 1965 yılında ovada su rejimi düzenlenmesi amacıyla devlet su işleri müdürlüğü tarafından drenaj kanallarıyla

doğrudan Sakarya nehrine birleştirilmiştir. Artan sonbahar yağışları ile önce bataklık haline gelen ormanda, su düzeyinin Ocak-Mayıs ayları döneminde (özellikle ilkbaharda karların erimesiyle) 1-1,5 m'ye kadar yükseldiği ve bu dönemde ormana kayık ile girilebilmektedir. Ancak, kanal açıldıktan sonra eskisi kadar su basması olayı olmamakta ve ormanın bazı kısımlarında taban suyu toprak yüzeyine çıkmamaktadır. Mayıs ayı ortalarından itibaren yavaş yavaş çekilmeye başlayan sular, düşük düzeyde hendek ve çukurluklarda bir müddet daha kalmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında hammadde odun örnekleri, Adapazarı Orman Bölge Müdürlüğü, Hendek Orman İşletme Müdürlüğü, Süleymaniye Orman İşletme Şefliklerine ait subasar ormanlık arazilerinden temin edilmiştir. Araştırma amacına uygun olarak aynı yetiştirme ortamı özelliklerine sahip ve mümkün olduğunca aynı yaşlı üç meşcere belirlenmiştir. Birincisi herhangi planlı bir müdahale görmemiş doğal meşcere, ikincisi 3x2,5 m (1333 ad/ha) aralığında dikim yapılmış meşcere, üçüncüsü ise 4x4 m (625 ad/ha) aralığında dikim yapılmış olan meşceredir. Şekil 2.2-4'te her üç örnek alanına ait görüntüler verilmiştir.



**Şekil 2.2.** Doğal DYD meşceresi örnek alanı.



**Şekil 2.3.** DYD odununa ait 3x2,5 m dikim aralığındaki örnek alanı.



**Şekil 2.4.** DYD odununa ait 4x4 m dikim aralığındaki örnek alanı.

Plantasyonlar, belirli yıllarda yoğunlaşan çalışmaların ürünü olduğundan, yaş bakımından fazla çeşitlilik göstermemektedir. Vejetasyon dönemi (Nisan-Kasım, aylık

ortalama sıcaklık  $>10^{\circ}\text{C}$ ) boyunca aylık yağış 56 mm'dir. Vejetasyon süresi 230-240 gün arasında değişmektedir (Anonim 2003b). Bu yöre, Marmara deniz iklimi ile Karadeniz iklimi geçiş kuşağındadır. DYD ormanının hakim türü olmakla birlikte, *Ulmus laevis*, *Ulmus minor*, *Acer campestre* ve *Quercus robur* gibi türlere de rastlanmaktadır. Toprak esas itibarıyla Mudurnu ve Dinsiz Çayları ile Sakarya nehrinin taşıdığı alüvyallerden oluşmaktadır. Yüksek kil içeriğine ( $>65\%$ ) sahip olup, kil oranı derinlikle birlikte artmaktadır. Toprak asitliği 6-8 pH arasında değişim göstermekte ve topraklar yüksek miktarda kireç içermektedir (Çiçek 2002).

### 2.1.2. Örnek Ağaçlarının Seçimi

Çalışma için Türkiye'de Adapazarı bölgesinde türün en yaygın olarak bulunduğu doğal ve farklı dikim aralıklarında plantasyonla yetiştirilen, DYD odunu kullanılmıştır. Yön, meyil, yükselti, çap, sıklık vb. gibi yetiştirme ortamı özellikleri dikkate alınarak, belirtilen amaç doğrultusunda bölgedeki, üç yetiştirme ortamından, her grubu temsil edecek ortalama göğüs çapına karşılık gelen, çatlaksız ve anormal tepe formu göstermeyen 4'er adet (toplam 12 ağaç) örnek ağacı kesilerek sahadan çıkartılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Plantasyon sahasında seçilen ağacın motorlu testere ile kesimi.

Seçilen ağaçların düzgün gövdeli, silindirik ve az budaklı olmasına dikkat edilmiş, azman, cılız, reaksiyon odunu ya da çürüklük içeren ağaçların alınmasından kaçınılmıştır. Kesilen ağaçlardan kimyasal analizlerde kullanılmak üzere ağacın boyuna yönünde her iki metrede bir tekerlek kesilmiştir (Şekil 2.6). Çıkarılan tekerleklerin enine kesitlerinde gerekli yön işaretlemeleri ve numaralama yapılmıştır.



**Şekil 2.6.** Örnek ağaçlardan tomrukların kesilmesi ve tekerleklerin çıkarılması.

Örnek ağaçların temin edildiği yerlere ve örnek ağaçlarına ait genel özellikler TS 4176 esaslarına göre tespit edilmiş ve Çizelge 2.1’de verilmiştir. Kesilen tüm ağaçların gövde çapları, dipten itibaren 1,30 m yüksekliğinden kumpas yardımıyla, ağaç yaşları ise 0,30 m’de enine kesitten sayılarak tespit edilmiştir. Daha sonra ağaçların oluşturmuş oldukları dallı ve dalsız gövde uzunlukları ölçülerek kayıt edilmiştir.

### **2.1.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması**

Çalışmada kullanılacak olan deney örnekleri ağaç gövdelerinin kökten itibaren 2-4 m arasındaki 2 m’lik kısımlarından faydalanılmıştır. Ağaçlar 1-1,5 m uzunluğundaki

tomruklara parçalanmış ve bu şekilde Adapazarı-Hendek Orman İşletme Şefliğinin depolarında istiflenmiştir.

**Çizelge 2.1. Örnek Alan ve ağaçlarına ait genel özellikler.**

Dar Yapraklı Dişbudak	Örnek Ağaçlar											
	Adapazarı-Süleymaniye Orman İşletme Müdürlüğü											
Bölge No	Doğal				Plantasyon (3x2,5 m)				Plantasyon (4x4 m)			
Ağaç no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kesim Tarihi	2010											
Bölme no	115				110				113			
Ağaç yaşı (yıl)	40	32	38	32	38	38	37	37	31	31	32	31
Ağaç çapı (cm)	33	28	31	27	32	33	31	37	32	27	31	29
Ağaç boyu (m)	28	23	25	24	38	36	36	35	28	27	30	29
Nod sayısı (adet)	15	9	9	10	14	18	15	22	13	13	17	16
Dalsız gövde uzunluğu (m)	17	10	11	12	16	23	20	26	16	16	19	18
Dallı gövde uzunluğu (m)	11	13	14	12	22	13	16	9	12	11	11	11
Dikilen ağaç sayısı (ad/ha)	-				1333				625			
Rakım (m)	25				25				25			
Meyil (%)	0-2				0-2				0-2			
Meşcere tipi	saf				saf				saf			
Kapalılık	3				3				3			
Bağıl nem (%)	73				73				73			
Yıllık yağış(mm)	800				800				800			
Yıllık ortalama sıcaklık (°C)	14,2				14,2				14,2			

İşletme deposundan alınan tomruklar özel bir kereste fabrikasında, standartlarda göz önüne alınarak önce kapakları uzaklaştırılmış daha sonra 3 ve 6 cm kalınlığında kerestelere biçilmiştir. Biçme işlemi TS 2470 esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Biçilen keresteler yeniden numaralandırılmış ve aralarına latalar konulmak suretiyle istenen denge rutubetine gelmesi için üstü kapalı bir alanda istiflenmiştir. Kerestelerin rutubetleri sürekli olarak kontrol edilmiştir. Rutubeti lif

doygunluk noktasına (LDN) ulaşan keresteler, şerit testere, daire testere ve planya makinelerinde işlenmiştir. Örnekler her deney türü için söz konusu testin standartlarında hazırlanmıştır. Budak, çatlak, düzensiz lif yönü vb. gibi kusurlara sahip örnekler seçilerek ayrılmıştır. Küçük boyutlu örnekler hazırlanırken kenar ve köşelerde oluşan kıymıklar zımpara ile uzaklaştırılmıştır. Odunun kendi bünyesinden kaynaklanan farklılıkları en aza indirmek için deney ve kontrol örnekleri, kereste eksenine boyunca birbirini izleyen ve aynı yıllık halkaları içeren kısımlardan olmasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan deney numuneleri üzerine silinmez asetatlı kalem ile ait oldukları meşcere numaraları ile her bir teste ait deney numaraları yazılarak numarataj işlemi tamamlanmıştır.

## **2.2. YÖNTEM**

Denemelerde kullanılacak olan her meşcere için; dört farklı sıcaklık, üç farklı süre ve test edilen fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikler bakımından uygulanacak varyasyon şeması ile her varyasyonda kullanılacak test ve kontrol örneklerinin sayısı Çizelge 2.2’de verilmektedir. Bu çizelge, her üç meşcereden alınan örneklere uygulanmış ve toplamda 5670 adet test ve kontrol örneği üzerinde çalışılmıştır.

### **2.2.1. Isıl İşlem Yöntemi**

Çalışmada kullanılacak deney örnekleri standartlarda belirtilen ölçülerde kusursuz örneklerden hazırlanmıştır. Örnekler meşcere numaralarına ve deney türlerine göre iklimlendirme odasına yerleştirilmiştir. Daha sonra örnekler iklimlendirme odasında  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $65\pm 3\%$  bağıl nem ortamında 4 hafta boyunca bekletilmiş ve rutubetlerinin dengelenmesi (yaklaşık %12) sağlanmıştır.

Isıl işlem uygulaması üç farklı meşcere, dört değişik sıcaklık ve üç ayrı sürede toplam 12 varyasyonda gerçekleştirilmiştir. Örneklere uygulanan ısıl işlem, sıcaklığı  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  hassasiyetle ayarlanabilen, bilgisayar kontrollü,  $1\text{ m}^3$  kapasiteli bir ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7).



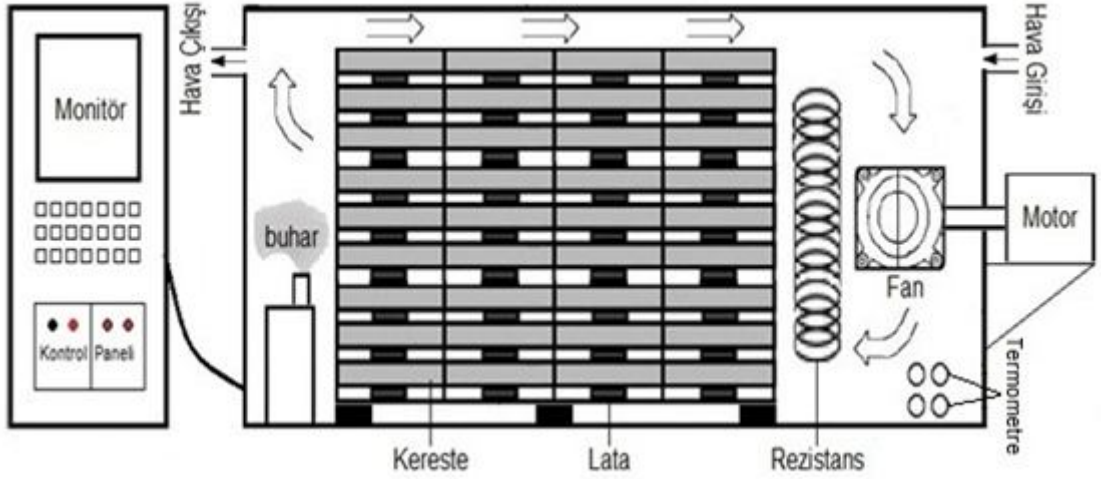
**Çizelge 2.2.** Uygulanacak varyasyon şeması ve her varyasyonda kullanılacak test ve kontrol örneklerinin sayısı.

Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	AK	Y	SAO-GET (SİE)	DRM	LPBD	ED-EM	SED			Toplam
								E	T	R	
<b>Kontrol</b>		-	240	20	10	20	20	20-20-20			330
<b>120</b>	3	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	6	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	9	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
<b>160</b>	3	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	6	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	9	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
<b>190</b>	3	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	6	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	9	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
<b>210</b>	3	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	6	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
	9	20	20	20	10	20	20	20-20-20			130
<b>Toplam</b>		240	480	260	130	260	260	260			1890

AK: ağırlık kaybı, Y: yoğunluk, SAO: su alma oranı, GET: genişlemeyi önleyici etkinlik, SİE: su itici etkinlik, DRM: denge rutubeti miktarı, LPBD: liflere paralel basınç direnci, ED: eğilme direnci, EM: elastikiyet modülü, SED: sertlik değeri (E: enine, T: teğet, R: radyal).

Deney örnekleri, su buharı ortamında 120, 160, 190 ve 210°C’de 3, 6 ve 9 saat süre ile ısıtma işlemine maruz bırakılmıştır. Örnekler, uygulanan bütün kombinasyonlarda ısıtma işlemi süresi hariç ortalama 27 saat (ısıtma, ön kurutma ve kondisyonlama aşamaları dahil) fırın içerisinde kalmıştır. Bütün bu işlemler, Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Isıtma işlemi sonrasında çıkarılan örneklerin bir kısmının, yoğunluk, ağırlık kaybı ve denge rutubeti değerlerinin belirlenmesi için 103±2°C sıcaklıktaki etüvde tutularak tam kuru ağırlık ve hacimleri tespit edilmiştir. Örnekler daha sonra tekrar iklimlendirme odasına yerleştirilmiş ve denge rutubetlerine ulaşmaları sağlanmıştır. Isıtma işlemine uğratılmış örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneyler ve her bir deney için kullanılan örnek sayıları TSE CEN/TS 15679 standardına göre belirlenmiştir.



Şekil 2.7. Isıl işlem fırınına ait şematik görünüm.

Üç meşcereden alınan kontrol örneklerine ait; yıllık halka genişlikleri, yaz odunu katılım oranları, holoselüloz,  $\alpha$ -selüloz, lignin, kül tayini, alkol benzen çözünürlüğü, %1'lik NaOH çözünürlüğü, sıcak ve soğuk su çözünürlükleri belirlenmiştir. Her bir deney grubunun test ve kontrol örnekleri üzerinde fiziksel testlerden; ağırlık kaybı, yoğunluk tayini, denge rutubeti miktarı (DRM), su alma oranları (SAO), su itici etkinlik (SIE), genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) ve boyutsal stabilizasyon, mekanik testlerden; liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci ve elastikiyet modülü, teknolojik testlerden; enine, radyal ve teğet yönde Janka sertlik değerleri, kimyasal analizlerden; hemiselüloz tayini (HPLC; high performance liquid chromatography) ve FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) analizleri yapılmıştır.

### 2.2.2. Kimyasal Analiz Yöntemleri

Deney ve kontrol örneklerinden elde edilen küçük boyutlu yongalar, TAPPI T 11 wd-76 standardına göre laboratuvar tipi Willey değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen parçacıkların sarsıntılı elek üzerinde elenmesinden sonra 40 ( $425\mu$ ) mesh'lik elekten geçip 60 ( $250\mu$ ) mesh'lik elek üzerinde kalan kısım alınarak  $103\pm 2^\circ\text{C}$ 'de rutubeti belirlenmiştir. Daha sonra odun tozları ağız kapalı kaplara konulmuş ve analizler için hazır hale getirilmiştir. Rutubetleri belirlenmiş örnekler üzerinde aşağıda sıralanan kimyasal analiz yöntemleri uygulanmıştır. Kimyasal analizlerde Tappi standartları kullanılmıştır.

HPLC analizleri, Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, Biyoteknoloji Laboratuvarında ve FTIR analizleri ise Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT) laboratuvarında tüm kontrol ve test örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Her üç meşcereden alınan kontrol örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analizler ise;

Holoselüloz tayini Wise'in Klorit yöntemine (Wise 1962),  $\alpha$ -selüloz oranı TAPPI T 203 cm-09, lignin oranı TAPPI T 13 wd-74, kül miktarı TAPPI T 15 wd-80, alkol-benzen çözünürlüğü TAPPI T 6 wd-73, %1 NaOH çözünürlüğü TAPPI T 212 om-12, soğuk ve sıcak su çözünürlüğü ise TAPPI T 1 wd-75 standardına uygun olarak belirlenmiştir (Anonim 2013).

#### 2.2.2.1. HPLC ve UV Spektrometre Analizi

Tüm ön muameleler ve hidroliz işlemleri sonrası elde edilen katı ve sıvı kısımlardaki şeker analizleri ve katı kısımdaki asitte çözünen ve çözünmeyen lignin içerikleri NREL (National Renewable Energy Laboratory) yöntemine göre belirlenmiştir (Sluiter ve diğ. 2008). HPLC'deki şeker analizleri öncesinde monosakkaritleri içeren asit hidrolizatlarının pH derecesi kolonun zarar görmemesi için kalsiyum karbonatla 7 düzeyine getirilmiştir. HPLC analizleri Agilent 1200 sistemi (Şekil 2.8) ve bu sisteme bağlı RID (refractive index detector) ile gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon hacmi 20  $\mu$ L olarak uygulanmıştır. Mobil faz olarak 5 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmış ve akış hızı dakikada 0,4 ml olacak şekilde belirlenmiştir.



Şekil 2.8. HPLC analiz cihazı (Agilent 1200).

Şekerlerin (sellobioz, glukon, ksilan ve arabinan) kromatografik ayrılması işlemi için Shodex SH1011 (No: H810110) kolonu kullanılmış ve kolon sıcaklığı 65°C olarak gerçekleştirilmiştir.

Test ve kontrol örneklerine ait 60 mesh'lik elek üzerinde kalan kısımların rutubet miktarları (Tappi T 12 wd-82) belirlenerek, polietilen poşetlerde muhafaza edilmiştir. Şeker ve lignin analizlerinde her bir varyasyon için 0,3 g tam kuru odun örnekleri kullanılmış ve bu deneyler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Asitte çözünmeyen lignin içerikleri tartımla, asitte çözünen lignin içeriği ise 320 nm dalga boyunda saf suya karşı UV spektrometrede belirlenmiştir. İndirgen şekerler (540 nm dalga boyunda) DNS (3,5-dinitrosalysilic acid, 2-hydroxy-3,5-dinitrobenzoik acid) metoduyla belirlenmiştir. Kontrol ve test örneklerine uygulanan hidroliz işleminden sonra indirgen şeker içeriği tam kuru maddeye oranla yüzde olarak hesaplanmıştır (Sluiter ve diğ. 2008).

Farklı sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak meydana gelen ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$A_o = \frac{(K_{\delta} - T_{\delta})}{K_{\delta}} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

$A_o$  : Ağırlık kaybı (%),

$K_{\delta}$  : Isıl işlem öncesi ağırlık (g)

$T_{\delta}$  : Isıl işlem sonrası ağırlık (g)

Farklı sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak meydana gelen glukon kaybı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Glukon kaybı (\%)} = \frac{(GU - GP)}{GU} \times 100 \quad (2.2)$$

GU : Isıl işlem görmemiş odun örnekleri içerisindeki glukon miktarı (g)

GP : Isıl işlem görmüş odun örnekleri içerisindeki glukon miktarı (g)

Ksılan miktarında meydana gelen kayıplar, yukarıdaki formülde belirtildiği gibi ısı işlem görmemiş/görmüş örnekler içerisindeki ksılan miktarı (g) dikkate alınarak tespit edilmiştir.

#### 2.2.2.2. FTIR Analizi

FTIR analizleri için üç meşcereden elde edilen 80 mesh elekten geçen dişbudak odun tozları kullanılmıştır. Absorpsiyon pikleri ATR (Attenuated total reflection) metoduna göre, herhangi bir ön işlem uygulanmadan direk olarak elde edilmiştir. FTIR analizleri, Shimadzu IR Prestige-21 spektrofotometre yardımı ile 4000 ile 50  $\text{cm}^{-1}$  dalga uzunluklarında, 4  $\text{cm}^{-1}$  çözünürlükte ve her bir örnek için 20 tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.2.3. Holoselüloz Tayini

DYD (*Fraxinus angustifolia*)'ye ait 5 g odun tozu örneği; 160 ml saf su, 1,5 g  $\text{NaClO}_2$  ve 10 damla (0,5 ml) buzlu asetik asit bir erlene konulmuş ve ağzı kapatılarak, bir saat süre ile 78-80°C'deki su banyosunda tutulmuştur. Bir saat sonra karışıma 1,5 g  $\text{NaClO}_2$  ve 10 damla buzlu asetik asit ilave edilerek bir saat süreyle ısıtmaya devam edilmiştir. Bu işlem bir kez daha tekrar edildikten sonra karışım cam krozeden süzülmüştür. Kalıntı önce asetonla daha sonra soğuk saf su ile tekrar yıkanarak etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır (Wise, 1962).

#### 2.2.2.4. $\alpha$ -selüloz Tayini

Önceden holoselüloz tayinine uğratılan örnekten 2 g alınarak, alfa-selüloz tayininde kullanılmıştır. Örnek behere konduktan sonra üzerine 10 ml %17,5'lük NaOH çözeltisinden ilave edilip, iyice karıştırılmıştır. Bu işlemden 5 dakika sonra 5 ml %17,5'lük NaOH çözeltisinden tekrar ilave edilip karıştırılmış ve bu işlem 5 dakika arayla iki kez daha tekrar edilmiştir. Karışım 20°C'deki su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda karışıma 33 ml saf su ilave edilmiş ve karıştırılmıştır. 1 saat süreyle bekletildikten sonra krozeden saf su ile süzülmüştür. Her bir örnek sırayla %8,3'lük NaOH çözeltisi ve saf suyla yıkandıktan sonra üzerine %10'lük asetik asit dökülerek 3 dk bekletilmiştir. Tekrar saf suyla yıkanıp, etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır (Anonim 2013).

#### 2.2.2.5. Lignin Tayini

Daha önceden alkol benzen çözünürlüğüne uğratarak, oda sıcaklığında kurutulmuş olan numuneden 1 g örnek tartılarak bir behere aktarılmış ve üzerine 15 ml %72'lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilave edilmiştir. Örnek zaman zaman karıştırılarak 20°C sıcaklıkta iki saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda materyal iyice yıkanarak 1 lt'lik erlenmayer içine konulmuştur. Üzerine 560 ml saf su eklenerek, bir geri soğutucu altında 4 saat kaynatılmıştır. Kalıntı 4 nolu krozeden süzülerek, 500 ml sıcak saf su ile yıkanmış ve etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır (Anonim 2013).

#### 2.2.2.6. Kül Tayini

Odun tozu örneğinden 2'şer g alınarak porselen bir krozede önce bek alevinde hafif ateşte tüm karbon uzaklaştırılincaya kadar yakıldıktan sonra kül fırınında 575±25°C'de sabit tartıma gelinceye kadar yakılmıştır. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır (Anonim 2013).

#### 2.2.2.7. Alkol-benzen Çözünürlüğü

DYD'ye ait 2 g örnek, ekstraksiyon balonuna konmuş ve 200 ml'lik alkol-benzen karışımı (karışım oranı 2/1) ile 6-8 saat süreyle kaynamaya uğratılmıştır. Ekstraksiyon balonundan alkol-benzen çözeltilisi buharlaştırıldıktan sonra oda sıcaklığında kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır (Anonim 2013).

#### 2.2.2.8. %1'lik NaOH Çözünürlüğü

Odun tozu 2 g materyal 200 ml'lik beher içine konulmuş, üzerine %1'lik NaOH çözeltilisinden 100 ml ilave edildikten sonra beherin ağzı kapatılmış ve su banyosuna (87-100°C) yerleştirilmiştir. Beherin su banyosuna yerleştirilmesinden sonraki 10. 15. ve 25. dakikalarda 3 defa karıştırılmıştır. 1 saat sonra beherdeki karışım krozeden süzülmüş ve 50 ml %10'luk asetik asit ile sonra da sıcak su ile yıkanarak, etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır (Anonim 2013).

### 2.2.2.9. Soğuk ve Sıcak Su Çözünürlüğü

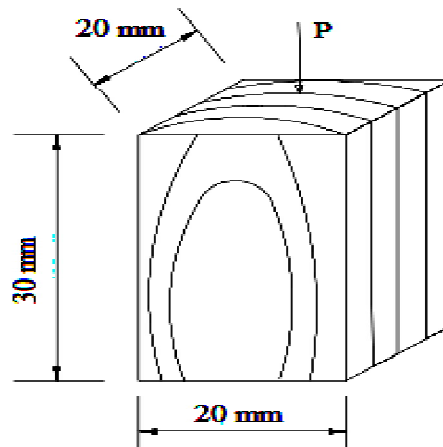
Soğuk su çözünürlüğünde, 2 g materyal bir behere konularak, üzerine 300 ml saf su ilave edilmiştir. Bu karışım  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 48 saat süreyle sık sık karıştırılmıştır. Bu sürenin sonunda örnek krozeden süzölmüş, saf suyla yıkanmış ve etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır.

Sıcak su çözünürlüğünde ise 100 ml saf su ile 2'şer g örnek, geri soğutucu altında 200 ml'lik bir erlene yerleştirilmiştir. Erlen kaynayan su banyosuna konulup, 3 saat bekletildikten sonra krozeden süzölmüş ve sıcak suyla yıkandıktan sonra etüvde kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlığın yaş ağırlığa oranı yüzde olarak hesaplanmıştır (Anonim 2013).

### 2.2.3. Fiziksel Test Yöntemleri

#### 2.2.3.1. Ağırlık Kaybı

Isıl işlem sonucu oluşan ağırlık kayıplarının belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler hazırlanmıştır (Şekil 2.9). Her bir kombinasyon için 20'şer adet deney örneği kullanılmıştır. Ağırlıkların belirlenmesinde TS 2472 esaslarına uyulmuştur. Tam kuru ağırlığın belirlenmesi için örnekler  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki bir etüvde ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen örnekler, etüvden alınarak  $\pm 0,001$  g duyarlıklı elektronik terazide tartılmış ve ısıl işlem öncesi tam kuru ağırlıkları ( $m_6$ ) tespit edilmiştir.



Şekil 2.9. Ağırlık kaybı, yoğunluk ve basınç direnci örnek şekli ve boyutları (Bal 2006).

Daha sonra örnekler farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtılma tabii tutulmuştur. Isıtılma işlemi sonrası örnekler, etüvde tekrar değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen örnekler etüvden alınarak  $\pm 0.001$  g duyarlıklı elektronik terazide tartılmıştır ( $m_s$ ). Ağırlık kayıpları (AK) % olarak aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$AK = \frac{m_0 - m_s}{m_0} \times 100 \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte;

AK : Ağırlık kaybı (%),

$m_0$  : Isıtılma işlemi öncesi tam kuru ağırlık (g),

$m_s$  : Isıtılma işlemi sonrası tam kuru ağırlık (g) değeridir.

#### 2.2.3.2. Hava kuru yoğunluk değeri

Hava kuru yoğunluk değerinin belirlenmesi için 20x20 mm enine kesit ölçülerinde ve lif doğrultusundaki uzunluğu 30 mm olan kare prizma şeklinde örnekler hazırlanmıştır (Şekil 2.9). Tüm varyasyonlarda test ve kontrol denemeleri için 20'şer adet deney örneği kullanılmıştır.

Yoğunluk denemeleri TS 2472 standardına göre yürütülmüştür. Buna göre deney örnekleri,  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve %  $65 \pm 3$  bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında bekletilmiş ve değişmez ağırlığa ulaşmaları sağlanmıştır. Daha sonra örneklerin ağırlıkları 0,001 g duyarlıkta analitik terazide tartılmış, boyutları ise 0,01 mm duyarlıkta kumpas ile ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Hava kuru yoğunluk değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$\delta_r = \frac{M_r}{V_r} \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte;

$\delta_r$  : Herhangi bir rutubetteki yoğunluk değeri ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),

$M_r$  : Herhangi bir rutubetteki ağırlığı (g),

$V_r$  : Herhangi bir rutubetteki hacim değeri ( $\text{cm}^3$ ) ifade edilmektedir.



Rutubet değerleri %12±3 aralığında değişen test ve kontrol örneklerinin %12 rutubetteki yoğunluk değerine dönüştürülmesinde aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır. Buna karşın, belirtilen aralığın dışında rutubet değerlerine sahip varyasyonlara herhangi bir rutubet dönüşümü yapılmamıştır.

$$\delta_{12} = \left( 1 - \frac{(1 - 0,85 \delta_r) \times (r - 12)}{100} \right) \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte;

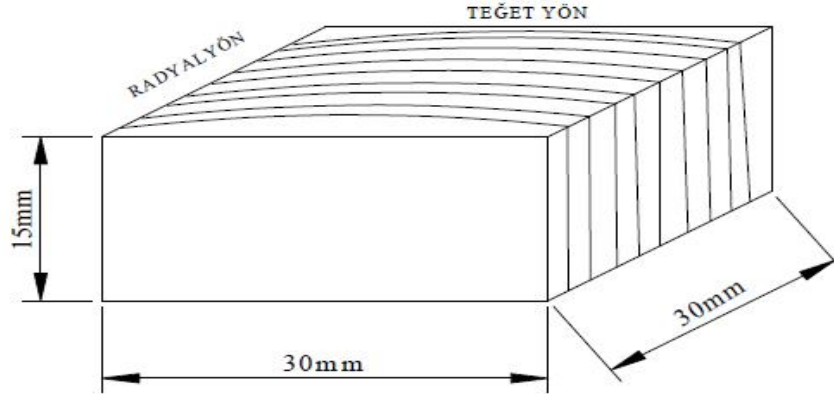
$\delta_{12}$  : Hava kuru (%12 rutubetteki) yoğunluk değeri (g/cm<sup>3</sup>),

$\delta_r$  : Herhangi bir rutubetteki yoğunluk değeri (g/cm<sup>3</sup>),

r : Örneklere ait rutubet (%) değeridir.

### 2.2.3.3. Denge Rutubeti Miktarı

Denge rutubet miktarının (DRM) belirlenmesinde 30x30x15 mm (teğet, radyal ve lif yönü) boyutlarındaki deney örnekleri kullanılmıştır. Her bir test ve kontrol örnekleri için 10'ar adet örnek hazırlanmıştır. Denge rutubeti örneklerinin şekil ve boyutları Şekil 2.10'da, ölçümlerde kullanılan test ve kontrol örneklerinin görüntüsü ise Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.10. Denge rutubeti ve genişleme örneklerine ait şekil ve boyutlar (Bektaş 1997).

Kontrol örnekleri ile ısı işlem uygulanan test örneklerinin tam kuru ağırlıkları belirlendikten sonra, 20±2°C sıcaklık ve % 65±3 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasına yerleştirilmiştir. Deney örneklerinin ağırlıkları denge rutubet miktarına yani

ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar sürekli ölçümler yapılarak, DRM değerleri tespit edilmiştir. DRM değerleri aşağıdaki formül yardımı ile belirlenmiştir (TS 2471, Kubojima ve diğ. 2000).

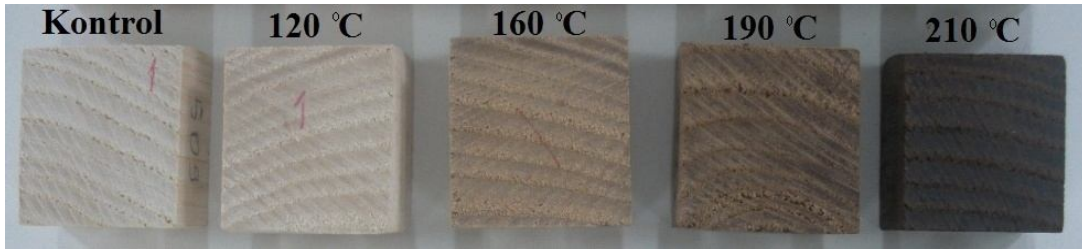
$$DRM = \frac{(A_r - A_0)}{A_0} \times 100 \quad (2.6)$$

Eşitlikte;

DRM : Denge rutubeti miktarı (%),

Ar : 20±2°C sıcaklık ve % 65±5'te değişmeyen rutubetli ağırlık (g),

Ao : Tam kuru ağırlık (g) değerini ifade etmektedir.



**Şekil 2.11.** Denge rutubeti ve genişleme deneyi kontrol ve test örneklerine ait görüntü.

#### 2.2.3.4. Su Alma oranı ve Su İtici Etkinlik

Su alma oranı (SAO) ve su itici etkinlik (SİE) değerlerinin tespitinde kullanılan deney örnekleri, 30x30x15 mm boyutlarında hazırlanmıştır (Şekil 2.10). Deneylerde, kontrol ve test örnekleri için ayrı ayrı 20 adet deney örneği kullanılmıştır (Şekil 2.11).

Isıl işleme tabi tutulan test örnekleri ile onlarla aynı yıllık halkaları ihtiva eden kontrol örneklerinin 103± 2°C'de değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve tam kuru haldeki boyut ve ağırlıkları 0,01 mm ve 0,01 g duyarlıkta tespit edilmiştir. Daha sonra deney ve kontrol örnekleri 20 ±1°C'de su içerisine üstlerine bir ağırlık konulmak sureti ile bırakılmışlardır. 2, 4, 8, 24, 48 saat ile 1 ve 2 hafta süreli periyotlar sonunda deney ve kontrol örneklerinin aldığı su miktarı ölçülmüştür. Bunun için her periyot sonunda sudan alınan örneklerin üzerindeki su peçete ile silinmiş ve terazide tartımları yapılarak absorbe edilen su miktarı (Abs) olarak kayıt edilmiştir. Başlangıçtaki tam kuru ağırlık (deney örneği (Pao) veya kontrol örneği (Ao)) ve Abs değerleri kullanılarak SAO (%),

her periyotta, her deney ve kontrol örneği için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Yıldız 2002).

$$SAO = \frac{A_{bs} - P_{a0}(\text{veya } A_0)}{P_{a0}(\text{veya } A_0)} \times 100 \quad (2.7)$$

Muamele edilmemiş oduna kıyasla ısıtılma tabii tutulmuş odun örneklerinin su alma oranlarında meydana gelen azalma olarak ifade edilen su itici etkinlik değeri (SİE) ise, her periyotta, her deney örneği için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$SİE = \frac{(SAO_k - SAO_t)}{SAO_k} \times 100 \quad (2.8)$$

Eşitlikte;

SAO<sub>k</sub> : Kontrol örneğinin belirli bir periyot sonundaki su alma oranı (%),

SAO<sub>t</sub> : Test örneğinin belirli bir periyot sonundaki su alma oranıdır (%).

#### 2.2.3.5. Genişleme Miktarı ve Boyut Stabilizasyonu

Genişleme miktarı ve boyut stabilizasyonu deneylerinde, SAO ve SİE deneylerinde kullanılan örneklerden yararlanılmıştır. Söz konusu deneylerde kullanılan test ve kontrol örneklerinin tam kuru halde teğet yöndeki boyutları, 0,01 mm duyarlılıkta kumpas ile tespit edilmiştir. Boyutlar değişmez hale gelinceye kadar, yani LDN'ye kadar suda bekletilen örneklerden aynı noktalardan yapılan ölçümlerle genişlemiş haldeki boyutları saptanmıştır. TS 4084 (1983)'deki genel esaslara uyularak yapılan ölçümlerden sonra teğetsel genişleme yüzdesi ( $\alpha_{tg}$ ) değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\alpha_{tg} = \frac{(T_2 - T_1)}{T_1} \times 100 \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte;

T1 : Teğet yönde tam kuru haldeki boyutları (mm),

T2 : Teğet yönde 2 haftalık suda bekletme sonunda genişlemiş boyutlardır (mm).

Test örneklerinin genişleme miktarında kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı, dolayısı ile ısıtılma işleminden kazanılan boyut stabilizasyonunu ifade eden genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değeri, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Yıldız 2002).

$$GET = \frac{(k\alpha_{tg} - t\alpha_{tg})}{k\alpha_{tg}} \times 100 \quad (2.10)$$

Eşitlikte;

$k\alpha_{tg}$  : Kontrol örneğinin teğet yönde genişleme yüzdesi (%),

$t\alpha_{tg}$  : Test örneğinin teğet yönde genişleme yüzdesidir (%).

#### **2.2.4. Mekanik Test Yöntemleri**

##### *2.2.4.1. Liflere Paralel Basınç Direnci*

Deneyler TS 2595 (1977) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Örneklerin hazırlanması için gövdelerin 2-4 m arasında kalan kısımlarından alınan 1,5-2 m uzunluğundaki tomruklar kullanılmıştır. Standartta öngörülen 20×20 mm enine kesit ölçülerinde ve liflere paralel yöndeki uzunluğu 30 mm olan örnekler hazırlanmıştır. Kusurlu örnekler ayırdıktan sonra, kusur içermeyen test ve kontrol örneklerinden 20'şer adet deney örneği kullanılmıştır (Şekil 2.8). Deney örneklerinin klimatize edilmesi ile rutubetleri %12'ye getirilmiştir. Enine kesit ölçüleri ve lif boyu uzunlukları 0,01 mm, ağırlıkları ise 0,01 g hassasiyetle ölçülmüştür. Daha sonra statik bir yükleme uygulanarak kırılma anındaki maksimum yük miktarları tespit edilmiştir. Deney sonrası test örneklerine ait görüntüler Şekil 2.12'de verilmiştir.

Deneyler 10 tonluk üniversal test cihazında yapılmıştır. Standarda göre yükleme hızı, 1,5-2 dakika içerisinde örneklerde kırılma gerçekleşecek şekilde ayarlanmış olup kırılma esnasındaki kuvvet ( $P_{max}$ ) kaydedilmiştir. Aşağıdaki formül yardımı ile basınç direnci hesaplanmıştır.



**Şekil 2.12.** Liflere paralel basınç direnci test örneklerinin deney sonrası kayma şekilleri.

$$\sigma_{basinç} = \frac{P_{max}}{b \times h} \quad (2.11)$$

Eşitlikte;

$\sigma_{Basinç}$  : Liflere paralel basınç direnci (N/mm<sup>2</sup>),

$P_{max}$  : Kırılma anındaki maksimum yük miktarı (N),

$b$  : Örnek genişliği (mm),

$h$  : Örnek kalınlığıdır (mm).

Deneylerden hemen sonra örneklerde rutubet analizi yapılarak, standardın öngördüğü %12 rutubetten  $\pm 3$  kadar sapma gösteren örnekler için aşağıda verilen formül yardımı ile dönüşümler yapılmıştır.

$$\sigma_{12} = \sigma_r \times [1 + 0,05(r - 12)] \quad (2.12)$$

Eşitlikte;

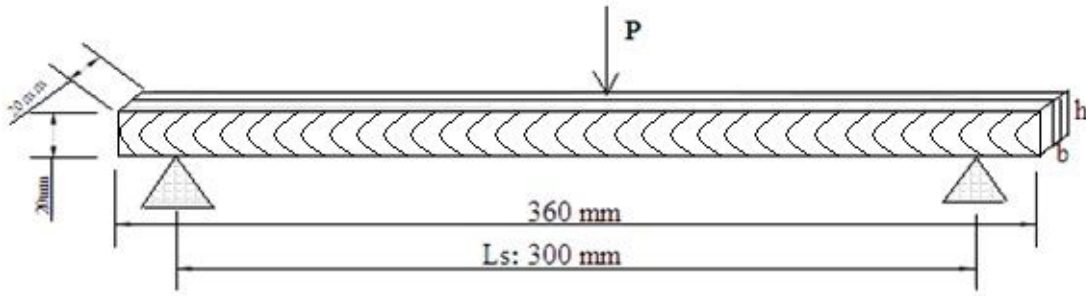
$\sigma_{12}$  : Hava kurusu (%12) rutubetteki basınç direnci (N/mm<sup>2</sup>),

$\sigma_r$  : Herhangi bir rutubetteki basınç direnci (N/mm<sup>2</sup>),

$r$  : Örnekler için rutubet değeri.

#### 2.2.4.2. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Eğilme direncinin belirlenmesinde TS 2474 (1976) standardından faydalanılmıştır. Eğilme direnci denemeleri için 20x20x360 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Bu örnekler de, diğerleri testlerde olduğu gibi 1,5-2 m uzunluğundaki tomruklardan temin edilmiştir. Her bir uygulama için 20 adet test ve 20 adet kontrol örneği kullanılmıştır. Deney örnekleri iklimlendirme odasında 4 hafta bekletilerek rutubetlerinin dengelenmesi sağlanmıştır. Örnek boyutları radyal yön en (b), teğet yön ise kalınlık (h) olarak 0,01 hassasiyetli dijital kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Eğilme direnci şekil ve boyutları şekil 2.13'te verilmiştir.



**Şekil 2.13.** Eğilme ve elastikiyet modülü örneklerinin şekil ve boyutları.

Deneyler, Divapan A.Ş. laboratuvarlarında bir tonluk universal test cihazında (Imal Mobiltemp shc22, model ib400) gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.14). Mesnet açıklığı, örnek kalınlığının 15 katı (300 mm) olarak, makine hızı ise örneği 1,5-2 dakikada kıracak şekilde ayarlanmıştır. Deneylerde kullanılan kontrol ve test örneklerinin görünümü ise Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Kırılma anındaki maksimum yük belirlenerek, eğilme direnci aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{eğilme} = \frac{3}{2} \times \frac{P_{max} \times L}{b \times h^2} \quad (2.13)$$

Eşitlikte;

$\sigma_{eğilme}$  : Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>),

$P_{max}$  : Kırılma anındaki maksimum yük miktarı (N),

$L_s$  : Dayanak noktaları arasındaki mesafe (mm),

- b : Örnek genişliği (mm),  
h : Örnek kalınlığıdır (mm).

Deneylelerden hemen sonra her bir örneğe ait rutubet değeri, kırılma alanına yakın kısımlardan örnekler alınarak belirlenmiştir. Rutubet değeri %12±3 farklı örneklerin direnç değeri aşağıdaki formül yardımıyla tahvil edilmiştir.

$$\sigma_{12} = \sigma_r \times [1 + 0,04(r - 12)] \quad (2.14)$$

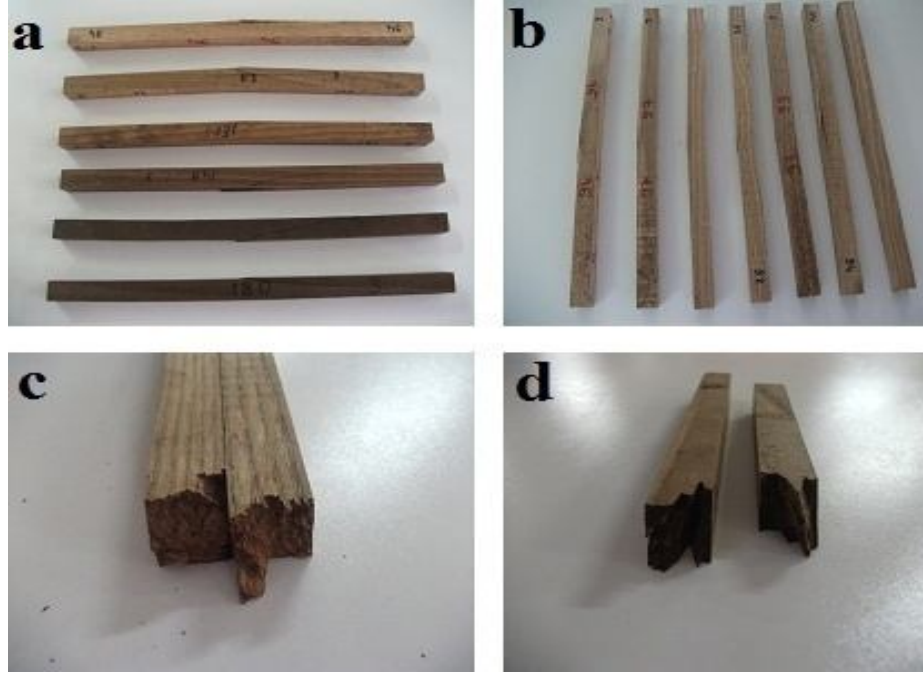
Eşitlikte;

- $\sigma_{12}$  : %12 rutubetteki eğilme direnci değeri (N/mm<sup>2</sup>),  
 $\sigma_r$  : % r rutubetteki eğilme direnci değeri (N/mm<sup>2</sup>),  
r : Deney anındaki örnek rutubetidir (%).



**Şekil 2.14.** Üniversal Test makinesinde eğilme ve elastikiyet modülü deneyi (Divapan A.Ş.).

Elastikiyet modülü deneylerinde, eğilme direncinde kullanılan örneklerden faydalanılmıştır. Elastikiyet modülü TS 2478 (1976) standardına göre yürütülmüştür.



**Şekil 2.15.** Eğilme ve elastikiyet modülü deneyleri sonrası kontrol ve test örneklerinin görünümü (a-b: kırılma şekli, c-d: kırılma yüzeyi).

Kuvvetin liflere dik yönde ve örneğin tam ortasından uygulanmasına dikkat edilmiştir. Elastikiyet modülü değeri aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlenmiştir.

$$E - Modülü = \frac{1}{4} \times \frac{P_{max} \times L_s^3}{\Delta f \times b \times h^3} \quad (2.15)$$

Eşitlikte;

$E_{-Modülü}$ : Elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ),

$\Delta P$  : Örneğe uygulanan yük miktarındaki değişim (N),

$L_s$  : Dayanak noktaları arasındaki mesafe (mm),

$b$  : Örnek genişliği (mm),

$h$  : Örnek kalınlığı (mm),

$\Delta f$  : Deformasyonda meydana gelen değişim (mm).

Rutubet analizleri yapılarak %12 rutubetten  $\pm 3$  aralığında sapma gösteren örneklerde direnç değerleri aşağıdaki formül yardımıyla tahvil edilmiştir.



$$E_{12} = E_r \times [1 + 0,02(r - 12)] \quad (2.16)$$

Bu eşitlikte;

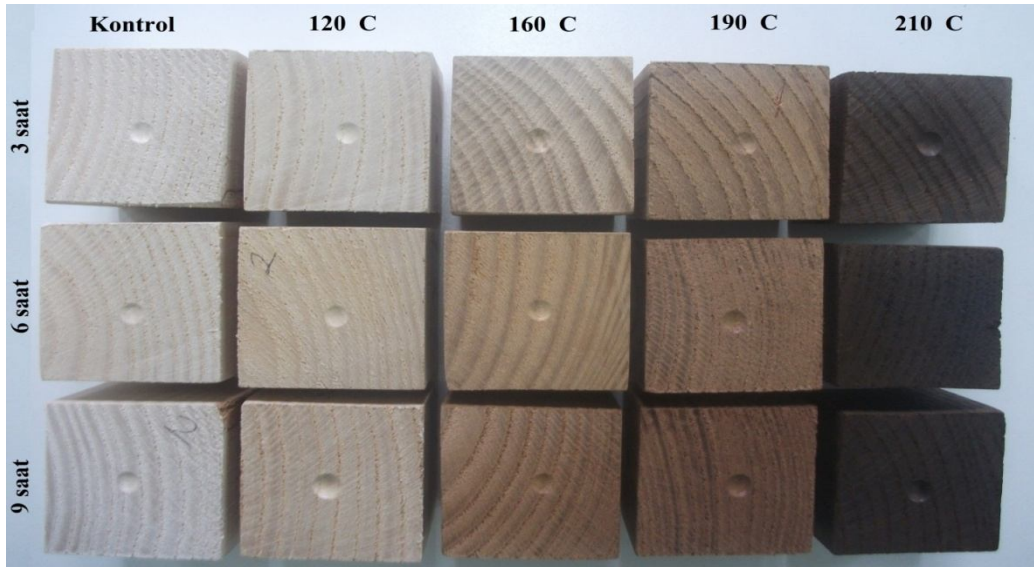
$E_{12}$  : %12 rutubetteki elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>),

$E_r$  : % r rutubetteki elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>),

r : Deney anındaki örnek rutubetidir (%).

#### 2.2.4.3. Janka Sertlik Değeri

Janka sertlik değeri TS 2479 (1976) standardına göre tespit edilmiştir. Buna göre 2 m'lik gövde kısımlarından hazırlanan örnekler kullanılmıştır. Standartlara göre 50×50×50 mm ölçülerinde hazırlanan 20 şer adet kontrol ve test örnekleri (Şekil 2.16) klimatize edildikten sonra, enine, radyal ve teğet kesitlerine, çapı 11,284 mm olan çelik küre yarısı derinliğe (5,642 mm) kadar sokulmuş ve bu sırada uygulanan yük tespit edilmiştir.



**Şekil 2.16.** Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işlem uygulanmış test ve kontrol örneklerine ait Janka sertlik deneyi sonrası görünüm.

Örnek üzerinde açılan deliğin alanı 1 cm<sup>2</sup> olduğundan, makineden okunan değer doğrudan Janka sertlik değerini vermektedir. Rutubet analizleri yapılarak %12 rutubetten sapma gösteren örneklerde direnç değerleri aşağıdaki formül kullanılarak tahvil edilmiştir.

$$H_{j12} = H_{jr} \times [1 + \alpha(r - 12)] \quad (2.17)$$

$H_{j12}$	: %12 rutubetteki Janka sertlik değeri	(N/mm <sup>2</sup> )
$H_{jr}$	: % r rutubetteki Janka sertlik değeri	(N/mm <sup>2</sup> )
r	: Deney anındaki örnek rutubeti	(%)

Burada  $\alpha$ , rutubet miktarı için düzeltme katsayısı olup bu değer enine kesit sertliği için 0,04, radyal ve teğet kesit için ise 0,025'tir.

### 2.2.5. Yüzde Değişimlerin Hesaplanması

Ağırlık kaybı hariç bu tez çalışmasında yapılan bütün deneylerde, ısı işleme tabi tutulmuş test örneklerinden elde edilen değerlerin, kontrol örneklerinden elde edilen değerlere kıyasla oluşan artış veya azalış oranları aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$A_o = \frac{(K_{\delta} - T_{\delta})}{K_{\delta}} \quad (2.18)$$

Bu eşitlikte;

$A_o$	: Artış veya azalış oranı (%)
$K_{\delta}$	: Isıl işlem öncesi kontrol örneği sertlik değeri (N/mm <sup>2</sup> ),
$T_{\delta}$	: Isıl işlem sonrası test örneği sertlik değeridir (N/mm <sup>2</sup> ).

### 2.2.6. Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Veriler SPSS 19 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tez çalışmasında yapılan her bir varyasyon için örneklerin normal dağılım gösterip göstermediği denetlenmiş ve gerekli varyasyonlar belirlenerek normal dağılıma dönüştürme yöntemleri kullanılmıştır. Bütün karşılaştırmalarda güven düzeyi 0,05 (%95) olarak alınmıştır. Isıl işlem sırasında uygulanan 4 farklı sıcaklık (120, 160, 190 ve 210 °C) ve 3 farklı süreden (3, 6 ve 9 saat) meydana gelen 12 adet test ve bunlara ait kontrol grupları arasında istatistiksel anlamda farklılık olup olmadığı, gerçekleştirilen her bir deney için basit varyans analizi (BVA) ile tespit edilmiştir. Her üç meşçere, ısı işlem sıcaklığı, süresi ve bu üç faktörün etkileşimi çoğul varyans analizi (ÇVA) ile belirlenmiştir. ÇVA sonucu gruplar arasında anlamlı farklılıkların tespit edilmesi durumunda Duncan testi uygulanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. KİMYASAL ÖZELLİKLER

Kimyasal analizlerde, öncelikle üç farklı meşcereden temin edilen dişbudak odunu kontrol örneklerinin holoselüloz,  $\alpha$ -selüloz, lignin ve kül tayinleri ile çözünürlük deneylerinden alkol-benzen, %1'lik NaOH, sıcak su ve soğuk su çözünürlükleri tespit edilmiştir (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1.** Farklı meşcerelerden alınan *Fraxinus angustifolia* örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (%).

Meşcereler	Kimyasal Bileşenler			Çözünürlük				
	Holoselüloz	$\alpha$ -selüloz	Lignin	Kül	Alkol-Benzen	%1 NaOH	Sıcak su	Soğuk su
Doğal	79,75 <i>a</i> *	51,25 <i>a</i>	22,21 <i>a</i>	0,72 <i>a</i>	5,39 <i>a</i>	20,36 <i>a</i>	8,15 <i>a</i>	7,64 <i>a</i>
3x2,5 m	77,17 <i>a</i>	51,72 <i>a</i>	21,66 <i>a</i>	0,73 <i>a</i>	3,75 <i>b</i>	17,41 <i>b</i>	5,96 <i>b</i>	6,14 <i>b</i>
4x4 m	76,03 <i>a</i>	50,08 <i>a</i>	21,31 <i>a</i>	0,70 <i>b</i>	2,48 <i>c</i>	20,15 <i>a</i>	6,32 <i>b</i>	6,81 <i>b</i>

\* Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ( $p < 0,05$ ).

Dişbudak kontrol örneklerinin farklı dikim aralıklarına ait kimyasal bileşenlerdeki değişim incelendiğinde, her üç meşcereye ait holoselüloz,  $\alpha$ -selüloz ve lignin değerlerinin %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklı olmadığı tespit edilmiştir. Holoselüloz oranları %76,03 ile %79,75 arasında değişmektedir.  $\alpha$ -selüloz oranı dikim aralıklarına göre önemli bir değişiklik göstermemekle birlikte ( $p > 0,05$ ) en yüksek 3x2,5 m'de (%51,72) tespit edilmiştir. Lignin oranlarına bakıldığında en yüksek lignin içeriğinin Doğal meşcerede (%22,21) en düşük ise 4x4 m'de (%21,31) gerçekleşmiştir. Kül oranı, her üç meşcerede de %0,70 civarında tespit edilmiştir. Çözünürlük değerlerinden, alkol-benzen çözünürlüğü %2,48 ile %5,39 arasında değişmektedir. % 1 NaOH çözünürlüğü meşcerelere göre sırasıyla %20,36, %17,41 ve %20,15 olarak bulunmuştur. En yüksek sıcak ve soğuk su çözünürlükleri Doğal meşcereden alınan

örneklerde tespit edilmiştir (%8,15 ve %7,64). Kimyasal analizler genel olarak incelendiğinde her üç meşcere içinde elde edilen değerler benzerlik göstermekle birlikte, bölgesel ve coğrafi özellikler, yetişme ortamı, toprak özelliklerindeki kısmi farklılıklar nedeni ile bazı kimyasal içeriklerinde minimum seviyede değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Vila ve diğ. 2012). Çizelge 3.2’de Türkiye’de yetişen bazı yapraklı ağaçlara ait daha önce tespit edilmiş kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Türkiye’de yetişen bazı yapraklı ağaç odunlarının kimyasal bileşimi (%).

Yapraklı Ağaç Türü	Kimyasal Bileşenler			Çözünürlük				
	Holoseülüz	Selüloz	Lignin	Kül	Alkol-Benzen	%1 NaOH	Sıcak su	Soguk su
<i>Carpinus betulus</i> (Tank 1978)	80,6	38,0	18,4	0,6	2,4	18,8	3,1	-
<i>Fagus orientalis</i> (Tank 1978)	78,9	41,5	22,6	0,6	1,5	15,6	1,9	-
<i>Ailanthus altissima</i> (Tuğtekin 1993)	77,5	47,9	18,5	0,7	2,5	18,6	3,4	
<i>Morus alba</i> (Şirin 2006)	86,0	53,1	21,3	-	11,1	14,8	14,8	6,04
<i>Acer japonicum</i> (Fengel ve Wegener 1984)	81,7	47,4	20,7	-	1,9	-	4,3	-
<i>Robinia pseudoacacia</i> (Kırcı 1987)	82,0	53,1	21,3	0,6	6,2	22,1	8,1	-
<i>Fraxinun excelsior</i> L. (Bozkurt ve Erdin 1989a)	62-74	41-47	21-30	-	5,4	-	-	-

Çizelge 3.2’ye bakıldığında, DYD örneklerine ait holoseülüz oranları Avrupa dışbudağı (*Fraxinun excelsior* L.) odunundan yüksek, Ak duttan (*Morus alba*) ise düşük bulunmuştur. Diğer türlere göre holoseülüz oranı benzer sonuçlar vermiştir. Dışbudak örneklerine ait lignin oranları, çizelgedeki türlere yakın olup, doğu kayını (*Fagus orientalis*) odunundan düşük çıkmıştır. Kül oranı çizelgede verilen yapraklı ağaçlara yakın bulunmuştur. Çözünürlük oranlarında da ana bileşenlere (holoseülüz, selüloz ve lignin) benzer sonuçlar vermiştir.

Odunun ısıtılma işlemi sonucu meydana gelen kimyasal değişikliklerin günümüzde ancak bir kısmı tespit edilebilmiştir. Bu değişikliklerden en fazla etkilenen odun bileşeni hemiselüloz birimleridir. Ksilan, ısıtılma işlemi esnasında en aktif odun hemiselülozu olup, bozunma reaksiyonlarına karşı çok hassastır. Yapraklı ağaç ksilanı, selülozdan sonra buharlaşan bozunma ürünlerinin en önemli kaynağı durumundadır. Reaktifliğinden dolayı piroliz reaksiyonlarının başlamasında önemli bir rol oynamaktadır (Kotilainen 2000).

Isıtılma işlemi esnasında, odunun yapısında meydana gelen değişiklikleri açıklamak için dişbudak odunlarına ait hemiselüloz birimlerinden, ksilan ve arabinan birimleri ile bunların dışında selülozdan kaynaklanan gluklan, asitte çözünen (ASL) ve çözünmeyen lignin (AIL) oranları tespit edilmiştir. Isıtılma işlemi uğratılmış, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından temin edilmiş dişbudak odunlarına ait kimyasal analiz sonuçları sırası ile Çizelge 3.3-5'te verilmiştir. Yapılan ısıtılma işlemi uygulamasına bağlı olarak her bir meşcereye ait hücre duvarı ana bileşenlerinden gluklan ve ksilan birimlerinde meydana gelen azalma oranları ise Şekil 3.1-2'de görülmektedir.

Yapraklı ağaç hemiselülozu bileşenlerinden olan arabinan oranı diğer bileşenlere göre en düşük değerler vermiş olup, doğal dişbudak odunlarında yapılan HPLC analizlerinde 120°C'de 6 saatlik ısıtılma işlemi uygulamasından sonra tespit edilememiştir. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak örneklerinde arabinan %1,5 civarında elde edilmiş olup, doğal meşcerede olduğu gibi artan ısıtılma işlemi uygulaması ile tamamen uçucu bileşikler haline gelmiştir.

Plantasyon (4x4 m) ormanı kontrol örneklerinde, doğal ve 3x2,5 m dikim aralığından temin edilen dişbudak odunlarından farklı olarak HPLC analizlerinde arabinan birimleri tespit edilememiştir. Yapılan bir çalışmada sıcaklığın 200°C'nin üzerine çıkarılması ile odun içerisindeki ksiloz ve mannoz azaldığı, arabinoz ve galaktozun ise tespit edilemediği ifade edilmektedir (Jamsa ve Wiitaniemi 2001).

Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından temin edilen dişbudak odun örneklerine ait odun ana bileşenleri, ısıtılma işlemi sıcaklık ve süresinin etkisinde farklı değişimler sergilemiştir.

**Çizelge 3.3.** Doğal dışbudak örneklerine ait ortalama kimyasal analiz değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Glukan	Ksilan	Arabinan	AIL	ASL
Kontrol		49,56±2,2	20,87±3,6	2,09±0,02	20,85±0,1	2,30±0,50
120	3	48,77±0,9	20,87±1,2	1,61±0,19	23,22±1,1	2,79±1,23
	6	48,69±1,0	20,66±0,3	1,32±0,14	24,67±0,7	2,07±0,24
	9	49,55±2,3	17,90±0,2	-	23,46±0,7	2,34±0,37
160	3	50,30±1,5	18,37±0,5	-	22,34±0,3	2,56±0,02
	6	48,67±2,2	17,57±0,8	-	22,76±1,2	3,46±0,44
	9	48,26±2,7	17,20±0,9	-	22,95±0,3	2,89±0,13
190	3	52,54±0,6	19,14±1,1	-	21,66±0,2	2,87±0,07
	6	53,18±0,1	17,60±0,2	-	22,30±0,2	3,51±0,16
	9	52,59±0,1	17,19±0,3	-	26,82±0,5	2,69±0,14
210	3	54,39±2,6	13,29±0,1	-	30,74±3,5	2,22±0,13
	6	53,15±2,1	11,18±0,5	-	36,59±3,1	2,16±0,04
	9	51,84±2,2	10,93±0,5	-	33,21±2,6	2,80±0,44

AIL: Asitte çözünmeyen lignin, ASL: Asitte çözünen lignin, ±: standart sapma değeri.

Genel olarak artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak asitte çözünmeyen lignin (AIL) oranlarında artışlar tespit edilmiştir. AIL oranı, doğal dışbudak kontrol örneklerinde %20,85 olarak bulunmuştur. Artan ısı işlem şiddetine bağlı olarak AIL değeri artış göstermiş olup, en yüksek AIL değeri 210°C’de 6 saatlik varyasyonda %36,59 olarak elde edilmiştir.

Asitte çözünen lignin (ASL) miktarında ise uygulanan ısı işlem sonucu önemli bir değişiklik meydana gelmemiş olup en yüksek ASL değeri 190°C’de 6 saatlik uygulamada %3,51 bulunmuştur (Çizelge 3.3).

Plantasyon (3x2,5 m) ormanı dışbudak kontrol örneklerinde tespit edilen AIL değeri %19,77 iken, 210°C’de 6 saatlik ısı işlem sonrası bu değer %30,67 olarak tespit edilmiştir. Artan ısı işlem şartlarında ASL içeriklerinde artışlar gözlenmiş olup, en yüksek ASL %4,56 ile 190°C’de 9 saatlik uygulamada elde edilmiştir (Çizelge 3.4).

**Çizelge 3.4.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanı dışbudak örneklerine ait ortalama kimyasal analiz değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Glukan	Ksilan	Arabinan	AIL	ASL
Kontrol		51,56±1,7	21,85±0,2	1,87±0,2	19,77±2,4	2,12±1,44
120	3	51,33±0,1	21,84±0,8	1,49±0,1	20,76±0,5	2,23±0,59
	6	51,30±2,3	21,45±0,1	1,45±0,1	23,95±0,5	2,44±0,13
	9	51,19±0,2	21,40±0,1	1,52±0,2	23,86±0,4	3,30±0,26
160	3	51,72±0,5	21,96±2,0	1,54±0,8	22,68±1,1	2,70±0,26
	6	51,48±1,3	21,53±1,7	0,57±0,3	22,47±0,7	3,07±0,07
	9	50,08±3,1	20,32±0,1	-	24,09±0,4	4,03±0,35
190	3	53,72±1,0	21,47±0,2	-	21,52±1,9	4,41±0,86
	6	52,46±2,9	19,54±1,0	-	24,18±2,0	3,35±0,27
	9	54,24±0,4	16,07±1,0	-	22,13±0,3	4,56±0,10
210	3	54,63±2,1	14,45±0,5	-	27,00±1,8	2,73±0,02
	6	56,58±1,2	9,95±0,5	-	30,67±0,4	4,53±1,05
	9	54,21±1,6	10,05±0,1	-	28,69±2,3	3,51±0,67

**Çizelge 3.5.** Plantasyon (4x4 m) ormanı dışbudak örneklerine ait ortalama kimyasal analiz değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Glukan	Ksilan	AIL	ASL
Kontrol		48,58±1,1	20,90±0,7	23,49±1,0	1,84±0,28
120	3	47,60±0,6	20,00±0,5	24,00±0,2	1,92±0,01
	6	48,13±0,1	18,70±0,8	24,83±0,5	3,57±0,23
	9	47,50±0,1	16,50±0,1	26,23±0,4	2,91±0,39
160	3	47,50±2,1	17,14±0,3	22,12±0,3	2,32±0,22
	6	48,27±1,2	16,97±0,7	22,62±0,1	3,60±0,24
	9	47,64±0,2	13,72±2,4	25,62±0,4	4,27±0,32
190	3	51,91±0,6	17,18±0,6	24,38±0,3	3,66±0,27
	6	48,33±2,3	12,93±0,7	24,92±0,6	3,36±0,36
	9	47,71±0,1	13,20±0,1	25,66±1,0	4,12±0,19
210	3	48,54±3,4	10,53±0,3	31,98±1,7	2,04±0,53
	6	55,87±2,4	10,40±0,3	32,57±3,8	2,80±0,43
	9	48,44±0,8	9,77±0,3	35,81±3,2	2,50±0,15

Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dişbudak örneklerine ait AIL değerleri, düşük sıcaklıklarda kontrol örneklerine kıyasla önemli bir değişiklik göstermemiş olup özellikle 210°C'deki tüm varyasyonlarda yüksek artış oranları tespit edilmiştir. Asitte çözünen lignin oranları (ASL) ise, uygulanan tüm ısıl işlem varyasyonlarında artış göstermiş olup en yüksek ASL değeri 160°C'de 9 saatlik uygulamada %4,27 bulunmuştur (Çizelge 3.5).

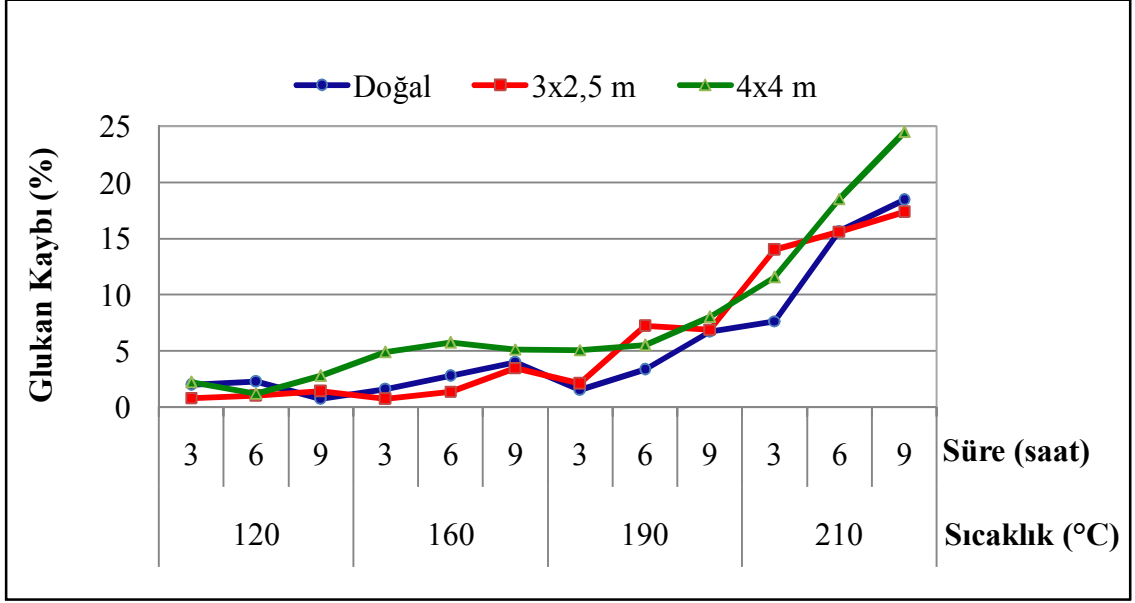
Literatürde, ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak lignin oranının arttığını gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Dirol ve Guyonnet 1993, Gosselink ve diğ. 2004, Yıldız ve diğ. 2006, Esteves ve diğ. 2008b, Ateş ve diğ. 2009, Esteves ve Pereira 2009, Akgül ve Korkut 2012).

Bazı araştırmacılar, ısıl işlem görmüş odun örneklerinde standart metot kullanılarak belirlenen ligninin, saf olmadığı belirtilmektedirler. Lignin, yüksek sıcaklıklarda diğer hücre duvarı bileşenleri ile gerçekleştirdiği çapraz bağlar sonucu oluşan polikondenzasyon reaksiyonlarının, lignin içeriğinde artışlara sebep olduğunu ifade etmektedir (Tjeerdsma ve Militz 2005, Boonstra ve Tjeerdsma 2006, Esteves ve diğ. 2008b).

Yapılan bir çalışmada 205-230°C'de 4 ve 8 saat ısıl işlem uygulanmış sarıçam ve huş odunlarının kimyasal kompozisyonunda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak en yüksek sıcaklık ve sürede sarıçam odununun lignin oranı %24,5'ten 38,7'e çıkarken, huş odununda ise bu oran %21,8'den %35,8'e yükselmiştir (Zaman ve diğ. 2000).

Doğal dişbudak odununa ait kimyasal yapının ana bileşeni glukan olup, kontrol örneklerinde ortalama %49,56 olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.3). Artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak glukan birimlerinde 210°C'ye kadar önemli değişiklikler meydana gelmemiş olup, özellikle 210°C'de 3 saatlik ısıl işlem uygulaması ile birlikte glukan azalma oranlarında artışlar görülmüştür (Şekil 3.1). En yüksek azalma oranı 210°C'de 9 saat ısıl işlem muamelesi sonrasında %18,45 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.1).





**Şekil 3.1.** Isıl işlem uygulamasının glukan kaybı üzerine etkisi.

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dişbudak odununda glukan içeriği kontrol örneklerinde %51,56 olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.4). Glukan birimlerinde, muamele sıcaklık ve süresine bağlı olarak tedrici bir azalma tespit edilmiş olup, özellikle 190°C’de 9 saatlik uygulamadan sonra glukan azalma oranlarında önemli artışlar meydana gelmiştir (Şekil 3.1). En yüksek azalma oranı 210°C’de 9 saat ısıl işlem muamelesi sonrasında %17,37 olarak elde edilmiştir.

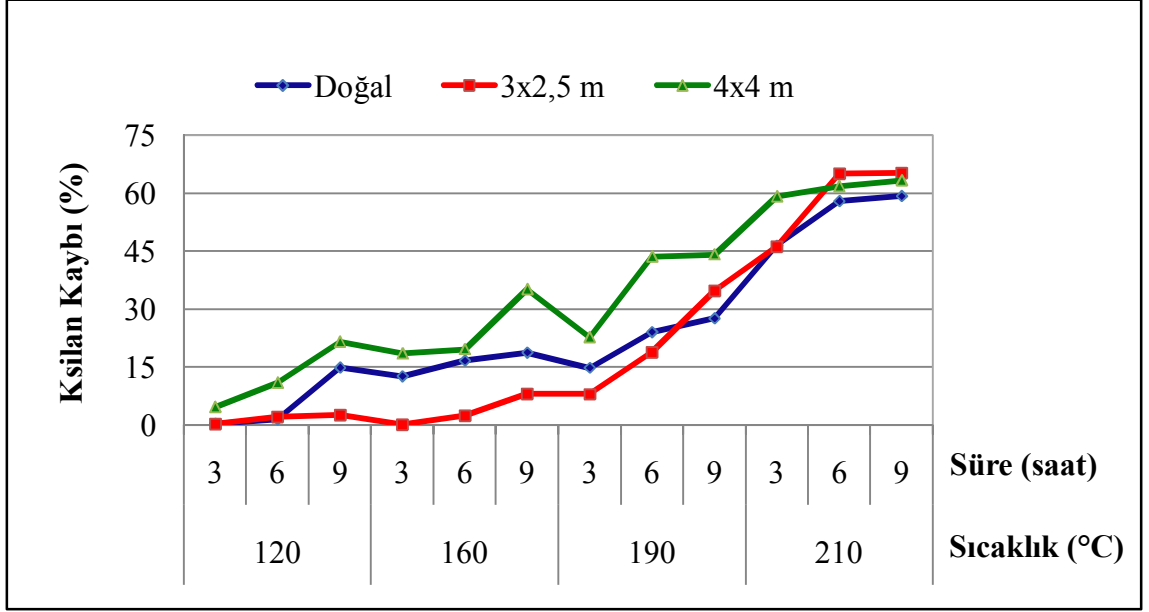
Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dişbudak örneklerinde glukan oranı diğer meşcerelerden daha düşük elde edilmiş olup kontrol örneklerinde %48,58 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3.5). Diğer meşcerelerle karşılaştırıldığında plantasyon (4x4 m) ormanı dişbudak örneklerine ait glukan kayıp oranları, genelde daha yüksek bir düzeyde seyretmiştir (Şekil 3.1). Artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak özellikle 120, 160 ve 190°C sıcaklıklarda kontrol örneklerine oranla glukan miktarlarında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak sıcaklığın 210°C’ye çıkması ile glukan oranlarında kayda değer azalmalar meydana gelmiştir (Şekil 3.1). Üç meşcere arasında glukan içeriğine ait en yüksek azalma oranı, en uzun ısıl işlem uygulamasında %24,45 ile bu meşcerede tespit edilmiştir.

Genel olarak her üç meşcerede elde edilen glukoz (selüloz birimleri) oranları 210°C'ye kadar ılımlı bir değişim göstermektedir. Değişim aralığı sıcaklık ve süre ile doğrusal bir ilişki göstermemiştir. Bu sıcaklık ve süre uygulamaları selüloz üzerinde herhangi bir bozunma etkisi meydana getirmediğini söylemek mümkündür. Ancak sıcaklığın 210°C'ye çıkması ile yine her üç meşcerede de glukoz birimlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalar, sıcaklığın 200°C'nin üzerine çıkarılması ile selülozun bozunma reaksiyonlarının başladığını ve buharlaşabilen yeni ürünlerin meydana geldiğini ifade etmektedirler. Bununla birlikte en önemli bozunma ürünleri arasında, levoglukozan, furan ve furan türevlerinin olduğu belirtilmektedir (Fengel ve Wegener 1989).

Selülozun kristal yapısı, ısı işleminin uygulandığı ortama bağlı olarak 200°C'ye kadar bozunmadan kalabilmekte ve kristalimsi yapı oranı, amorf bölgelerin uzaklaşması ile de artmaktadır (Fengel ve Wegener 1989, Wikberg ve Maunu 2004, Bhuiyan ve Hirai 2005, Boonstra ve Tjeerdsma 2006, Yıldız ve diğ. 2006).

Tümen ve diğ. (2010), Uludağ göknarı (Uludağ fir) ve gürgen ağacı (hornbeam) odunlarını üç farklı sıcaklık (170, 190 ve 210°C) ve üç değişik sürede (4, 8 ve 12 saat) ısı işleme maruz bırakmışlar ve odunların kimyasal yapılarında meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak her iki türe ait  $\alpha$ -selüloz oranlarında 190°C'ye kadar önemli bir değişiklik meydana gelmemiş iken sıcaklığın 210°C'ye çıkması ile azalma oranlarının %25'in üzerine çıktığı tespit edilmiştir. En düşük azalma oranları, ısı işlem uygulamasının en düşük olduğu varyasyonda (170°C ve 4 saat) elde edilmiştir.

Hemiselülozlar düşük sıcaklıklarda bile kolaylıkla bozunabilen odun ana bileşenleridir. Yapraklı ağaç hemiselülozlarının en önemli birimini ksilanlar (pentozan) oluşturmaktadır. Ksilanlar dehidrasyon ve bozunma reaksiyonlarına karşı son derece hassas birimlerdir. Hemiselülozlarda bozunma, sahip oldukları asetil gruplarının kopması sonucu oluşan asetik asidin meydana gelmesi ile başlar. Kapalı ortamlarda asetik asit, bozunma reaksiyonlarının hızlanmasına da yardımcı olur (Sivonen ve diğ. 2002, Nuopponen ve diğ. 2004). Selülozla karşılaştırıldığında hemiselülozların düşük termal kararlılığı kristal yapılarının olmaması ile açıklanmaktadır (Kotilainen 2000).



**Şekil 3.2.** Isıl işlem uygulamasının ksılan kaybı üzerine etkisi.

Her üç meşcereye ait dişbudak odunlarının kontrol ve test örneklerine yapılan kimyasal analizler sonucunda, artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak ksılan birimlerinde önemli azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Doğal dişbudak kontrol örneklerinde ksılan oranı, %20,87 olarak tespit edilmiştir. Bu oran artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak %10,93'e kadar azalmıştır (Çizelge 3.3). En yüksek ksılan kaybı 210°C'de 9 saatlik ısıl işlem sonrasında %59,17 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.2).

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dişbudak kontrol örneklerinde ksılan oranı %21,85 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3.4). Isıl işlemin başlangıcından itibaren ksılan miktarında azalmalar meydana gelmiş olup, bu durum muamele şartlarının artışına bağlı olarak artmıştır. Ksılan miktarındaki azalmalar 190°C'nin üzerinde daha da arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.2). En yüksek ksılan kaybı 210°C'de 9 saatlik ısıl işlem sonrasında tespit edilmiştir (%65,15).

Plantasyon (4x4 m) ormanı, kontrol örneklerinde ksılan içeriği %21,72 olarak bulunur iken, artan sıcaklık ile birlikte ksılan oranlarında azalmalar tespit edilmiştir. En yüksek azalma oranları, 210°C'de 6 ve 9 saatlik varyasyonlarda sırası ile %61,7 ve %63,2 bulunmuştur (Şekil 3.2).

Doğu kayını ve doğu ladini odunları ile yapılan bir çalışmada, 130 ve 180°C’de hemiselüloz oranlarında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Ancak artan ısıı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak hemiselüloz oranında önemli azalmaların meydana geldiği ve bu azalmanın kayın odununda, 200°C’de 10 saatlik varyasyonda %80’lere kadar ulaştığı ifade edilmektedir (Yıldız 2002).

Esteves ve diğ. (2008b) ısıı işlem öncesi ve sonrası asit hidrolizi ile okaliptüs odununun şeker içeriklerini belirlemişlerdir. Elde edilen bulgulara göre ksiloz, arabinoz, mannoz ve glaktoz verimlerinin azalması ile ilk olarak hemiselülozların etkilendiğini ifade etmişlerdir. Gosselink ve diğ. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada benzer sonuçlar ifade edilmektedir.

## **3.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLER**

### **3.2.1. Isıl İşlemin Ağırlık Kaybı Üzerine Etkisi**

#### *3.2.1.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ağırlık kayıpları*

Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısıı işlem sonucu, doğal meşcereden alınan DYD odunu test örneklerinde meydana gelen ortalama ağırlık kaybı ( $\chi$ ), standart sapma (s), maksimum (mak.), minimum (min.) değerleri ile istatistiki olarak homojenlik grupları (HG) ve basit varyans analizi (BVA) sonuçları izelge 3.6’da verilmiştir.

Isıl işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak ortalama ağırlık kaybı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Özellikle 160°C’ye kadar uygulanan bütün varyasyonlarda ortalama ağırlık kaybındaki değerim (%1,43) sınırlı kalmıştır. Fakat bu sıcaklıktan sonra ağırlık kaybında hızlı bir artış meydana gelmiştir. En yüksek ağırlık kaybı ise 210°C’de 9 saatlik uygulamada (%15,43) elde edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada am ve okaliptüs odunlarına subuharı ortamında ısıı işlem uygulanmış, artan ısıı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak ağırlık kayıplarında artışlar tespit edilmiştir. En yüksek ağırlık kaybı 210°C’de 12 saatlik uygulamada (%14,5) bulunmuştur (Esteves ve diğ. 2007a).

**Çizelge 3.6.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
120	3	0,42	<i>a</i> *	0,038	0,35	0,46	1134,2	0,000
	6	0,55	<i>a</i>	0,047	0,47	0,60		
	9	0,74	<i>ab</i>	0,048	0,67	0,82		
160	3	0,73	<i>ab</i>	0,072	0,60	0,84		
	6	1,02	<i>ab</i>	0,072	0,93	1,18		
	9	1,43	<i>b</i>	0,082	1,31	1,57		
190	3	5,00	<i>c</i>	0,544	4,45	6,10		
	6	6,96	<i>d</i>	0,703	6,13	8,41		
	9	8,46	<i>e</i>	0,759	7,46	9,50		
210	3	11,10	<i>f</i>	0,741	9,75	12,20		
	6	14,96	<i>g</i>	1,384	12,97	17,26		
	9	15,43	<i>g</i>	1,260	13,15	17,47		

\*Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Her bir varyasyonun ortalama ağırlık kaybı değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu BVA sonuçlarından anlaşılmıştır (p<0,05). Bunun sonucu ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre ortalama ağırlık kayıpları bakımından 120 ve 160°C'nin tüm varyasyonları ile 210°C'de 6 ve 9 saat arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Diğer varyasyonların ortalama ağırlık kayıpları ise birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.6).

*3.2.1.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ağırlık kayıpları*  
Dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürelerde uygulanan ısıl işlem sonucu, 3x2,5 m dikim aralığından alınan DYD odunu test örneklerinde meydana gelen ortalama ağırlık kaybı, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiki olarak homojenlik grupları ve BVA sonuçları Çizelge 3.7'de gösterilmiştir. Doğal dişbudak ormanında olduğu gibi, 3x2,5 m dikim aralığından alınan dişbudak odunlarına uygulanan ısıl işlem

sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak ortalama ağırlık kaybı değerlerinde artış meydana gelmiştir.

**Çizelge 3.7.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
120	3	0,40	<i>a</i>	0,028	0,36	0,46	1581,7	0,000
	6	0,51	<i>a</i>	0,043	0,46	0,58		
	9	0,69	<i>ab</i>	0,054	0,61	0,80		
160	3	0,65	<i>ab</i>	0,061	0,55	0,77		
	6	1,03	<i>ab</i>	0,077	0,89	1,14		
	9	1,23	<i>b</i>	0,074	1,15	1,40		
190	3	4,23	<i>c</i>	0,173	3,95	4,61		
	6	6,16	<i>d</i>	0,354	5,66	6,79		
	9	8,06	<i>e</i>	0,559	7,36	9,08		
210	3	13,17	<i>f</i>	1,288	11,62	15,91		
	6	16,15	<i>h</i>	1,261	14,43	18,17		
	9	14,98	<i>g</i>	0,783	13,44	16,45		

Ortalama ağırlık kaybındaki hızlı artışlar 190°C’de 3 saatlik uygulamadan itibaren başlamıştır (%4,23). 120 ve 160°C’deki tüm varyasyonların ortalama ağırlık kaybı değerleri %0,75’te kalmıştır. En yüksek ağırlık kaybı ise 210°C’de 6 saatlik uygulamada %16,15 olarak meydana gelmiştir. Hakkou ve diğ. (2005) kayın odunu ile yaptıkları bir çalışmalarında 80 ile 200°C arasında ağırlık kayıplarının önemli bir değişiklik göstermediği, ancak sıcaklığın 260°C’ye çıkması ile kayıpların giderek arttığı ve %35’e ulaştığı ifade edilmektedir.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama ağırlık kaybı değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p<0,05$ ). Bunun sonucu ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Duncan testi sonuçlarına göre ortalama ağırlık kayıpları bakımından 120°C’nin tüm varyasyonları ile 160°C’nin 3 ve 6 saatleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Diğer varyasyonların ortalama ağırlık kayıpları ise birbirinden farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ , Çizelge 3.7).

### 3.2.1.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ağırlık kayıpları

4x4 m'lik dikim aralığından alınan dişbudak odunu test örneklerine farklı sıcaklık ve süre kombinasyonlarında ısı işleme tabi tutulmuştur. Bu işlemler sonucu meydana gelen ağırlık kaybının aritmetik ortalaması, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiki olarak homojenlik grupları ve BVA sonuçları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
120	3	0,22	<i>a</i>	0,024	0,18	0,25	1001,3	0,000
	6	0,32	<i>ab</i>	0,033	0,28	0,39		
	9	0,59	<i>ab</i>	0,043	0,51	0,65		
160	3	0,62	<i>ab</i>	0,072	0,50	0,73		
	6	1,00	<i>ab</i>	0,059	0,91	1,12		
	9	1,19	<i>b</i>	0,117	0,96	1,35		
190	3	4,45	<i>c</i>	0,278	3,92	4,84		
	6	6,41	<i>d</i>	0,333	5,87	6,97		
	9	7,83	<i>e</i>	0,668	6,87	8,66		
210	3	12,92	<i>f</i>	0,998	11,50	14,83		
	6	16,16	<i>g</i>	1,752	13,68	19,76		
	9	16,96	<i>h</i>	1,674	13,77	19,28		

Çizelge 3.8'e göre; ortalama ağırlık kaybı değerleri, sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak artmıştır. En düşük sıcaklık ve süredeki (120°C'de 3 saat) dişbudak odunu test örneklerine ait ağırlık kaybı değeri ortalama %0,22 iken; en yüksek sıcaklık ve süredeki (210°C'de 9 saat) ağırlık kaybı ise %16,96 olmuştur.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama ağırlık kaybı değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre ortalama ağırlık kayıpları bakımından 120°C'nin tüm varyasyonları ile 160°C'nin 3 ve 6 saatleri arasında %95 güven

düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. Diğer varyasyonların ortalama ağırlık kayıpları ise birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.8).

Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısı işlem sonucu, üç meşcereden alınan DYD odunu test örneklerinde meydana gelen ortalama ağırlık kaybı değerleri ile istatistiksel analiz sonuçlarına ilişkin bulgular karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.9'da, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.10'da verilmiştir. 120 ve 160°C'de 3, 6 ve 9 saatlik ısı işlem süreleri dikkate alındığında, bölgesel farklılığın ağırlık kayıpları üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir. Ancak 190°C ve daha yüksek sıcaklıklarda, ısı işlem süresindeki artışa bağlı olarak her üç meşcerede de meydana gelen ağırlık kayıpları önemli derecede artış göstermiştir. Genel olarak 190°C'de 3, 6 ve 9 saatlik ısı işlem uygulamalarında, doğal meşceredeki odun örneklerinde tespit edilen ağırlık kayıpları, diğer iki meşcereden (3x2,5 m ve 4x4 m) daha yüksek olduğu belirlenmiş olup, bu meşcereler (plantasyon ormanları) arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. 210°C sıcaklıkta ise her üç meşcerede de ısı işlem süresindeki artışa bağlı olarak ağırlık kayıplarında belli oranlarda artışlar meydana gelmiştir. 3 saatlik ısı işlem uygulaması sonucu en yüksek ortalama ağırlık kaybı 3x2,5 m dikim aralığında %13,17 olarak gerçekleşmiş iken, 6 ve 9 saatlik uygulamalarda ise en yüksek kayıplar 4x4 m'de olduğu görülmüştür (Çizelge 3.9).

Isı işlem ortamına (hava, subuharı veya inert bir gaz ortamında), sıcaklığına ve süresine bağlı olarak odunun hacminde ve ağırlığında azalmalar meydana gelmektedir. Isı işlem sonucu meydana gelen ağırlık kayıplarının en önemli sebepleri, hücre çeper maddesindeki (hemiselüloz) azalmalar ve ekstraktif maddelerin uçucu gaz fazına geçmesidir. Çeper maddesindeki bozunmalar neticesinde, bünyesinde bulundurmuş olduğu hidroksil gruplarının azalması ile odun yapısındaki su kaybolmaktadır. Isı işlem eğer hava ortamında gerçekleştirilirse inert gaz ortamına göre daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmektedir (Fengel ve Wegener 1989, Viitanen ve diğ. 1994, Winandy ve Lebov 2001, Yıldız 2002, Baştuğ 2010). Yapılan bu değerlendirmeler ışığında üç meşcereden temin edilen dışbudak örneklerinde, artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak ağırlık kayıplarında artışlar gözlemlenmiştir.



**Çizelge 3.9.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait ortalama ağırlık kaybı değerleri (%).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	0,42	<i>ab</i> *	0,04	0,35	0,46	0,55	<i>abc</i> *	0,05	0,47	0,60	0,74	<i>abcde</i> *	0,05	0,67	0,82
		0,40	<i>ab</i>	0,03	0,36	0,46	0,51	<i>abc</i>	0,04	0,46	0,58	0,69	<i>abcde</i>	0,05	0,61	0,80
		0,22	<i>a</i>	0,02	0,18	0,25	0,32	<i>a</i>	0,03	0,28	0,39	0,59	<i>abc</i>	0,04	0,51	0,65
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	0,73	<i>abcde</i>	0,07	0,60	0,84	1,02	<i>cdef</i>	0,07	0,93	1,18	1,43	<i>f</i>	0,08	1,31	1,57
		0,65	<i>abcde</i>	0,06	0,55	0,77	1,03	<i>cdef</i>	0,08	0,89	1,14	1,23	<i>ef</i>	0,07	1,15	1,40
		0,62	<i>abcd</i>	0,07	0,50	0,73	1,00	<i>bcdef</i>	0,06	0,91	1,12	1,19	<i>def</i>	0,12	0,96	1,35
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	5,00	<i>h</i>	0,54	4,45	6,10	6,96	<i>j</i>	0,70	6,13	8,41	8,46	<i>l</i>	0,76	7,46	9,50
		4,23	<i>g</i>	0,17	3,95	4,61	6,16	<i>i</i>	0,35	5,66	6,79	8,06	<i>kl</i>	0,56	7,36	9,08
		4,45	<i>g</i>	0,28	3,92	4,84	6,41	<i>i</i>	0,33	5,87	6,97	7,83	<i>k</i>	0,67	6,87	8,66
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	11,10	<i>m</i>	0,74	9,75	12,20	14,96	<i>o</i>	1,38	12,97	17,26	15,43	<i>o</i>	1,26	13,15	17,47
		13,17	<i>n</i>	1,29	11,62	15,91	16,15	<i>p</i>	1,26	14,43	18,17	14,98	<i>o</i>	0,78	13,44	16,45
		12,92	<i>n</i>	1,00	11,50	14,83	16,16	<i>p</i>	1,75	13,68	19,77	16,96	<i>r</i>	1,67	13,77	19,28
F- Oranı/ P-Değeri		1084,4/0,000														

\* Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). **HG:** Homojenlik grubu.

120 ve 160°C'deki uygulamalarda ağırlık kayıpları tüm meşcerelerde %1,5'in altında iken, özellikle 190°C'de 3 saatlik uygulamadan sonra kayıplarda belirgin bir şekilde artışlar meydana gelmiştir. Üç meşcere arasında en yüksek ağırlık kaybı 4x4 m dikim aralığında (%16,96) tespit edilmiş olup istatistiksel olarak diğer meşcerelerden farklı bulunmuştur. Literatürde artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak ağırlık kayıplarının da arttığını gösteren benzer çalışmalar bulunmaktadır (Kocaefe ve diğ. 2007b, Sefil 2010, Metsa-Kortelainen ve Viitanen 2010, Ghalehno ve Nazerian 2011).

**Çizelge 3.10.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda ortalama ağırlık kaybı değerlerine ait ÇVA (p<0,05).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	2,351	2	1,176	2,443	0,088 <sup>ÖD</sup>
Sıcaklık (B)	17527	3	5842	12140	0,000
Süre (C)	375,8	2	187,9	390,4	0,000
AxB	63,4	6	10,6	22,0	0,000
AxC	6,3	4	1,57	3,3	0,012
BxC	263,0	6	43,8	91,1	0,000
AxBxC	27,7	12	2,30	4,8	0,000
Hata	242,6	504	0,48		
Toplam	18508	539			

ÖD: Önemli değil.

Çizelge 3.10'a göre, meşcere farklılığının ortalama ağırlık kaybına etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, ancak sıcaklık, süre, AxB, AxC, BxC ve AxBxC etkileşimlerinin yüksek güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada, 210-230°C ve 2-6 saat süre ile nitrojen gazı ortamında ısı işlem uygulanan akasya hibrit odunundaki ağırlık kaybı %12-14 olduğu gözlenmiştir. Ağırlık kaybı üzerine sıcaklığın etkisi süreye göre daha önemli bulunmuştur (Tuong ve Li 2010). Bir başka çalışmada artan sıcaklık ve süreye paralel olarak ağırlık kayıplarının da arttığı ifade edilmektedir. 200-230°C'de 4-8 saat ısı işlem görmüş sarıçam ve huş odunlarına ait ağırlık kayıpları; sarıçam odunu için %5,7-15,2 olarak, huş odunu için ise %6,4-15,2 olduğu tespit edilmiştir (Zaman ve diğ. 2000). Bunun dışında YA hemiselülozlarındaki pentozan oranının yüksek olması, İYA'lara göre daha düşük

termal kararlılığın sebebi olarak ifade edilmektedir. Çünkü pentozanlar, heksozlara göre daha fazla reaksiyona girerek ağırlık kayıplarını artırmaktadırlar (Johansson 2008).

Isıl işleme uğratılmış dişbudak odun örnekleri üzerinde yapılan HPLC analizi sonuçlarında ısıl işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak şeker bileşenlerinde belli oranlarda değişimler meydana gelmiştir (Çizelge 3.3-3.5). Isıl işlem sıcaklığı ve süresinin artışına bağlı olarak özellikle ksilan (ksiloz) şekerlerinde azalmalar olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.2). Bu sebeple, her üç meşçereye ait odun örneklerinde meydana gelen ortalama ağırlık kayıplarının belirtilen hemiselüloz bileşiklerindeki azalmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 3.2.2. Isıl İşlemin Yoğunluk Üzerine Etkisi

#### 3.2.2.1. Doğal meşçereden alınan dişbudak odununa ait yoğunluk değeri

Doğal meşçereden alınmış dişbudak odunu kontrol örnekleri ile ısıl işleme tabi tutulmuş test örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları Çizelge 3.11’de görülmektedir.

**Çizelge 3.11.** Doğal meşçereden alınan dişbudak odununa ait ortalama hava kurusu yoğunluk değerleri (g/cm<sup>3</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Test					Kontrol				
		$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.
120	3	0,770	<i>abc</i> *	0,023	0,718	0,811	0,786	<i>a</i>	0,023	0,738	0,826
	6	0,760	<i>bcd</i>	0,026	0,697	0,798	0,777	<i>ab</i>	0,026	0,718	0,813
	9	0,745	<i>de</i>	0,036	0,661	0,786	0,763	<i>abcd</i>	0,034	0,681	0,805
160	3	0,758	<i>bcd</i>	0,037	0,647	0,788	0,774	<i>abc</i>	0,036	0,668	0,805
	6	0,751	<i>cd</i>	0,026	0,676	0,796	0,775	<i>ab</i>	0,025	0,703	0,809
	9	0,744	<i>de</i>	0,030	0,653	0,789	0,777	<i>ab</i>	0,027	0,689	0,812
190	3	0,742	<i>de</i>	0,028	0,681	0,8	0,774	<i>abc</i>	0,027	0,722	0,835
	6	0,725	<i>e</i>	0,027	0,661	0,761	0,770	<i>abc</i>	0,020	0,735	0,797
	9	0,724	<i>e</i>	0,022	0,687	0,779	0,776	<i>ab</i>	0,024	0,737	0,829
210	3	0,696	<i>f</i>	0,032	0,6	0,743	0,773	<i>abc</i>	0,029	0,69	0,813
	6	0,696	<i>f</i>	0,038	0,585	0,741	0,776	<i>ab</i>	0,034	0,694	0,828
	9	0,677	<i>f</i>	0,053	0,552	0,748	0,757	<i>bcd</i>	0,045	0,646	0,801

\*Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

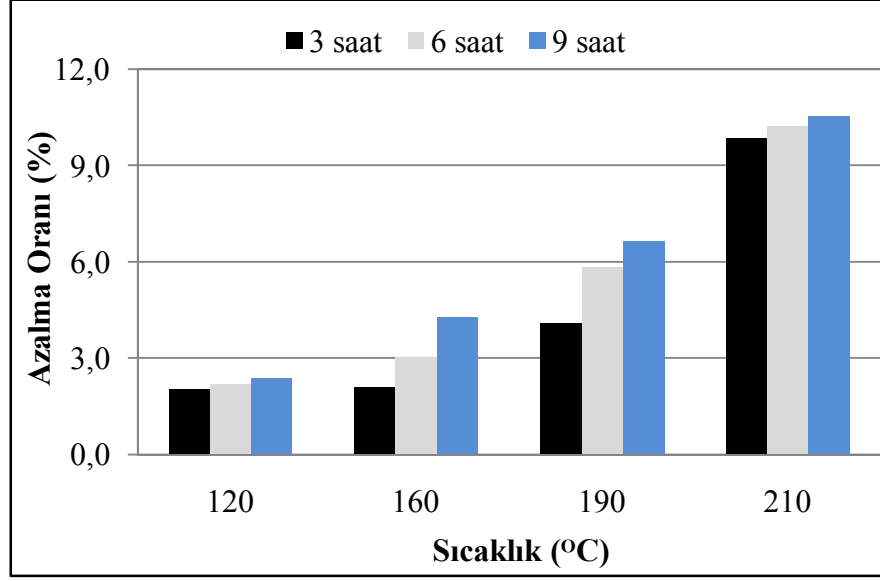
Yoğunluk testlerinde kullanılan kontrol örneklerine ait hava kurusu yoğunluk değerlerinin genel ortalaması  $0,773 \text{ g/cm}^3$  iken test örneklerinde ise bu değer  $0,732 \text{ g/cm}^3$  bulunmuştur. Genel olarak her varyasyon için hazırlanan kontrol örneklerine ait hava kurusu yoğunluk değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. Isıl işleme uğratılmış test örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri tüm varyasyonlarda kontrol örneklerinden düşük çıkmıştır. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununda, ısıl işlem sonrası meydana gelen ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları Çizelge 3.12’de verilmiştir.

**Çizelge 3.12.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununun ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P- Değeri
Gruplar Arası	0,397	23	0,017	17,583	0,000
Gruplar İçi	0,447	456	0,001		
Toplam	0,844	479			

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama yoğunluk değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, 160, 190 ve  $210^\circ\text{C}$ ’de uygulanan 3, 6 ve 9 saatlik ısıl işlem sonucu elde edilen hava kurusu yoğunluk değerleri arasında, her bir sıcaklık için istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. Ancak,  $120^\circ\text{C}$ ’de ise 3 ile 6 saat arasında fark yok iken 9 saatlik uygulama ise 3 saatten farklı bulunmuştur (Çizelge 3.11).

Kontrol örneklerine kıyasla test örneklerinde meydana gelen hava kurusu yoğunluk değerleri azalma oranları Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Tüm varyasyonlarda ısıl işlem sıcaklık ve sürelerinin artışına bağlı olarak yoğunluk değerlerindeki azalma oranlarında artış meydana gelmiştir. Hava kurusu yoğunluk değerlerindeki azalmalar özellikle  $190^\circ\text{C}$ ’de 6 saatten sonra daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 3.3). Isıl işleme uğratılmış test örneklerinde en yüksek yoğunluk değeri  $120^\circ\text{C}$ ’de 3 saatlik varyasyonda elde edilmiş olup ( $0,770 \text{ g/cm}^3$ ), bu uygulamada elde edilen azalma oranı ise %2,03’te kalmıştır.



**Şekil 3.3.** Doğal meşcereden alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

En düşük yoğunluk değeri 210°C ve 9 saatlik uygulamada 0,667 g/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiş iken aynı varyasyondaki azalma oranı ise %10,54 olarak gerçekleşmiştir. Isıl işlem sıcaklığının ve sürenin artışına bağlı olarak ağaç malzemenin yoğunluğunda meydana gelen azalma oranlarının arttığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Fengel ve Wegener 1989, Ateş ve diğ. 2009, Çalıova 2011, Ghalehno ve Nazerian 2011, Güller 2012).

*3.2.2.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait yoğunluk değeri* 3x2,5 m dikim aralığından alınmış dişbudak odunu kontrol örnekleri ile dört farklı sıcaklık ve üç ayrı sürede ısıl işleme tabi tutulmuş test örneklerinin hava kuru yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Isıl işlem uygulanmamış kontrol örneklerine ait hava kuru yoğunluk değerlerinin genel ortalaması 0,735 g/cm<sup>3</sup> bulunmuştur. Yüksek ısıl işlem uygulamasında (210 °C de 9 saat) kullanılan kontrol örnekleri dışındaki diğer tüm varyasyonlar için hazırlanan kontrol örneklerine ait hava kuru yoğunluk değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur.

**Çizelge 3.13.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama hava kurusu yoğunluk değerleri (g/cm<sup>3</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Test					Kontrol				
		$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.
120	3	0,721	<i>abc</i>	0,058	0,606	0,803	0,736	<i>abc</i>	0,057	0,624	0,817
	6	0,725	<i>abc</i>	0,067	0,604	0,808	0,741	<i>ab</i>	0,068	0,614	0,828
	9	0,716	<i>abcd</i>	0,054	0,604	0,802	0,734	<i>abc</i>	0,054	0,623	0,817
160	3	0,732	<i>abc</i>	0,044	0,627	0,797	0,748	<i>ab</i>	0,044	0,642	0,807
	6	0,725	<i>abc</i>	0,045	0,607	0,771	0,750	<i>b</i>	0,045	0,625	0,798
	9	0,707	<i>bcde</i>	0,059	0,595	0,788	0,735	<i>abc</i>	0,059	0,622	0,819
190	3	0,720	<i>abc</i>	0,057	0,593	0,79	0,753	<i>b</i>	0,056	0,641	0,82
	6	0,699	<i>cde</i>	0,049	0,591	0,78	0,737	<i>abc</i>	0,052	0,62	0,813
	9	0,697	<i>cde</i>	0,055	0,56	0,772	0,746	<i>ab</i>	0,053	0,627	0,825
210	3	0,673	<i>ef</i>	0,054	0,569	0,755	0,734	<i>abc</i>	0,055	0,628	0,818
	6	0,655	<i>f</i>	0,044	0,565	0,724	0,731	<i>abc</i>	0,048	0,628	0,793
	9	0,612	<i>g</i>	0,061	0,546	0,732	0,679	<i>def</i>	0,061	0,611	0,804

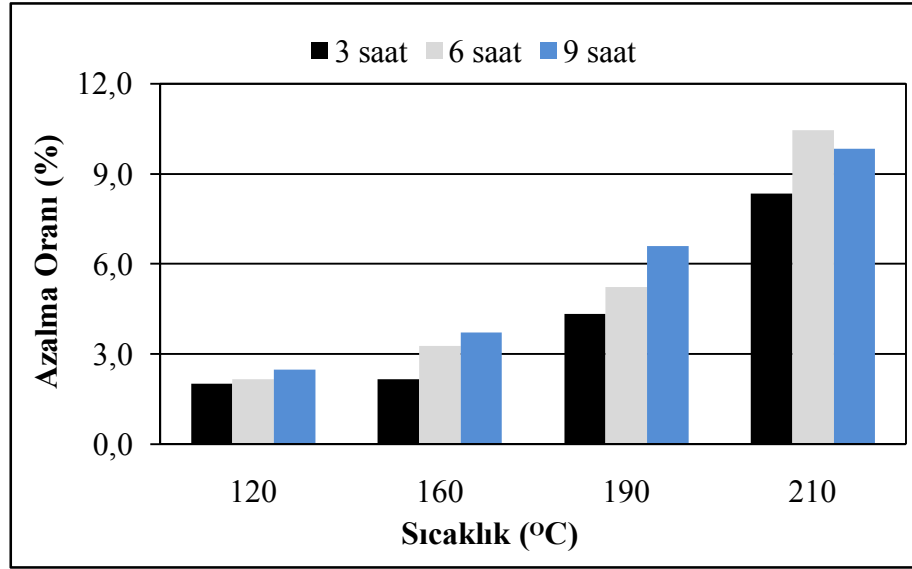
Doğal dişbudak ormanında olduğu gibi 3x2,5 m dikim aralığından alınan dişbudak odununun, ısıl işleme uğratılmamış kontrol örneklerine ait hava kurusu yoğunluk değerleri tüm varyasyonlarda test örneklerinden yüksek çıkmıştır. Güller (2012) yapmış olduğu ısıl işlem çalışmasının tüm aşamalarında elde ettiği yoğunluk değerlerinin, kontrol örneklerinden düşük olduğunu belirtmiştir. Isıl işlem sıcaklık ve süresinin artışına bağlı olarak yoğunluğun % 2,57-12,6 oranları arasında azaldığını bulmuştur. 3x2,5 m dikim aralığından alınan dişbudak odununda, ısıl işlem sonrası meydana gelen ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları ise Çizelge 3.14'te verilmiştir.

**Çizelge 3.14.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununun ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P- Değeri
Gruplar Arası	0,522	23	0,023	7,640	0,000
Gruplar İçi	1,355	456	0,003		
Toplam	1,877	479			

BVA sonuçlarına göre, 3x2,5 m dikim aralığına ait her bir varyasyonun ortalama yoğunluk değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır

( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını belirlemek için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, 120, 160, 190°C’de uygulanan 3, 6 ve 9 saatlik ısıtma varyasyonlarının ortalama hava kurusu yoğunluk değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. 210°C’deki varyasyona ait 6 ve 9 saatlik ısıtma uygulaması ise diğerlerinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.13). Kontrol örneklerine kıyasla test örneklerinde meydana gelen hava kurusu yoğunluk değerleri azalma oranları Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Tüm varyasyonlarda genellikle ısıtma sıcaklık ve sürelerinin artışına bağlı olarak yoğunluk değerlerindeki azalma oranlarında artış meydana geldiği görülmektedir. Hava kurusu yoğunluk değerlerindeki azalmalar özellikle 190°C’de 9 saatten sonra daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 3.4). Isıtma uygulamasına uğratılmış test örneklerinde en yüksek yoğunluk değeri ( $0,721 \text{ g/cm}^3$ ) 120°C’de 3 saatlik varyasyonda elde edilmiş olup, bu uygulamada elde edilen azalma oranı ise %2 olarak bulunmuştur. Yoğunluk azalma oranı en yüksek 210°C ve 6 saatlik uygulamada %10,45 olarak elde edilmiştir. Benzer sonuçlar Metsa-Kortelainen ve Viitanen (2009) tarafından belirtilmiştir.

### 3.2.2.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait yoğunluk değeri

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtılma tabii tutulmuş test örnekleri ile 4x4 m dikim aralığından alınmış ve herhangi bir işlem uygulanmamış dışbudak odunu kontrol örneklerinin hava kuru yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

**Çizelge 3.15.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama hava kuru yoğunluk değerleri (g/cm<sup>3</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Test					Kontrol				
		$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.
120	3	0,695	<i>bc</i>	0,037	0,623	0,752	0,708	<i>abc</i>	0,033	0,637	0,752
	6	0,707	<i>abc</i>	0,031	0,654	0,760	0,723	<i>a</i>	0,029	0,672	0,773
	9	0,692	<i>bc</i>	0,035	0,630	0,758	0,710	<i>abc</i>	0,033	0,653	0,775
160	3	0,697	<i>abc</i>	0,029	0,647	0,751	0,713	<i>ab</i>	0,027	0,665	0,766
	6	0,684	<i>c</i>	0,029	0,650	0,749	0,709	<i>abc</i>	0,027	0,667	0,766
	9	0,685	<i>c</i>	0,031	0,637	0,747	0,710	<i>abc</i>	0,028	0,662	0,764
190	3	0,651	<i>d</i>	0,038	0,593	0,728	0,706	<i>abc</i>	0,037	0,630	0,767
	6	0,639	<i>de</i>	0,045	0,579	0,737	0,713	<i>ab</i>	0,037	0,655	0,785
	9	0,625	<i>ef</i>	0,036	0,561	0,725	0,712	<i>ab</i>	0,027	0,671	0,769
210	3	0,593	<i>g</i>	0,045	0,540	0,697	0,695	<i>bc</i>	0,032	0,653	0,771
	6	0,570	<i>g</i>	0,043	0,509	0,667	0,692	<i>bc</i>	0,036	0,646	0,772
	9	0,609	<i>fg</i>	0,042	0,541	0,710	0,709	<i>abc</i>	0,027	0,649	0,766

4x4 m dikim aralığına alınan dışbudak kontrol örneklerine ait hava kuru yoğunluk değerlerinin ortalaması 0,708 g/cm<sup>3</sup> bulunmuştur. Diğer meşcerelere göre 4x4 m dikim aralığına ait muamele görmemiş dışbudak örneklerinin hava kuru yoğunluk değeri daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni, dışbudak odununda dikim aralığının artışına paralel olarak ilkbahar odunu oranı da artmakta, bu durum dışbudak odununun yoğunluğunu azaltmaktadır. Genel olarak 4x4 m dikim aralığındaki dışbudak örneklerinden hazırlanan kontrol örneklerine ait hava kuru yoğunluk değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. Diğer iki meşcerede olduğu gibi bu meşcerede de ısıtılma uğratılmamış kontrol örneklerinin hava kuru



yoğunluk değerleri tüm varyasyonlarda test örneklerinden daha yüksek çıkmıştır. Isıl işlem sonrası 4x4 m dikim aralığından alınan dişbudak odununda meydana gelen ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları ise Çizelge 3.16’da verilmiştir.

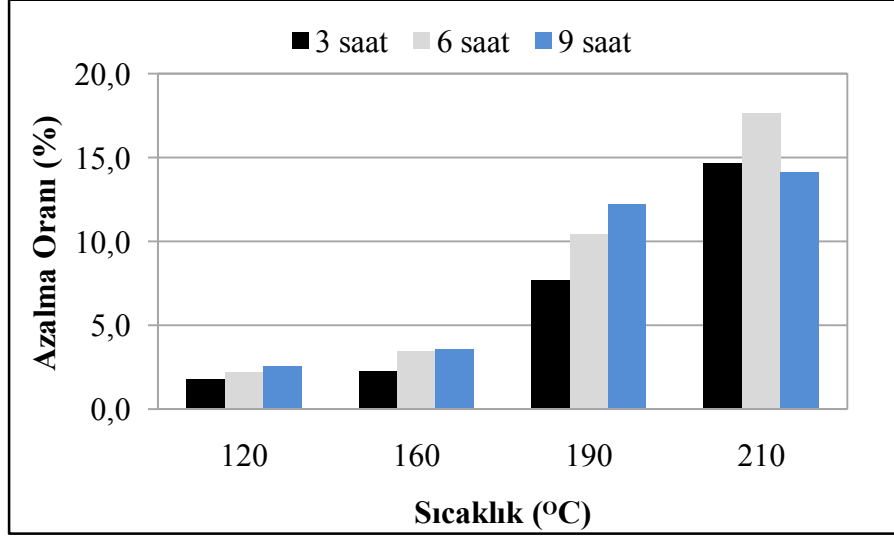
**Çizelge 3.16.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununun ortalama yoğunluk değerlerine ait BVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P- Değeri
Gruplar Arası	0,836	23	0,036	30,758	0,000
Gruplar İçi	0,539	456	0,001		
Toplam	1,375	479			

BVA sonuçlarına göre, 4x4 m dikim aralığına ait her bir varyasyonun ortalama yoğunluk değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ( $p<0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını belirlemek için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, 120, 160 ve 210°C’de uygulanan 3, 6 ve 9 saatlik ısıl işlem varyasyonlarının ortalama hava kurusu yoğunluk değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. 190°C’deki varyasyonlar ise diğerlerinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.15).

Yapılan bir çalışmada, okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odunu kontrol örneklerine ait yoğunluk değerleri ile test örnekleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu ifade edilmektedir (Ünsal ve diğ. 2003).

Kontrol örneklerine kıyasla test örneklerinde meydana gelen hava kurusu yoğunluk değerleri azalma oranları Şekil 3.5’te gösterilmiştir. Şekilde, son uygulama dışındaki tüm varyasyonlarda ısıl işlem sıcaklık ve sürelerinin artışına bağlı olarak yoğunluk değerlerindeki azalma oranlarında artış meydana geldiği görülmektedir. Hava kurusu yoğunluk değerlerindeki azalmalar özellikle 190°C’de 3 saatte ve sonraki aşamalarda daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 3.5). Isıl işleme uğratılmış test örneklerinde en yüksek yoğunluk değeri ( $0,707 \text{ g/cm}^3$ ) 120°C’de 6 saatlik varyasyonda elde edilmiş olup, bu uygulamada elde edilen azalma oranı ise %2,2 olarak bulunmuştur.



**Şekil 3.5.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Yoğunluk azalma oranı en yüksek 210°C’de (3, 6 ve 9 saat) tespit edilmiştir. Bu değerler sırası ile %14,66, %17,61 ve %14,09 bulunmuş olup aralarında istatistiksel olarak fark yoktur ( $p < 0,05$ , Çizelge 3.15).

Pavlonia (*Paulownia elongata*) odunu ile yapılan bir çalışmada artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak hava kurusu yoğunluk değerlerinde azalmalar tespit edilmiş olup, 200°C’de 7 saatlik ısı işlem sonunda yoğunluk azalma oranının %16 olduğu tespit edilmiştir (Kaygın ve diğ. 2009).

Kontrol ve test örneklerine ilişkin ortalama yoğunluk değerleri üç bölge (doğal, 3x2,5 m ve 4x4 m) için karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.17’de, ÇVA sonuçları ise 3.18’de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre 3x2,5 m ve 4x4 m’den temin edilen, muamele görmemiş kontrol örneklerinin yoğunluk değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz olup, doğal meşcereden farklı bulunmuşlardır. En yüksek yoğunluk değeri doğal meşcerede tespit edilmiş iken, en düşük değerler ise 4x4 m’ye aittir.

Genel olarak bakıldığında ısı işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak yoğunluk değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. 120°C’ye ait tüm ısı işlem uygulamalarında (3, 6 ve 9 saat) elde edilen yoğunluk değerleri kontrol örneklerine benzer sonuçlar vermiştir.

**Çizelge 3.17.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait ortalama hava kurusu yoğunluk değerleri (g/cm<sup>3</sup>).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	0,773	<i>a</i> *	0,029	0,690	0,813	0,773	<i>a</i> *	0,029	0,690	0,813	0,773	<i>a</i> *	0,029	0,690	0,813
		0,736	<i>bcde</i>	0,057	0,624	0,817	0,736	<i>bcde</i>	0,057	0,624	0,817	0,736	<i>bcde</i>	0,057	0,624	0,817
		0,708	<i>efghi</i>	0,033	0,637	0,752	0,708	<i>efghi</i>	0,033	0,637	0,752	0,708	<i>efghi</i>	0,033	0,637	0,752
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	0,770	<i>a</i>	0,023	0,718	0,811	0,760	<i>ab</i>	0,026	0,697	0,798	0,745	<i>abcd</i>	0,036	0,661	0,786
		0,721	<i>cdefg</i>	0,058	0,606	0,803	0,725	<i>cdef</i>	0,067	0,604	0,808	0,716	<i>defgh</i>	0,054	0,604	0,802
		0,695	<i>fghij</i>	0,037	0,623	0,752	0,707	<i>efghi</i>	0,031	0,654	0,760	0,692	<i>ghij</i>	0,035	0,630	0,758
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	0,758	<i>ab</i>	0,037	0,647	0,788	0,751	<i>abc</i>	0,026	0,676	0,796	0,744	<i>abcd</i>	0,030	0,653	0,789
		0,732	<i>bcde</i>	0,044	0,627	0,797	0,725	<i>cdef</i>	0,045	0,607	0,771	0,707	<i>efghi</i>	0,059	0,595	0,788
		0,697	<i>fghij</i>	0,029	0,647	0,751	0,684	<i>hij</i>	0,029	0,650	0,749	0,685	<i>hij</i>	0,031	0,637	0,747
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	0,742	<i>abcd</i>	0,028	0,681	0,800	0,725	<i>cdef</i>	0,027	0,661	0,761	0,724	<i>cdef</i>	0,022	0,687	0,779
		0,720	<i>cdefg</i>	0,057	0,593	0,790	0,699	<i>fghij</i>	0,049	0,591	0,780	0,697	<i>fghij</i>	0,055	0,560	0,772
		0,651	<i>klm</i>	0,038	0,593	0,728	0,639	<i>lmn</i>	0,045	0,579	0,737	0,625	<i>mno</i>	0,036	0,561	0,725
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	0,696	<i>fghij</i>	0,032	0,600	0,743	0,696	<i>fghij</i>	0,038	0,585	0,741	0,677	<i>ijk</i>	0,053	0,552	0,748
		0,673	<i>jk</i>	0,054	0,569	0,755	0,655	<i>kl</i>	0,044	0,565	0,724	0,612	<i>nop</i>	0,061	0,546	0,732
		0,593	<i>pr</i>	0,045	0,540	0,697	0,570	<i>pr</i>	0,043	0,509	0,667	0,609	<i>op</i>	0,042	0,541	0,710
F- Oranı/ P-Değeri		26,776/0,000														

\* Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). HG: Homojenlik grubu.

160, 190 ve 210°C’de 3 saatlik ısıtım işlem uygulamasında doğal meşcere ile 3x2,5 m arasında istatistiksel olarak fark bulunmayıp, 4x4 m’den farklı bulunmuşlardır. 120°C’den 190°C’ye kadar olan tüm uygulamalarda, artan ısıtım işlem süresine bağlı olarak her bir meşcereye ait yoğunluk değerlerinde azalmalar görülse de, istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edilmemiştir. Artan ısıtım işlem sıcaklığı ile meydana gelen yoğunluk azalmaları, doğal meşcere ve 3x2,5 m dikim aralığında, 190°C’de 6 saatlik uygulama ile başlamış iken 4x4 m’de ise özellikle 190°C’de 3 saatlik uygulama ile ortaya çıkmıştır.

**Çizelge 3.18.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda ortalama yoğunluk değerlerine ait ÇVA ( $p < 0,05$ ).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	0,704	2	0,352	196,0	0,000
Sıcaklık (B)	0,785	3	0,262	145,7	0,000
Süre (C)	0,047	3	0,016	8,78	0,000
AxB	0,052	6	0,009	4,87	0,000
AxC	0,012	6	0,002	1,15	0,330 <sup>ÖD</sup>
BxC	0,006	6	0,001	0,58	0,749 <sup>ÖD</sup>
AxBxC	0,040	12	0,003	1,84	0,038
Hata	1,330	741	0,002		
Toplam	3,2	779			

<sup>ÖD</sup>: Önemli değil.

Meşcere farklılığı ve süre etkileşimi ile sıcaklık ve süre etkileşimlerinin ortalama yoğunluk değerlerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ancak meşcere, sıcaklık, süre, *AxB* ve *AxBxC* etkileşimlerinin yüksek güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.18).

Ünsal ve Ayrılmış (2005) okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odunu ile yaptıkları ısıtım işlem (120-180°C ve 2-10 saat) uygulamasında, artan muamele sıcaklık ve süresine bağlı olarak hava kurusu yoğunluk değerlerinde azalmalar tespit etmişlerdir. Başka bir araştırmada, atmosferik basınç altında 130-230°C sıcaklıklar ile 2 ve 8 saat ısıtım işlemin uygulanan kızılçam odununa ait hava kurusu yoğunluk değerinde, 130°C’de en düşük (%1,2), 230°C’de ise en yüksek azalma oranları (%15,3) elde edilmiştir (Ateş ve diğ. 2009).

Esteves ve diğ. (2007a) 190-210°C sıcaklık ve 2-12 saat süre ile okalıptüs odununa subuharı ortamında ısıtım işlemi uygulanarak, yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalma oranlarını tespit etmişlerdir. Okalıptüs odununda 190°C'deki yoğunluk azalma oranı %5,4 iken, sıcaklığın 210°C'de çıkması ile bu değer %14,5 olmuştur.

Bir başka çalışmada; sıcaklığı kontrol edilebilen laboratuvar tipi bir fırında 180 ve 210°C'de 2 ve 4 saat ısıtım işlemine maruz bırakılmış Japon çamı odununa ait hava kurusu yoğunluk değeri azalma oranı 180°C'de %7,58 iken 220°C'de bu oran %19,24 olarak gerçekleşmiştir (Kartal ve diğ. 2008).

Yoğunluk azalmalarının genel ortalamasına bakıldığında üç meşcere arasında en yüksek yoğunluk kayıplar 4x4 m dikim aralığından temin edilen örneklerde (%7,71) elde edilmiştir. Diğer doğal (%5,05) ve 3x2,5 m dikim aralığında (%5,26) ise kayıp oranları bir birine yakın değerler vermiştir. Her üç meşcerede de artan ısıtım işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak yoğunluk değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler yine üç meşcerede de benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Her üç meşcereye ait test ve kontrol örnekleri arasında yapılan BVA sonuçlarına göre, ısıtım işlem sıcaklığının yoğunluk değerine etkisi incelendiğinde; ısıtım işleminin 190°C'ye kadar yoğunluk değerini azalttığı ancak bunun istatistiksel olarak anlamlı olmadığını, bu sıcaklıktan sonra ise azalmanın doğrusal bir nitelik kazandığı belirtilebilir (Çizelge 3.11, Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.15). Bu veriler ışığında, tüm meşcerelere ait dışbudak örneklerinde yoğunluk kaybı bakımından kritik sıcaklığın 210°C olduğu söylenebilir. Yani bu sıcaklığa kadar yapılan ısıtım işleminin hava kurusu yoğunluk değerlerini önemli derecede azaltmayacağını söylemek mümkündür.

Yoğunluk üzerine ısıtım işlem süresinin etkisi incelendiğinde ise; ısıtım işlem süresinin 3 saatten 6 saate çıktığında yoğunlukta önemli bir değişim gözlenmemiş, ancak sürenin 9 saate çıkarılması ile yoğunluk değerlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bu durumda 9 saatlik uzun ısıtım işlem süresinin her üç meşcere içinde sakıncalı olduğu görülmektedir. ısıtım işleminin diğer özelliklere olan etkisi de göz önüne alınarak, dışbudak odununda ya kısa (3 saat) yada orta (6 saat) süreli ısıtım işlem uygulamak yoğunluk kaybını azaltmak açısından önemli bir yaklaşım olarak düşünülebilir.

Genellikle daha önce yapılan çalışmalarda, ısıtma işlemi sonucu yoğunluk değerlerinde meydana gelen azalmalar, düşük molekül ağırlığına sahip hemiselüloz birimlerinin yıkımlanması ile ilişkilendirilmektedir (Ateş ve diğ. 2009, Metsa-Kortelainen ve Viitanen 2010, Çalıova 2011, Ghalehno ve Nazerian 2011). Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen kimyasal analizler sonucu, yapraklı ağaç hemiselülozlarının ana birimi olan ksilan oranlarının özellikle 190 ve 210°C’de hızlı bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 3.2). En yüksek ksilan azalma oranları ise yoğunluk kayıplarının en fazla olduğu meşcerede (4x4 m) elde edilmiştir.

### 3.2.3. Isıl İşlemin Denge Rutubet Miktarı (DRM) Üzerine Etkisi

#### 3.2.3.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait DRM

Doğal meşcereden alınmış dişbudak odunu kontrol örnekleri ile ısıtma işlemine tabi tutulmuş test örneklerinin DRM değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları ve BVA sonuçları Çizelge 3.19’da görülmektedir.

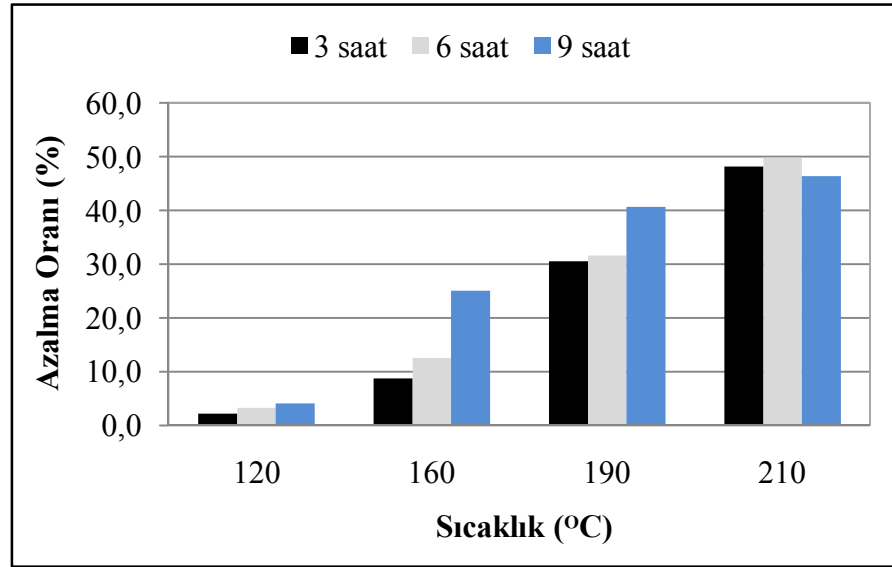
**Çizelge 3.19.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		11,91	<i>a</i> *	0,234	11,58	12,43	1034,5	0,000
120	3	11,65	<i>b</i>	0,182	11,37	11,97		
	6	11,53	<i>bc</i>	0,162	11,21	11,68		
	9	11,43	<i>c</i>	0,180	11,16	11,70		
160	3	10,87	<i>d</i>	0,138	10,67	11,08		
	6	10,42	<i>e</i>	0,384	9,73	10,96		
	9	8,93	<i>f</i>	0,467	8,18	9,48		
190	3	8,27	<i>g</i>	0,181	8,02	8,54		
	6	8,15	<i>g</i>	0,213	7,79	8,51		
	9	7,08	<i>h</i>	0,176	6,67	7,27		
210	3	6,18	<i>j</i>	0,082	6,06	6,28		
	6	5,99	<i>j</i>	0,101	5,80	6,12		
	9	6,40	<i>i</i>	0,095	6,27	6,52		

\*: Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Doğal meşcereden alınan dişbudak odununun ısıl işleme tabi tutulmamış kontrol örneklerine ait ortalama DRM değerleri %11,91 olarak tespit edilmiştir. Kontrol örneklerine ait DRM değerleri, ısıl işlem uygulanmış bütün varyasyonların ortalama DRM değerlerinden yüksek olup, istatistiksel olarak aralarında fark vardır ( $p<0,05$ ). Isıl işlem uygulamasında sıcaklık ve sürenin artışına paralel olarak DRM değerlerinde önemli düşüşler meydana gelmiştir.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama DRM değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p<0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, bütün ısıl işlem sıcaklıklarına ait DRM değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur. Ancak 120, 190 ve 210°C'de 3 ve 6 saatlik varyasyonlar arasında fark bulunmamıştır (Çizelge 3.19). Kontrol örneklerine kıyasla test örneklerinde meydana gelen DRM değerleri azalma oranları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Doğal meşcereden alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla DRM değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Genel olarak ısıl işlem sıcaklık ve sürelerinin artışına paralel olarak DRM azalma oranlarında artışlar meydana gelmiştir. DRM değerlerindeki azalma oranlarındaki yükseliş 160°C'de 9 saatlik uygulama ile birlikte (%25,05) açık bir şekilde ortaya

çıkıştır. En düşük azalma oranı ise 120°C’de 3 saatlik uygulamada (%2,16) elde edilmiştir. En düşük DRM değeri 210°C’de 6 saatlik varyasyonda % 5,99 iken aynı muamelede kontrol örneklerine kıyasla DRM değerleri azalma oranı %49,74 olarak belirlenmiştir. Artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak ağaç malzemenin denge rutubet miktarının da azaldığı ifade edilmektedir (Kamdem ve diğ. 2002, Esteves ve Pereira 2009, Kamdem ve diğ. 2010).

### 3.2.3.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait DRM

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilmiş dişbudak odunu kontrol örnekleri ile ısı işlem tabii tutulmuş test örneklerinin DRM değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları ve BVA sonuçları Çizelge 3.20’de verilmiştir.

**Çizelge 3.20.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).

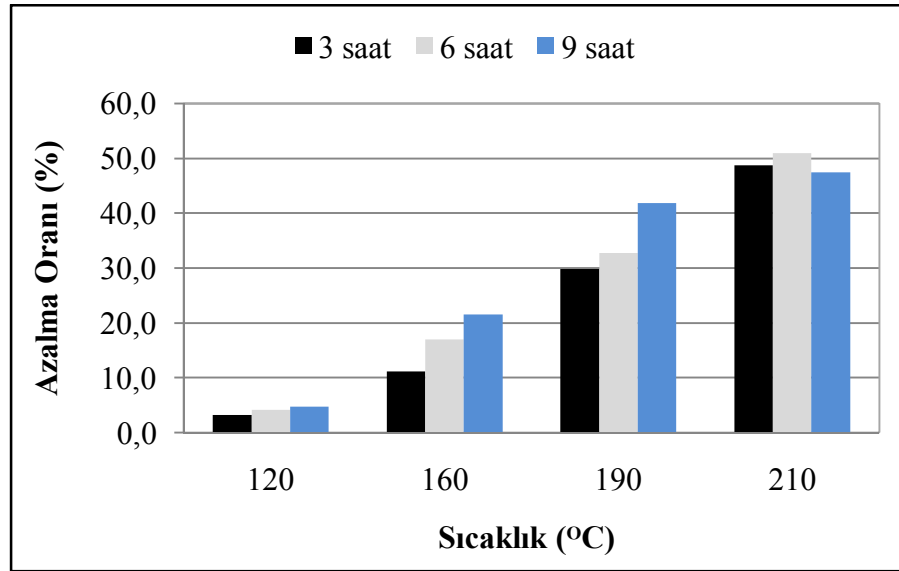
Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		12,11	<i>a</i>	0,133	11,86	12,27	1314,7	0,000
120	3	11,72	<i>b</i>	0,248	11,18	12,06		
	6	11,61	<i>bc</i>	0,270	11,32	12,04		
	9	11,53	<i>c</i>	0,209	11,28	11,91		
160	3	10,76	<i>d</i>	0,154	10,54	10,99		
	6	10,05	<i>e</i>	0,122	9,84	10,22		
	9	9,50	<i>f</i>	0,374	8,94	10,31		
190	3	8,50	<i>g</i>	0,207	8,08	8,72		
	6	8,14	<i>h</i>	0,233	7,88	8,58		
	9	7,04	<i>i</i>	0,237	6,45	7,29		
210	3	6,21	<i>j</i>	0,150	5,94	6,42		
	6	5,94	<i>k</i>	0,185	5,51	6,12		
	9	6,37	<i>j</i>	0,207	6,15	6,71		

3x2,5 m dikim aralığından alınan dişbudak odununun kontrol örneklerine ait ortalama DRM değerleri %12,11 olarak bulunmuştur. Kontrol örneklerine ait DRM değerleri, ısı işlem uygulanmış bütün test örneklerine ait ortalama DRM değerlerinden yüksek olup,



istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Isıl işlem uygulamasında sıcaklık ve sürenin artışına paralel olarak DRM değerlerinde önemli düşüşler meydana gelmiştir.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama DRM değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p<0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, bütün ısıl işlem sıcaklıklarına ait DRM değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur. Ancak 120°C’de 3 ile 6 saat, 6 ile 9 saat ve 210°C’de ise 3 ile 9 saatte elde edilen DRM değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p<0,05$ , Çizelge 3.20). Kontrol örneklerine kıyasla test örneklerinde meydana gelen DRM değerleri azalma oranları Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla DRM değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Genel olarak ısıl işlem sıcaklık ve sürelerinin artışına paralel olarak DRM’de azalmalar meydana gelmiştir. Ancak DRM azalma oranındaki artış hızı 210°C’de yavaşlamıştır. DRM değerlerindeki azalma oranlarındaki yükseliş 160°C’de 6 saatlik uygulama ile birlikte (%17,02) çok belirgin olarak ortaya çıkmıştır. En düşük azalma oranı ise 120°C’de 3 saatlik uygulamada (%3,22) elde edilmiştir. En düşük DRM değeri 210°C’de 6 saatlik varyasyonda % 5,94 iken aynı muamelede kontrol örneklerine kıyasla DRM değerleri azalma oranı %50,95 olarak belirlenmiştir. Benzer sonuçlar,

Alman metoduna (OHT) göre ısıtma işlemi uygulanmış denemelerde de elde edilmiştir (Epmeier ve diğ. 2001).

### 3.2.3.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait DRM

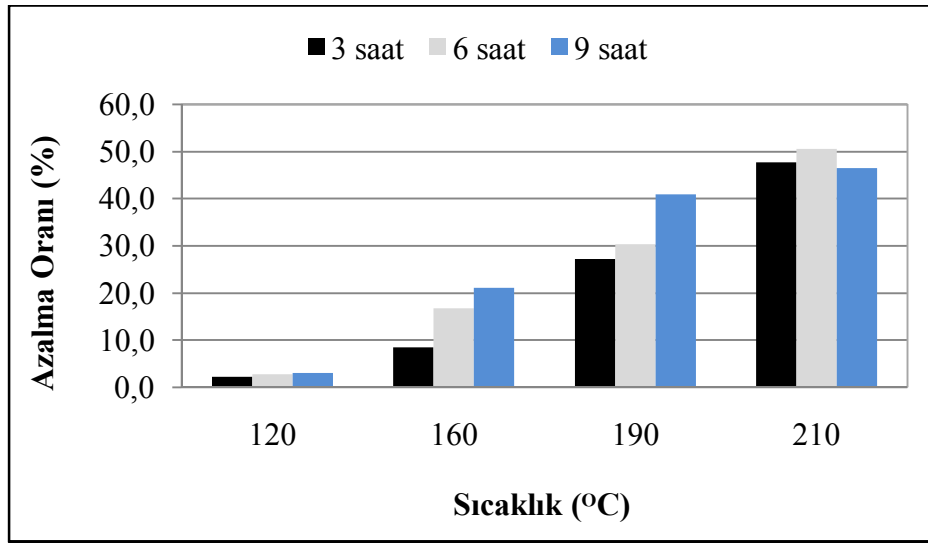
4x4 m dikim aralığından alınmış dişbudak odunu kontrol örnekleri ile ısıtma işlemine tabi tutulmuş test örneklerinin DRM değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları ve BVA sonuçları Çizelge 3.21’de verilmiştir.

**Çizelge 3.21.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		11,95	<i>a</i>	0,156	11,69	12,20	947,02	0,000
120	3	11,67	<i>b</i>	0,280	11,18	12,02		
	6	11,61	<i>b</i>	0,188	11,24	11,90		
	9	11,58	<i>b</i>	0,172	11,34	11,78		
160	3	10,94	<i>c</i>	0,171	10,61	11,17		
	6	9,94	<i>d</i>	0,534	9,17	10,75		
	9	9,42	<i>e</i>	0,346	8,68	9,79		
190	3	8,70	<i>f</i>	0,160	8,39	8,90		
	6	8,33	<i>g</i>	0,331	7,84	8,75		
	9	7,07	<i>h</i>	0,206	6,66	7,32		
210	3	6,26	<i>i</i>	0,124	6,06	6,42		
	6	5,91	<i>j</i>	0,071	5,76	6,01		
	9	6,41	<i>i</i>	0,159	6,09	6,64		

4x4 m dikim aralığından alınan dişbudak odununun kontrol örneklerine ait ortalama DRM değerleri %11,95 olarak bulunmuştur. Test örneklerine ait DRM değerleri, kontrol örneklerine ait ortalama DRM değerlerinden düşük olup, istatistiksel olarak aralarında farklı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Diğer meşcerelerde olduğu gibi, ısıtma işlem uygulamasında sıcaklık ve sürenin artışına paralel olarak DRM değerlerinde önemli düşüşler meydana gelmiştir.

BVA sonuçlarına göre her bir varyasyonun ortalama DRM değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p<0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, bütün ısıl işlem sıcaklıklarına ait DRM değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur. 120°C'nin üç farklı süre uygulaması sonucunda elde edilen DRM değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p<0,05$ , Çizelge 3.21). Kontrol örneklerine kıyasla test örneklerinde meydana gelen DRM değerleri azalma oranları Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.8.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla DRM değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Genel olarak ısıl işlem sıcaklık ve sürelerinin artışına paralel olarak DRM'de azalmalar meydana gelmiştir. Diğer meşcerelerde olduğu gibi DRM azalma oranındaki artış hızı 210°C'de yavaşlamış ve 6 saatlik uygulamada en yüksek değere ulaşmıştır. DRM değerlerindeki azalma oranlarındaki yükseliş 160°C'de 6 saatlik uygulama ile birlikte (%16,85) çok belirgin olarak ortaya çıkmıştır. En düşük azalma oranı ise 120°C'de 3 saatlik uygulamada (%2,35) elde edilmiştir. En düşük DRM değeri 210°C'de 6 saatlik varyasyonda % 5,91 iken aynı muamelede kontrol örneklerine kıyasla DRM azalma oranı %50,52 olarak belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada, Aydemir (2007) en yüksek ısıl işlem uygulaması (210°C'de 12 saat) sonunda denge rutubeti azalma oranını %40,34 olarak tespit etmiştir.

Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısıtma işlemi sonucu, üç meşcereden alınan DYD odunu test örneklerinde meydana gelen ortalama DRM değerleri ile istatistiksel analiz sonuçlarına ilişkin bulgular karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.22’de, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.23’te verilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre herhangi bir muamele görmemiş kontrol örneklerinin ortalama DRM değerleri meşcerelere göre istatistiksel olarak farklılık göstermediği belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ). Tüm meşcerelerden elde edilen dışbudak örneklerine ait DRM değerleri artan ısıtma işlemi sıcaklık ve süresine bağlı olarak azalma göstermiştir. 160°C’de 6 saat ve 190°C’de 3 saatlik uygulama dışında, 120, 160, 190 ve 210°C’deki tüm varyasyonlarda kontrol örneklerine benzer şekilde, meşcerelere ait DRM değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Her üç meşcereye ait en düşük DRM değerleri 210°C’de 6 saatlik uygulamada elde edilmiştir (Çizelge 3.22).

Üç meşcereye ait dışbudak odun örneklerinde ısıtma işlemi sonucu elde edilen DRM değerleri ile yapılan BVA’ya göre (Çizelge 3.19, Çizelge 3.20 ve Çizelge 3.21); ısıtma işlemi uygulanan sıcaklık ve süre varyasyonlarında ortaya çıkan DRM değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklıdır. Yani DRM değerlerindeki azalma oranları, ısıtma işlemi sıcaklığının artması ve sürenin uzatılması ile daha da artacağı söylenebilir. Diğer taraftan, her üç meşcerede de 210°C’lik ısıtma işlemi uygulamalarında 6 saatlik varyasyonun daha belirleyici olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 3.6-3.8).

Literatürde ısıtma işlemi görmüş ağaç malzemenin denge rutubet miktarının, muamele görmemiş oduna göre daha düşük bulunduğu ifade eden birçok çalışma mevcuttur (Nakano ve Miyazaki 2003, Gosselink ve diğ. 2004, Metsa-Kortelainen ve diğ. 2006, Wang ve Cooper 2005, Yıldız ve diğ. 2006, Borysiuk ve diğ. 2007, Metsa-Kortelainen ve Viitanen 2009, Ateş ve diğ. 2009, Bak ve Nemeth 2012). Esteves ve diğ. (2007a) çam (*Pinus pinaster*) ve okaliptüs (*Eucalyptus globulus*) odunlarının bazı fiziksel özellikleri üzerine subuharı ortamında ısıtma işlemi etkisini araştırmak için odun örneklerini 190, 200 ve 210°C ve 2-12 saat süre ile işleme tabi tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre en düşük ısıtma işlemi uygulamasında (190°C ve 2 saat) bile denge rutubet miktarının azaldığı, çam ve okaliptüs odunlarına ait en yüksek DRM azalma oranları sırası ile %46 ve %61 olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.22.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununa ait ortalama DRM değerleri (%).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	11,91	<i>ab</i> *	0,23	11,58	12,43	11,91	<i>ab</i> *	0,23	11,58	12,43	11,91	<i>ab</i> *	0,23	11,58	12,43
		12,11	<i>a</i>	0,13	11,86	12,27	12,11	<i>a</i>	0,13	11,86	12,27	12,11	<i>a</i>	0,13	11,86	12,27
		11,95	<i>ab</i>	0,16	11,69	12,20	11,95	<i>ab</i>	0,16	11,69	12,20	11,95	<i>ab</i>	0,16	11,69	12,20
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	11,65	<i>cd</i>	0,18	11,37	11,97	11,53	<i>cd</i>	0,16	11,21	11,68	11,43	<i>d</i>	0,18	11,16	11,70
		11,72	<i>bc</i>	0,25	11,18	12,06	11,61	<i>cd</i>	0,27	11,32	12,04	11,53	<i>cd</i>	0,21	11,28	11,91
		11,67	<i>c</i>	0,28	11,18	12,02	11,61	<i>cd</i>	0,19	11,24	11,90	11,58	<i>cd</i>	0,17	11,34	11,78
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	10,87	<i>e</i>	0,14	10,67	11,08	10,42	<i>f</i>	0,38	9,73	10,96	8,93	<i>hi</i>	0,47	8,18	9,48
		10,76	<i>e</i>	0,15	10,54	10,99	10,05	<i>g</i>	0,12	9,84	10,22	9,50	<i>h</i>	0,37	8,94	10,31
		10,94	<i>e</i>	0,17	10,61	11,17	9,94	<i>g</i>	0,53	9,17	10,75	9,42	<i>h</i>	0,35	8,68	9,79
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	8,27	<i>l</i>	0,18	8,02	8,54	8,15	<i>l</i>	0,21	7,79	8,51	7,08	<i>m</i>	0,18	6,67	7,27
		8,50	<i>jk</i>	0,21	8,08	8,72	8,14	<i>l</i>	0,23	7,88	8,58	7,04	<i>m</i>	0,24	6,45	7,29
		8,70	<i>j</i>	0,16	8,39	8,90	8,33	<i>kl</i>	0,33	7,84	8,75	7,07	<i>m</i>	0,21	6,66	7,32
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	6,18	<i>op</i>	0,08	6,06	6,28	5,99	<i>pr</i>	0,10	5,80	6,12	6,40	<i>n</i>	0,10	6,27	6,52
		6,21	<i>no</i>	0,15	5,94	6,42	5,94	<i>r</i>	0,19	5,51	6,12	6,37	<i>no</i>	0,21	6,15	6,71
		6,26	<i>no</i>	0,12	6,06	6,42	5,91	<i>r</i>	0,07	5,76	6,01	6,41	<i>n</i>	0,16	6,09	6,64
F- Oranı/ P-Değeri		1035,3/0,000														

\*Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). **HG**: Homojenlik grubu.

**Çizelge 3.23.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda ortalama DRM değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	0,61	2	0,30	6,03	0,003
Sıcaklık (B)	1147	3	382	7613	0,000
Süre (C)	867	3	289	5757	0,000
AxB	0,30	6	0,05	1,0	0,423 <sup>ÖD</sup>
AxC	1,57	6	0,26	5,23	0,000
BxC	424	9	47,1	937	0,000
AxBxC	3,20	18	0,18	3,5	0,000
Hata	21,7	432	0,05		
Toplam	2465	479			

ÖD: Önemli değil.

Meşcere farklılığı ve ısı işlem sıcaklığı ikili etkileşiminin ortalama DRM değerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, ancak meşcere, sıcaklık, süre, AxC, BxC ve AxBxC etkileşimlerinin %95 güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.23).

Farklı sıcaklık ve sürelerde (130, 180 ve 230°C ile 2 ve 8 saat) ısı işlem uygulanan, meşe, ceviz, kızılçam ve karaçam odunlarının DRM'lerinin araştırıldığı bir çalışmada, muamele şartlarının artışına bağlı olarak DRM'lerinin azaldığı belirtilmiştir. En yüksek DRM azalma oranı, kızılçam ve meşe odunlarında sırası ile %50,9 ve %50,8 olarak tespit edilmiştir (Akyıldız ve Ateş 2008).

Yapılan bir çalışmada 170, 190 ve 210°C sıcaklıklarda 4, 8 ve 12 saat süreyle ısı işleme maruz bırakılan gürgen odununda, artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak denge rutbet değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. En düşük DRM değeri, en yüksek ısı işlem uygulaması olan 210°C'de 8 saatte (%5,14) elde edilmiştir (Tümen ve diğ. 2010). Jamsa ve Wiitaniemi (2001)'ye göre denge rutubet miktarının azalmasının ana sebebini, hidroksil gruplarının azalması ile meydana gelen kimyasal değişikliklerin bir sonucu olarak ısı işlem sonrası hücre duvarları tarafından daha az suyun absorbe edilmesi olarak ifade edilmektedir. Bazı yazarlar ise selülozun kristal yapısının artması nedeniyle su moleküllerinin hidroksil grupları ile bağ yapamamasının önemli olduğunu işaret etmektedirler (Wikberg ve Maunu 2004, Bhuiyan ve Hirai 2005, Boonstra ve Tjeerdsm 2006). Benzer çalışmalarda, ligninde meydana gelen çapraz bağlanma sonucu oluşan

polikondenzasyon reaksiyonları odunun denge rutubet miktarını azalttığı ifade edilmektedir (Tjeerdsma ve Militz 2005, Esteves ve diğ. 2008b). Tez çalışması kapsamında yapılan kimyasal analizlerde (Çizelge 3.3-3.5), her üç meşçereye ait asitte çözünmeyen lignin (AIL) oranlarının, artan ısı işlem uygulamaları ile artması bu yargıyı doğrular niteliktedir.

Repellin ve Guyonnet (2005), ısı işlem görmüş kayın odununun rutubet alıp genişlemesi ile kimyasal yapısı arasındaki ilişkiyi diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile incelemiştir. Odunun genişlemesinde meydana gelen azalmada, sadece hemiselülozlardaki absorpsiyon bölgelerinin (OH gruplarının) uzaklaşması ile değil aynı zamanda lignindeki yapısal ve kimyasal değişimlerin de önemli bir rolü olabileceği ifade edilmiştir.

### **3.2.4. Isıl İşlemin Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Üzerine Etkisi**

#### *3.2.4.1. Su alma Oranı Üzerine Isıl İşlemin Etkisi*

Dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürede ısı işlem uygulanmış doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlardan alınan dişbudak odun örneklerinin, suda bekleme sürelerine (2, 4, 8, 24, 48,72 saat, 1 ve 2 hafta) göre su alma oranlarının (SAO) aritmetik ortalaması, standart sapması ile istatistiksel homojenlik grupları her bir yetişme ortamı için ayrı ayrı çizelgeler halinde sunulmuştur.

#### **a) Doğal dişbudak ormanı**

Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısı işleme uğratılmış doğal dişbudak test ve kontrol örneklerinin farklı suda bekleme sürelerine (SBS) ait ortalama SAO'ları ve istatistiki sonuçlar Çizelge 3.24'te verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, uygulanan her bir varyasyonda SBS'nin artışına bağlı olarak test ve kontrol örneklerinin SAO'larında artışlar meydana gelmiştir. BVA sonuçları, SBS'ye göre her bir varyasyonun ortalama SAO değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ , Çizelge 3.24). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır.

**Çizelge 3.24.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıl işlem görmüş dişbudak (doğal meşcere) test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%).

SBS (saat/hafta)	Sıcaklık – Süre*															
	120°C				160°C				190°C				210°C			
	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat
<b>2 saat</b>	21,19 <sup>b</sup> (2,35)**	19,09 <sup>a</sup> (0,19)	18,65 <sup>a</sup> (0,48)	18,28 <sup>a</sup> (0,51)	21,19 <sup>c</sup> (2,35)	19,33 <sup>b</sup> (0,43)	17,8 <sup>ab</sup> (0,71)	17,00 <sup>a</sup> (0,90)	21,2 <sup>bc</sup> (2,35)	16,33 <sup>a</sup> (0,67)	16,51 <sup>a</sup> (0,80)	16,04 <sup>a</sup> (0,66)	21,19 <sup>c</sup> (2,35)	16,35 <sup>a</sup> (0,84)	15,73 <sup>a</sup> (0,79)	14,99 <sup>a</sup> (0,93)
<b>4 saat</b>	27,25 <sup>d</sup> (2,63)	24,97 <sup>c</sup> (0,30)	24,26 <sup>c</sup> (0,48)	24,25 <sup>c</sup> (0,34)	27,25 <sup>f</sup> (2,63)	25,10 <sup>e</sup> (0,78)	23,6 <sup>de</sup> (0,63)	22,43 <sup>cd</sup> (1,02)	27,25 <sup>e</sup> (2,63)	22,58 <sup>c</sup> (1,03)	20,36 <sup>b</sup> (0,95)	20,25 <sup>b</sup> (1,16)	27,25 <sup>f</sup> (2,63)	20,37 <sup>bc</sup> (0,88)	19,54 <sup>b</sup> (0,93)	19,01 <sup>b</sup> (1,15)
<b>8 saat</b>	33,91 <sup>f</sup> (2,73)	31,21 <sup>e</sup> (0,89)	31,48 <sup>e</sup> (1,29)	30,78 <sup>e</sup> (1,09)	33,91 <sup>i</sup> (2,73)	30,01 <sup>gh</sup> (0,84)	30,94 <sup>h</sup> (1,07)	28,6 <sup>fg</sup> (1,37)	33,91 <sup>g</sup> (2,73)	29,31 <sup>f</sup> (1,41)	27,33 <sup>e</sup> (0,67)	24,56 <sup>d</sup> (0,88)	33,91 <sup>g</sup> (2,73)	25,28 <sup>e</sup> (0,77)	23,46 <sup>d</sup> (0,97)	22,89 <sup>d</sup> (1,30)
<b>24 saat</b>	48,41 <sup>g</sup> (4,22)	48,20 <sup>g</sup> (2,39)	47,11 <sup>g</sup> (2,17)	46,96 <sup>g</sup> (2,68)	48,41 <sup>l</sup> (4,22)	41,79 <sup>j</sup> (1,00)	46,50 <sup>k</sup> (2,78)	42,11 <sup>j</sup> (1,35)	48,41 <sup>j</sup> (4,22)	42,33 <sup>i</sup> (1,51)	41,21 <sup>i</sup> (2,17)	39,54 <sup>h</sup> (2,04)	48,41 <sup>l</sup> (4,22)	39,80 <sup>j</sup> (0,95)	38,17 <sup>i</sup> (1,15)	35,91 <sup>h</sup> (1,29)
<b>48 saat</b>	58,49 <sup>h</sup> (4,87)	61,27 <sup>i</sup> (2,12)	60,97 <sup>i</sup> (1,95)	59,98 <sup>hi</sup> (2,70)	58,49 <sup>o</sup> (4,87)	50,73 <sup>m</sup> (1,21)	58,34 <sup>o</sup> (2,60)	52,72 <sup>n</sup> (1,80)	58,49 <sup>o</sup> (4,87)	51,72 <sup>l</sup> (1,87)	50,23 <sup>kl</sup> (2,06)	48,77 <sup>jk</sup> (2,81)	58,49 <sup>o</sup> (4,87)	49,41 <sup>l</sup> (1,15)	49,36 <sup>l</sup> (1,51)	46,57 <sup>k</sup> (1,69)
<b>72 saat</b>	64,44 <sup>j</sup> (4,90)	65,50 <sup>jk</sup> (3,63)	66,30 <sup>k</sup> (2,29)	64,93 <sup>jk</sup> (2,51)	64,4 <sup>pr</sup> (4,90)	57,69 <sup>o</sup> (1,73)	63,40 <sup>p</sup> (2,73)	58,42 <sup>o</sup> (3,14)	64,44 <sup>p</sup> (4,90)	57,32 <sup>no</sup> (2,03)	55,94 <sup>mn</sup> (2,13)	54,49 <sup>m</sup> (2,84)	64,4 <sup>pr</sup> (4,90)	54,94 <sup>m</sup> (1,60)	56,47 <sup>n</sup> (1,40)	54,67 <sup>m</sup> (1,17)
<b>1 hafta</b>	72,49 <sup>m</sup> (4,95)	70,69 <sup>l</sup> (2,81)	72,11 <sup>lm</sup> (2,24)	70,64 <sup>l</sup> (3,20)	72,49 <sup>u</sup> (4,95)	67,06 <sup>s</sup> (1,84)	69,92 <sup>t</sup> (3,15)	65,97 <sup>rs</sup> (2,35)	72,49 <sup>s</sup> (4,95)	66,57 <sup>r</sup> (2,16)	65,62 <sup>pr</sup> (2,45)	64,52 <sup>p</sup> (2,98)	72,49 <sup>s</sup> (4,95)	63,28 <sup>p</sup> (1,45)	65,78 <sup>r</sup> (2,20)	63,24 <sup>p</sup> (1,43)
<b>2 hafta</b>	78,99 <sup>o</sup> (4,79)	76,60 <sup>n</sup> (2,45)	78,34 <sup>no</sup> (1,49)	77,20 <sup>n</sup> (1,31)	78,99 <sup>y</sup> (4,79)	73,63 <sup>u</sup> (1,86)	77,16 <sup>v</sup> (3,94)	73,48 <sup>u</sup> (3,05)	78,99 <sup>u</sup> (4,79)	75,18 <sup>l</sup> (2,74)	74,69 <sup>l</sup> (3,49)	73,52 <sup>st</sup> (1,53)	78,99 <sup>u</sup> (4,79)	71,47 <sup>s</sup> (2,41)	74,35 <sup>l</sup> (2,10)	71,71 <sup>s</sup> (1,97)
<b>F- oranı / P-değeri</b>	1387,3 / 0,000				1240,5 / 0,000				1296,6 / 0,000				1847,9 / 0,000			

\* Her bir sıcaklığa ait SAO, kontrol örnekleri ile karşılaştırmalı olarak istatistik analize tabi tutulmuştur. \*\* Standart sapma değerleri parantez içinde verilmiştir.  
SBS: Suda bekleme süresi, K: Kontrol örneği.



120°C’de 3, 6 ve 9 saat ısıtılma uğratılmış doğal dişbudak test örneklerinin SAO’ları, kısa süreli (2-24 saat) ve uzun süreli (1, 2 hafta) SBS’lerinde, kontrol örnekleri ile kıyaslandığında daha düşük çıktığı görülmektedir. Kontrol örneklerine ait en düşük su alma oranı %21,19 ile en düşük SBS’de elde edilmiş olup, test örneklerine ait bu değer %18,28 ile aynı SBS’de, 120°C’de 9 saatlik ısıtılma uygulamasında elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre 120°C sıcaklığa ait test örneklerinin SAO arasında her bir SBS için %95 güven düzeyinde fark yoktur. Fakat 2, 4 ve 8 saatlik SBS’lerinde test ve kontrol örneklerinin SAO istatistiksel olarak farklı bulunmuştur.

Çizelge 3.24’e göre 2 saatten 2 haftaya kadar olan SBS’leri için 160, 190 ve 210°C’de ısıtılma uğratılmış test örneklerine ait SAO’ları, kontrol örneklerine göre daha düşük bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında ısıtılma işlem görmüş odun örneklerine ait su absorpsiyon oranlarının daha düşük olduğu ifade edilmektedir (Li ve diğ. 2011).

160°C de en düşük SAO, 2 saatlik SBS’de ve 9 saatlik ısıtılma varyasyonunda elde edilmiştir (%17,0). En yüksek SAO ise kontrol örneklerinde 2 haftalık SBS’de elde edilmiş olup (%78,99), istatistiksel olarak diğer bütün varyasyonlardan farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). 48 ve 72 saatler hariç diğer bütün SBS’leri için 160°C sıcaklığa ait test ve kontrol örneklerinin SAO’ları arasında istatistiksel olarak fark vardır ( $p<0,05$ ).

190°C’de ısıtılma uğratılmış dişbudak örneklerinde en düşük SAO, 9 saatlik ısıtılma varyasyonunda ve en düşük SBS olan 2 saatlik uygulamada elde edilmiştir (%16,04). Ancak diğer iki varyasyon (3 ve 6 saat) ile aralarında istatistiksel olarak farklı yoktur ( $p<0,05$ ). İki haftalık SBS’de test örneklerine ait maksimum SAO oranı 190°C’de 3 saatlik uygulamada gerçekleşmiş olup (%75,18), bu değer kontrol örneklerinden %95 güven düzeyinde farklıdır.

210°C’de ısıtılma uğratılmış dişbudak örneklerinde en düşük SAO, 9 saatlik ısıtılma varyasyonunda ve en düşük SBS olan 2 saatlik uygulamada elde edilmiştir (%14,99). İki haftalık SBS’de test örneklerine ait maksimum SAO oranı, 9 saatlik ısıtılma uygulamasında %74,35 olarak bulunmuş olup, bu değer diğer tüm test ve kontrol

örneklerine ait SAO'larından %95 güven düzeyinde farklıdır. Bütün SBS'leri için 190 ve 210°C sıcaklığa ait test ve kontrol örneklerinin SAO'ları arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark vardır (Çizelge 3.24).

#### **b) Plantasyon ormanı (3x2,5 m dikim aralığı)**

Çizelge 3.25'te, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtılmış, 3x2,5 m dikim aralığına ait dışbudak test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine göre ortalama SAO'ları ve istatistiksel sonuçları verilmiştir. Kontrol örneklerine ait en düşük SAO, en düşük SBS olan 2 saatlik uygulamada elde edilmiştir (%24,99). İki haftalık SBS'de maksimum SAO oranı, 120°C'de 9 saatlik varyasyon hariç diğer üç sıcaklığa ait tüm uygulamalar için kontrol örneklerinde elde edilmiştir (%90,19). Sıcaklığın 120°C'nin üzerine çıkması ile birlikte test örneklerinin SAO'larında azalmalar meydana gelmiştir. Tüm sıcaklıklara ait BVA sonuçları, SBS'ye göre her bir varyasyonun ortalama SAO değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir ( $p<0,05$ ). Bu nedenle, ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.25).

120°C'de ısıtılmış dışbudak örneklerinde en düşük SAO, 9 saatlik ısıtım varyasyonunda ve en düşük SBS olan 2 saatlik uygulamada elde edilmiştir (%21,43). Ancak diğer iki varyasyon (3, 6 saat) ile aralarında istatistiksel olarak fark yoktur ( $p<0,05$ ).

Tüm sıcaklık varyasyonlarının iki haftalık SBS'lerinde maksimum SAO oranı test örneklerine ait 120°C'de 9 saatlik uygulamada gerçekleşmiştir (%91,81). Elde edilen sonuçlara göre 2 saatten 72 saate kadar olan SBS'leri için 120°C'de 3, 6 ve 9 saat ısıtım ugratılmış test örneklerine ait SAO'ları, kontrol örneklerine göre daha düşük bulunmuş olup, bu değerler arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. Ayrıca 1 ve 2 haftalık SBS'lerinde 9 saatlik test örneklerinin SAO'ları kontrollerden fazla çıkmış, buna karşın istatistiksel olarak aralarında (test ve kontrol örnekleri) fark bulunmamaktadır.

**Çizelge 3.25.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtım işlemi görmüş dışbudak (plantasyon (3x2,5 m)) test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%).

SBS (saat/hafta)	Sıcaklık – Süre*															
	120°C				160°C				190°C				210°C			
	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat
<b>2 saat</b>	24,99 <sup>b</sup> (2,60)**	21,98 <sup>a</sup> (0,40)	21,49 <sup>a</sup> (0,59)	21,43 <sup>a</sup> (0,54)	24,99 <sup>c</sup> (2,60)	22,29 <sup>b</sup> (0,71)	20,34 <sup>ab</sup> (0,89)	19,03 <sup>a</sup> (0,54)	24,99 <sup>c</sup> (2,60)	17,89 <sup>a</sup> (1,26)	17,48 <sup>a</sup> (0,88)	17,02 <sup>a</sup> (0,97)	24,99 <sup>d</sup> (2,60)	18,33 <sup>b</sup> (0,95)	16,88 <sup>ab</sup> (1,04)	16,22 <sup>a</sup> (1,08)
<b>4 saat</b>	31,90 <sup>d</sup> (2,83)	28,64 <sup>c</sup> (0,34)	28,18 <sup>c</sup> (0,39)	28,34 <sup>c</sup> (0,58)	31,90 <sup>e</sup> (2,83)	27,93 <sup>d</sup> (0,62)	26,20 <sup>cd</sup> (1,08)	25,48 <sup>c</sup> (1,30)	31,90 <sup>e</sup> (2,83)	22,16 <sup>b</sup> (1,19)	22,00 <sup>b</sup> (1,27)	20,38 <sup>b</sup> (1,32)	31,90 <sup>f</sup> (2,83)	22,48 <sup>c</sup> (1,21)	20,52 <sup>c</sup> (0,76)	20,80 <sup>c</sup> (1,37)
<b>8 saat</b>	39,77 <sup>f</sup> (3,56)	36,68 <sup>e</sup> (0,49)	36,18 <sup>e</sup> (0,46)	36,06 <sup>e</sup> (1,14)	39,77 <sup>g</sup> (3,56)	34,11 <sup>f</sup> (0,72)	34,34 <sup>f</sup> (0,88)	32,35 <sup>ef</sup> (0,51)	39,77 <sup>f</sup> (3,56)	30,76 <sup>de</sup> (1,31)	26,21 <sup>c</sup> (0,90)	29,66 <sup>d</sup> (1,50)	39,77 <sup>g</sup> (3,56)	28,41 <sup>e</sup> (0,76)	28,20 <sup>e</sup> (0,91)	25,21 <sup>d</sup> (1,14)
<b>24 saat</b>	54,02 <sup>h</sup> (5,62)	50,34 <sup>g</sup> (2,18)	51,57 <sup>g</sup> (1,29)	52,29 <sup>gh</sup> (2,79)	54,02 <sup>j</sup> (5,62)	45,88 <sup>h</sup> (1,45)	48,90 <sup>i</sup> (1,77)	44,78 <sup>h</sup> (1,54)	54,02 <sup>hi</sup> (5,62)	45,24 <sup>g</sup> (0,93)	40,88 <sup>f</sup> (1,26)	44,32 <sup>g</sup> (1,22)	54,02 <sup>j</sup> (5,62)	43,80 <sup>hi</sup> (2,44)	43,09 <sup>h</sup> (0,78)	30,71 <sup>f</sup> (1,03)
<b>48 saat</b>	64,75 <sup>j</sup> (6,79)	62,00 <sup>i</sup> (3,47)	63,69 <sup>ij</sup> (1,77)	64,20 <sup>ij</sup> (2,09)	64,75 <sup>m</sup> (6,79)	56,00 <sup>j</sup> (3,43)	59,71 <sup>k</sup> (2,00)	55,05 <sup>j</sup> (1,59)	64,75 <sup>k</sup> (6,79)	56,02 <sup>i</sup> (1,40)	53,56 <sup>h</sup> (1,86)	55,16 <sup>hi</sup> (1,20)	64,75 <sup>l</sup> (6,79)	54,56 <sup>j</sup> (2,36)	55,29 <sup>j</sup> (1,19)	45,40 <sup>i</sup> (1,21)
<b>72 saat</b>	72,12 <sup>l</sup> (6,63)	68,68 <sup>k</sup> (3,32)	69,96 <sup>kl</sup> (2,84)	71,02 <sup>kl</sup> (2,74)	72,12 <sup>o</sup> (6,63)	62,09 <sup>l</sup> (3,65)	66,92 <sup>n</sup> (2,09)	61,48 <sup>kl</sup> (3,51)	72,12 <sup>lm</sup> (6,63)	64,24 <sup>k</sup> (1,90)	60,71 <sup>j</sup> (1,97)	62,25 <sup>j</sup> (3,37)	72,12 <sup>no</sup> (6,63)	61,98 <sup>k</sup> (2,79)	63,62 <sup>kl</sup> (3,18)	55,39 <sup>j</sup> (1,33)
<b>1 hafta</b>	81,04 <sup>n</sup> (7,45)	78,04 <sup>m</sup> (5,43)	79,0 <sup>mn</sup> (2,81)	81,07 <sup>n</sup> (2,81)	81,04 <sup>r</sup> (7,45)	71,65 <sup>o</sup> (3,35)	75,48 <sup>p</sup> (2,16)	72,08 <sup>o</sup> (3,23)	81,04 <sup>o</sup> (7,45)	73,78 <sup>m</sup> (2,80)	70,22 <sup>l</sup> (2,47)	72,36 <sup>m</sup> (3,38)	81,04 <sup>r</sup> (7,45)	70,23 <sup>m</sup> (3,59)	72,46 <sup>o</sup> (3,27)	67,87 <sup>m</sup> (1,59)
<b>2 hafta</b>	90,19 <sup>op</sup> (7,97)	88,54 <sup>o</sup> (6,51)	89,5 <sup>op</sup> (4,48)	91,81 <sup>p</sup> (2,38)	90,19 <sup>t</sup> (7,97)	79,58 <sup>r</sup> (3,62)	85,77 <sup>s</sup> (3,39)	80,41 <sup>r</sup> (3,25)	90,19 <sup>p</sup> (7,97)	82,25 <sup>o</sup> (3,31)	78,35 <sup>n</sup> (2,93)	80,72 <sup>o</sup> (3,35)	90,19 <sup>s</sup> (7,97)	78,07 <sup>p</sup> (3,27)	79,86 <sup>pr</sup> (2,07)	79,27 <sup>pr</sup> (1,84)
<b>F- oranı / P-değeri</b>	877,3 / 0,000				904,5/ 0,000				1117,7 / 0,000				1150,3 / 0,000			

\* Her bir sıcaklığa ait SAO, kontrol örnekleri ile karşılaştırmalı olarak istatistik analize tabi tutulmuştur. \*\* Standart sapma değerleri parantez içinde verilmiştir.  
SBS: Suda bekleme süresi, K: Kontrol örneği.

120°C'deki uygulamaya benzer şekilde, 2 saatten 2 haftaya kadar olan SBS'leri için 160, 190 ve 210°C'de 3, 6 ve 9 saat ısıtım uygulanmış test örneklerine ait SAO'ları, kontrol örneklerine göre daha düşük bulunmuştur. 160 ve 210°C'de ısıtım işlemine uğratılmış dışbudak test örneklerinde en düşük SAO, 9 saatlik ısıtım varyasyonunda ve en düşük SBS olan 2 saatlik uygulamalarda elde edilmiş olup sırası ile %19,03 ve %16,22 olarak tespit edilmiştir. En yüksek SAO ise iki haftalık SBS'deki kontrol örneklerinde meydana gelmiştir (%90,19). Bu değer diğer tüm test ve kontrol örneklerine ait SAO'larından %95 güven düzeyinde farklıdır ( $p<0,05$ ). 210°C'de iki haftalık SBS'de, test örneklerine ait maksimum SAO (%79,86) oranı 6 saatlik ısıtım uygulamasında gerçekleşmiş olup bu değer kontrol örneklerinden istatistiksel olarak farklıdır (Çizelge 3.25).

Bütün SBS'leri için 160, 190 ve 210°C sıcaklıklara ait test ve kontrol örneklerinin SAO'ları, %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Ancak 160°C'ye ait 8 saat ile 2 hafta arasındaki SBS'lerinde, 3 ile 9 saatlik ısıtım işlem test örneklerine ait SAO'ları arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Ayrıca 190°C'de 2 ve 4 saatlik SBS'lerinde her bir varyasyonun test örnekleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Benzer bir durum 210°C'de 4 saat ve 2 haftalık SBS'lerinde meydana gelmiştir ( $p<0,05$ , Çizelge 3.25).

### **c) Plantasyon ormanı (4x4 m dikim aralığı)**

Çizelge 3.26'da, 120, 160, 190 ve 210°C'de 3, 6 ve 9 saat ısıtım işlemine uğratılmış, 4x4 m dikim aralığına ait dışbudak test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine göre ortalama SAO'ları ve istatistiksel sonuçları verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, bu sıcaklıklarda ısıtım işlemine uğratılmış dışbudak örneklerinde en düşük SAO, 9 saatlik ısıtım varyasyonunda ve en düşük SBS olan 2 saatlik uygulamada elde edilmiştir. Bu değerler sıcaklıklara göre sırası ile %19,25, %17,45, %16,65 ve %15,54'tür. Ancak 160°C'de 3 saatlik uygulama hariç, bu değerler ile diğer iki varyasyon (3 ve 6 saat) arasında istatistiksel olarak fark yoktur ( $p<0,05$ ). İki haftalık SBS'lerinde maksimum SAO oranı test örneklerine ait 120°C'de 6 saatlik uygulamada gerçekleşmiştir (%86,35).

**Çizelge 3.26.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtım işlem görmüş dişbudak (Plantasyon (4x4 m)) test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%).

SBS (saat/hafta)	Sıcaklık – Süre*															
	120°C				160°C				190°C				210°C			
	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat	K	3 saat	6 saat	9 saat
<b>2 saat</b>	22,25 <sup>b</sup> (3,17)**	19,79 <sup>a</sup> (0,38)	19,50 <sup>a</sup> (0,45)	19,25 <sup>a</sup> (0,56)	22,25 <sup>c</sup> (3,17)	19,90 <sup>b</sup> (0,73)	18,49 <sup>ab</sup> (0,61)	17,45 <sup>a</sup> (0,43)	22,25 <sup>b</sup> (3,17)	16,82 <sup>a</sup> (1,04)	17,24 <sup>a</sup> (0,73)	16,65 <sup>a</sup> (0,85)	22,25 <sup>c</sup> (3,17)	16,80 <sup>a</sup> (0,83)	16,00 <sup>a</sup> (1,04)	15,54 <sup>a</sup> (0,88)
<b>4 saat</b>	28,47 <sup>d</sup> (3,80)	25,76 <sup>c</sup> (0,32)	25,37 <sup>c</sup> (0,42)	25,02 <sup>c</sup> (0,44)	28,47 <sup>e</sup> (3,80)	24,97 <sup>d</sup> (0,52)	24,27 <sup>d</sup> (0,98)	23,48 <sup>cd</sup> (0,73)	28,47 <sup>d</sup> (3,80)	21,32 <sup>b</sup> (1,03)	21,36 <sup>b</sup> (1,00)	20,57 <sup>b</sup> (1,46)	28,47 <sup>e</sup> (3,80)	20,52 <sup>b</sup> (1,13)	19,82 <sup>b</sup> (0,77)	19,56 <sup>b</sup> (1,27)
<b>8 saat</b>	35,90 <sup>f</sup> (4,63)	31,76 <sup>e</sup> (0,87)	32,27 <sup>e</sup> (0,65)	31,88 <sup>e</sup> (0,44)	35,90 <sup>g</sup> (4,63)	30,88 <sup>f</sup> (0,68)	31,60 <sup>f</sup> (1,73)	30,15 <sup>ef</sup> (1,33)	35,90 <sup>e</sup> (4,63)	29,79 <sup>d</sup> (0,95)	26,42 <sup>c</sup> (0,98)	25,27 <sup>c</sup> (1,31)	35,90 <sup>f</sup> (4,63)	27,36 <sup>e</sup> (0,90)	24,46 <sup>d</sup> (0,78)	23,86 <sup>cd</sup> (1,05)
<b>24 saat</b>	51,39 <sup>h</sup> (5,54)	46,49 <sup>g</sup> (2,51)	47,17 <sup>g</sup> (0,64)	46,45 <sup>g</sup> (0,38)	51,39 <sup>j</sup> (5,54)	43,83 <sup>h</sup> (0,68)	46,39 <sup>i</sup> (2,35)	43,10 <sup>h</sup> (0,81)	51,39 <sup>i</sup> (5,54)	43,87 <sup>g</sup> (1,09)	41,85 <sup>g</sup> (2,36)	39,48 <sup>f</sup> (1,42)	51,39 <sup>j</sup> (5,54)	41,37 <sup>h</sup> (1,55)	39,90 <sup>h</sup> (1,27)	38,13 <sup>g</sup> (1,06)
<b>48 saat</b>	62,28 <sup>i</sup> (5,77)	58,79 <sup>i</sup> (2,99)	58,19 <sup>i</sup> (2,48)	57,54 <sup>i</sup> (2,53)	62,28 <sup>m</sup> (5,77)	53,94 <sup>k</sup> (0,87)	57,90 <sup>l</sup> (2,19)	52,63 <sup>jk</sup> (1,32)	62,28 <sup>k</sup> (5,77)	56,99 <sup>j</sup> (2,66)	51,92 <sup>i</sup> (2,37)	51,31 <sup>i</sup> (2,05)	62,28 <sup>m</sup> (5,77)	50,56 <sup>ij</sup> (1,97)	50,91 <sup>ij</sup> (1,43)	49,33 <sup>i</sup> (1,37)
<b>72 saat</b>	69,24 <sup>l</sup> (5,94)	66,24 <sup>k</sup> (2,82)	66,17 <sup>k</sup> (2,06)	65,30 <sup>k</sup> (2,72)	69,24 <sup>o</sup> (5,94)	62,13 <sup>m</sup> (0,71)	65,22 <sup>n</sup> (2,58)	59,21 <sup>l</sup> (2,10)	69,24 <sup>m</sup> (5,94)	64,38 <sup>l</sup> (3,97)	58,34 <sup>j</sup> (1,75)	57,36 <sup>j</sup> (1,98)	69,24 <sup>p</sup> (5,94)	56,33 <sup>k</sup> (1,73)	58,11 <sup>l</sup> (1,86)	56,86 <sup>kl</sup> (1,37)
<b>1 hafta</b>	78,57 <sup>m</sup> (5,65)	77,95 <sup>m</sup> (4,83)	78,46 <sup>m</sup> (2,55)	77,15 <sup>m</sup> (3,29)	78,57 <sup>r</sup> (5,65)	72,74 <sup>p</sup> (1,91)	77,38 <sup>r</sup> (2,36)	71,44 <sup>p</sup> (2,18)	78,57 <sup>o</sup> (5,65)	72,88 <sup>n</sup> (3,33)	67,84 <sup>m</sup> (3,36)	67,43 <sup>m</sup> (3,25)	78,57 <sup>l</sup> (5,65)	64,65 <sup>n</sup> (2,29)	66,87 <sup>o</sup> (2,75)	66,70 <sup>o</sup> (1,46)
<b>2 hafta</b>	85,94 <sup>n</sup> (5,83)	85,58 <sup>n</sup> (4,46)	86,35 <sup>n</sup> (3,65)	84,77 <sup>n</sup> (3,86)	85,94 <sup>t</sup> (5,83)	80,77 <sup>s</sup> (2,20)	84,88 <sup>t</sup> (2,92)	78,76 <sup>r</sup> (5,48)	85,94 <sup>p</sup> (5,83)	78,53 <sup>o</sup> (3,69)	73,47 <sup>n</sup> (3,20)	74,19 <sup>n</sup> (2,62)	85,94 <sup>u</sup> (5,83)	72,37 <sup>r</sup> (2,19)	74,29 <sup>s</sup> (2,52)	75,23 <sup>s</sup> (2,29)
<b>F- oranı/ P-değeri</b>	1097,5 / 0,000				1262,1 / 0,000				1034,8 / 0,000				1372,6 / 0,000			

\* Her bir sıcaklığa ait SAO, kontrol örnekleri ile karşılaştırmalı olarak istatistik analize tabi tutulmuştur. \*\* Standart sapma değerleri parantez içinde verilmiştir.  
SBS: Suda bekleme süresi, K: Kontrol örneği.

Kontrol örneklerine ait en düşük SAO, en düşük SBS olan 2 saatlik uygulamada elde edilmiştir (%22,25). Yapılan BVA'ya göre 2 saatten 72 saate kadar olan SBS'leri için bütün test örneklerine ait SAO'ları, kontrol örneklerinden %95 güven düzeyinde farklı bulunmuştur.

2 saatten 2 haftaya kadar olan SBS'leri için 160, 190 ve 210°C'de 3, 6 ve 9 saat ısıtım işlemi uygulanmış test örneklerine ait SAO'ları, kontrol örneklerine göre daha düşük bulunmuştur. Bu durum 120°C'de ısıtım işlemine uğratılmış dışbudak örneklerinde 2 haftalık SBS'si hariç diğer tüm uygulamalarda benzer sonuçlar vermiştir. Bu durumda ısıtım işleminin şiddeti arttıkça SAO'larının azaldığı söylenebilir. Yıldız (2002), ısıtım işlemine tabi tutulmuş kayın odunu örneklerinde sıcaklık arttıkça su alma oranının azaldığını bildirmektedir. 190°C'de elde edilen en yüksek SAO, iki haftalık SBS'nde ve 3 saatlik ısıtım işlemi uygulamasında (%78,53), 210°C'de ise aynı SBS'nde 9 saatlik ısıtım işlemi uygulamasında (%75,23) gerçekleşmiş olup bu değerler kontrol örneklerinden istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde farklı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).

Doğal ve plantasyon ormanlardan (3x2,5 m ve 4x4 m) temin edilen dışbudak odun örneklerinin ısıtım işlemi sonucu elde edilen test ve kontrol örneklerinin farklı su emilim süreleri (SBS) sonunda almış oldukları su miktarlarına ilişkin bulgular Çizelge 3.27'de, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.28'de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, muamele görmemiş kontrol örneklerine ait SAO'ları, 1 haftalık SBS hariç diğer tüm SBS'lerinde meşcerelere göre, istatistiksel olarak farklılık gösterdiği belirlenmiş olup en yüksek SAO, 3x2,5 m dikim aralığına ait kontrol örneklerinde (%90,19) tespit edilmiştir.

Genel olarak ısıtım işlemi sıcaklığının artışına bağlı olarak ortalama SAO'larında azalmalar tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada, farklı sıcaklıklarda (170, 190, 210 ve 230°C) çam ve ladin odununa uygulanan ısıtım işlemi sonucu oluşan su emilim farklılıkları incelenmiş ve ısıtım işleminin açık bir şekilde su emilimini azalttığı belirlenmiştir. Daha yüksek ısıtım işlemi sıcaklığı, daha düşük su emilimine neden olmuştur (Metsa-Kortelainen ve diğ. 2006).

**Çizelge 3.27.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıl işlem görmüş, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%).

Bölge	Sıcaklık (°C)	2 saat SBS			4 saat SBS			8 saat SBS			24 saat SBS		
		3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	21,19 <sup>cd*</sup>	21,19 <sup>cd</sup>	21,19 <sup>cd</sup>	27,25 <sup>cd</sup>	27,25 <sup>cd</sup>	27,25 <sup>cd</sup>	33,91 <sup>c</sup>	33,91 <sup>c</sup>	33,91 <sup>c</sup>	48,41 <sup>cde</sup>	48,41 <sup>cde</sup>	48,41 <sup>cde</sup>
		(2,35)	(2,35)	(2,35)	(2,63)	(2,63)	(2,63)	(2,73)	(2,73)	(2,73)	(4,22)	(4,22)	(4,22)
		24,99 <sup>a</sup>	24,99 <sup>a</sup>	24,99 <sup>a</sup>	31,90 <sup>a</sup>	31,90 <sup>a</sup>	31,90 <sup>a</sup>	39,77 <sup>a</sup>	39,77 <sup>a</sup>	39,77 <sup>a</sup>	54,02 <sup>a</sup>	54,02 <sup>a</sup>	54,02 <sup>a</sup>
		(2,60)	(2,60)	(2,60)	(2,83)	(2,83)	(2,83)	(3,56)	(3,56)	(3,56)	(5,62)	(5,62)	(5,62)
		22,25 <sup>b</sup>	22,25 <sup>b</sup>	22,25 <sup>b</sup>	28,47 <sup>b</sup>	28,47 <sup>b</sup>	28,47 <sup>b</sup>	35,90 <sup>b</sup>	35,90 <sup>b</sup>	35,90 <sup>b</sup>	51,39 <sup>b</sup>	51,39 <sup>b</sup>	51,39 <sup>b</sup>
		(3,17)	(3,17)	(3,17)	(3,80)	(3,80)	(3,80)	(4,63)	(4,63)	(4,63)	(5,54)	(5,54)	(5,54)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	19,09 <sup>ghi</sup>	18,65 <sup>ghij</sup>	18,29 <sup>ijk</sup>	24,97 <sup>fg</sup>	24,26 <sup>gh</sup>	24,25 <sup>gh</sup>	31,21 <sup>defg</sup>	31,48 <sup>def</sup>	30,78 <sup>fgh</sup>	48,20 <sup>de</sup>	47,11 <sup>def</sup>	46,96 <sup>def</sup>
		(0,19)	(0,48)	(0,51)	(0,30)	(0,48)	(0,34)	(0,89)	(1,29)	(1,09)	(2,39)	(2,17)	(2,68)
		21,98 <sup>bc</sup>	21,49 <sup>bc</sup>	21,4 <sup>bc</sup>	28,64 <sup>b</sup>	28,19 <sup>bc</sup>	28,34 <sup>bc</sup>	36,68 <sup>b</sup>	36,18 <sup>b</sup>	36,06 <sup>b</sup>	50,34 <sup>bc</sup>	51,57 <sup>b</sup>	52,30 <sup>ab</sup>
		(0,40)	(0,59)	(0,54)	(0,34)	(0,39)	(0,58)	(0,49)	(0,46)	(1,14)	(2,18)	(1,29)	(2,79)
		19,79 <sup>ef</sup>	19,50 <sup>efg</sup>	19,25 <sup>fghi</sup>	25,77 <sup>ef</sup>	25,37 <sup>efg</sup>	25,02 <sup>fg</sup>	31,76 <sup>def</sup>	32,27 <sup>de</sup>	31,88 <sup>def</sup>	46,49 <sup>efg</sup>	47,17 <sup>def</sup>	46,45 <sup>efg</sup>
		(0,38)	(0,45)	(0,56)	(0,32)	(0,42)	(0,44)	(0,87)	(0,65)	(0,44)	(2,51)	(0,64)	(0,38)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	19,33 <sup>gh</sup>	17,83 <sup>klm</sup>	17,00 <sup>lmnop</sup>	25,10 <sup>efg</sup>	23,57 <sup>hi</sup>	22,43 <sup>kl</sup>	30,01 <sup>ghi</sup>	30,94 <sup>efgh</sup>	28,58 <sup>ijklm</sup>	41,79 <sup>lmn</sup>	46,50 <sup>efg</sup>	42,11 <sup>klm</sup>
		(0,43)	(0,71)	(0,90)	(0,78)	(0,63)	(1,02)	(0,84)	(1,07)	(1,37)	(1,00)	(2,78)	(1,35)
		22,29 <sup>b</sup>	20,34 <sup>de</sup>	19,03 <sup>ghi</sup>	27,93 <sup>bc</sup>	26,20 <sup>de</sup>	25,48 <sup>ef</sup>	34,11 <sup>c</sup>	34,34 <sup>c</sup>	32,35 <sup>d</sup>	45,89 <sup>gh</sup>	48,90 <sup>cd</sup>	44,78 <sup>ghij</sup>
		(0,71)	(0,89)	(0,54)	(0,62)	(1,08)	(1,30)	(0,72)	(0,88)	(0,51)	(1,45)	(1,77)	(1,54)
		19,90 <sup>ef</sup>	18,50 <sup>hij</sup>	17,45 <sup>klmn</sup>	24,97 <sup>fg</sup>	24,27 <sup>gh</sup>	23,48 <sup>hij</sup>	30,88 <sup>gh</sup>	31,60 <sup>def</sup>	30,15 <sup>ghi</sup>	43,83 <sup>ijk</sup>	46,39 <sup>efg</sup>	43,10 <sup>kl</sup>
		(0,73)	(0,61)	(0,43)	(0,52)	(0,98)	(0,73)	(0,68)	(1,73)	(1,33)	(0,68)	(2,35)	(0,81)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	16,33 <sup>oprs</sup>	16,51 <sup>noprs</sup>	16,04 <sup>prs</sup>	22,58 <sup>ijk</sup>	20,37 <sup>mno</sup>	20,25 <sup>mno</sup>	29,31 <sup>ijkl</sup>	27,33 <sup>mn</sup>	24,56 <sup>pr</sup>	42,33 <sup>klm</sup>	41,21 <sup>lmno</sup>	39,54 <sup>op</sup>
		(0,67)	(0,80)	(0,66)	(1,03)	(0,95)	(1,16)	(1,41)	(0,67)	(0,88)	(1,51)	(2,17)	(2,04)
		17,89 <sup>kl</sup>	17,48 <sup>klmn</sup>	17,02 <sup>lmnop</sup>	22,16 <sup>kl</sup>	22,00 <sup>kl</sup>	20,38 <sup>mno</sup>	30,76 <sup>gh</sup>	26,21 <sup>no</sup>	29,66 <sup>hijk</sup>	45,24 <sup>fghi</sup>	40,88 <sup>mno</sup>	44,32 <sup>hij</sup>
		(1,26)	(0,88)	(0,97)	(1,19)	(1,27)	(1,32)	(1,31)	(0,90)	(1,50)	(0,93)	(1,26)	(1,22)
		16,82 <sup>nop</sup>	17,24 <sup>lmno</sup>	16,65 <sup>nopr</sup>	21,32 <sup>lm</sup>	21,36 <sup>lm</sup>	20,57 <sup>mno</sup>	29,79 <sup>hij</sup>	26,42 <sup>no</sup>	25,27 <sup>op</sup>	43,87 <sup>ijk</sup>	41,85 <sup>lmn</sup>	39,48 <sup>op</sup>
		(1,04)	(0,73)	(0,85)	(1,03)	(1,00)	(1,46)	(0,95)	(0,98)	(1,31)	(1,09)	(2,36)	(1,42)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	16,35 <sup>oprs</sup>	15,74 <sup>rst</sup>	14,99 <sup>t</sup>	20,37 <sup>mno</sup>	19,54 <sup>op</sup>	19,01 <sup>p</sup>	25,28 <sup>op</sup>	23,46 <sup>rs</sup>	22,89 <sup>s</sup>	39,80 <sup>op</sup>	38,17 <sup>p</sup>	35,91 <sup>r</sup>
		(0,84)	(0,79)	(0,93)	(0,88)	(0,93)	(1,15)	(0,77)	(0,97)	(1,30)	(0,95)	(1,15)	(1,29)
		18,34 <sup>ijk</sup>	16,88 <sup>mno</sup>	16,22 <sup>oprs</sup>	22,481 <sup>ijk</sup>	20,52 <sup>mno</sup>	20,80 <sup>mn</sup>	28,41 <sup>klm</sup>	28,20 <sup>lm</sup>	25,21 <sup>op</sup>	43,80 <sup>ijk</sup>	43,09 <sup>kl</sup>	30,71 <sup>s</sup>
		(0,95)	(1,04)	(1,08)	(1,21)	(0,76)	(1,37)	(0,76)	(0,91)	(1,14)	(2,44)	(0,78)	(1,03)
		16,80 <sup>nop</sup>	16,00 <sup>prs</sup>	15,54 <sup>st</sup>	20,52 <sup>mno</sup>	19,82 <sup>nop</sup>	19,56 <sup>op</sup>	27,36 <sup>mn</sup>	24,46 <sup>pr</sup>	23,86 <sup>rs</sup>	41,37 <sup>lmno</sup>	39,90 <sup>nop</sup>	38,13 <sup>p</sup>
		(0,83)	(1,04)	(0,88)	(1,13)	(0,77)	(1,27)	(0,90)	(0,78)	(1,05)	(1,55)	(1,27)	(1,06)
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		72,214/0,000			99,278/0,000			117,98/0,000			70,98/0,000		

**Çizelge 3.27 (devam).** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak test ve kontrol örneklerinin farklı SBS'lerine ait ortalama SAO (%).

Bölge	Sıcaklık (°C)	48 saat SBS			72 saat SBS			1 hafta SBS			2 hafta SBS		
		3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	58,49 <sup>gh</sup> (4,87)	58,49 <sup>gh</sup> (4,87)	58,49 <sup>gh</sup> (4,87)	64,4 <sup>defg</sup> (4,90)	64,4 <sup>defg</sup> (4,90)	64,4 <sup>defg</sup> (4,90)	72,49 <sup>ef</sup> (4,95)	72,49 <sup>ef</sup> (4,95)	72,49 <sup>ef</sup> (4,95)	78,99 <sup>ghi</sup> (4,79)	78,99 <sup>ghi</sup> (4,79)	78,99 <sup>ghi</sup> (4,79)
		64,75 <sup>a</sup> (6,79)	64,75 <sup>a</sup> (6,79)	64,75 <sup>a</sup> (6,79)	72,12 <sup>a</sup> (6,63)	72,12 <sup>a</sup> (6,63)	72,12 <sup>a</sup> (6,63)	81,03 <sup>a</sup> (7,45)	81,03 <sup>a</sup> (7,45)	81,03 <sup>a</sup> (7,45)	90,19 <sup>ab</sup> (7,97)	90,19 <sup>ab</sup> (7,97)	90,19 <sup>ab</sup> (7,97)
		62,28 <sup>bc</sup> (5,77)	62,28 <sup>bc</sup> (5,77)	62,28 <sup>bc</sup> (5,77)	69,24 <sup>bc</sup> (5,94)	69,24 <sup>bc</sup> (5,94)	69,24 <sup>bc</sup> (5,94)	78,57 <sup>ab</sup> (5,65)	78,57 <sup>ab</sup> (5,65)	78,57 <sup>ab</sup> (5,65)	85,94 <sup>cd</sup> (5,83)	85,94 <sup>cd</sup> (5,83)	85,94 <sup>cd</sup> (5,83)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	61,27 <sup>cd</sup> (2,12)	60,97 <sup>cde</sup> (1,95)	59,98 <sup>cdef</sup> (2,70)	65,50 <sup>def</sup> (3,63)	66,30 <sup>de</sup> (2,29)	64,93 <sup>def</sup> (2,51)	70,69 <sup>f</sup> (2,81)	72,11 <sup>ef</sup> (2,24)	70,64 <sup>f</sup> (3,20)	76,60 <sup>ijkl</sup> (2,45)	78,34 <sup>ghi</sup> (1,49)	77,20 <sup>hijk</sup> (1,31)
		62,00 <sup>bc</sup> (3,47)	63,69 <sup>ab</sup> (1,77)	64,20 <sup>ab</sup> (2,09)	68,68 <sup>bc</sup> (3,32)	69,97 <sup>ab</sup> (2,84)	71,02 <sup>ab</sup> (2,74)	78,04 <sup>bc</sup> (5,43)	78,98 <sup>ab</sup> (2,81)	81,07 <sup>a</sup> (2,81)	88,55 <sup>bc</sup> (6,51)	89,52 <sup>ab</sup> (4,48)	91,81 <sup>a</sup> (2,38)
		58,79 <sup>efgh</sup> (2,99)	58,19 <sup>ghi</sup> (2,48)	57,54 <sup>ghi</sup> (2,53)	66,24 <sup>de</sup> (2,82)	66,17 <sup>de</sup> (2,06)	65,3 <sup>def</sup> (2,72)	77,95 <sup>bc</sup> (4,83)	78,46 <sup>ab</sup> (2,55)	77,15 <sup>bc</sup> (3,29)	85,58 <sup>cd</sup> (4,46)	86,36 <sup>cd</sup> (3,65)	84,77 <sup>de</sup> (3,86)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	50,73 <sup>prstu</sup> (1,21)	58,34 <sup>gh</sup> (2,60)	52,72 <sup>mnp</sup> (1,80)	57,70 <sup>lmn</sup> (1,73)	63,40 <sup>gh</sup> (2,73)	58,42 <sup>klm</sup> (3,14)	67,06 <sup>ijk</sup> (1,84)	69,92 <sup>gh</sup> (3,15)	65,97 <sup>ijkl</sup> (2,35)	73,63 <sup>lmno</sup> (1,86)	77,16 <sup>hijk</sup> (3,94)	73,48 <sup>lmno</sup> (3,05)
		56,00 <sup>ijk</sup> (3,43)	59,71 <sup>defg</sup> (2,00)	55,05 <sup>kl</sup> (1,59)	62,09 <sup>ghi</sup> (3,65)	66,92 <sup>cd</sup> (2,09)	61,48 <sup>hij</sup> (3,51)	71,65 <sup>ef</sup> (3,35)	75,48 <sup>cd</sup> (2,16)	72,08 <sup>ef</sup> (3,23)	79,58 <sup>ghi</sup> (3,62)	85,77 <sup>cd</sup> (3,39)	80,41 <sup>g</sup> (3,25)
		53,94 <sup>klmn</sup> (0,87)	57,90 <sup>ghi</sup> (2,19)	52,63 <sup>mnp</sup> (1,32)	62,13 <sup>ghi</sup> (0,71)	65,22 <sup>def</sup> (2,58)	59,21 <sup>ijkl</sup> (2,10)	72,75 <sup>ef</sup> (1,91)	77,38 <sup>bc</sup> (2,36)	71,44 <sup>ef</sup> (2,18)	80,77 <sup>g</sup> (2,20)	84,88 <sup>de</sup> (2,92)	78,76 <sup>ghi</sup> (5,48)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	51,72 <sup>nopr</sup> (1,87)	50,23 <sup>rstu</sup> (2,06)	48,77 <sup>u</sup> (2,81)	57,32 <sup>lmno</sup> (2,03)	55,94 <sup>mnp</sup> (2,13)	54,49 <sup>p</sup> (2,84)	66,57 <sup>ijk</sup> (2,16)	65,62 <sup>ijkl</sup> (2,45)	64,52 <sup>kl</sup> (2,98)	75,18 <sup>klm</sup> (2,74)	74,69 <sup>klmn</sup> (3,49)	73,52 <sup>lmno</sup> (1,53)
		56,03 <sup>ijk</sup> (1,40)	53,56 <sup>lmno</sup> (1,86)	55,16 <sup>kl</sup> (1,20)	64,24 <sup>defg</sup> (1,90)	60,71 <sup>ijk</sup> (1,97)	62,25 <sup>ghi</sup> (3,37)	73,78 <sup>de</sup> (2,80)	70,22 <sup>fg</sup> (2,47)	72,36 <sup>ef</sup> (3,38)	82,25 <sup>ef</sup> (3,31)	78,35 <sup>ghi</sup> (2,93)	80,72 <sup>g</sup> (3,35)
		56,99 <sup>hij</sup> (2,66)	51,92 <sup>nopr</sup> (2,37)	51,31 <sup>oprst</sup> (2,05)	64,38 <sup>defg</sup> (3,97)	58,34 <sup>klm</sup> (1,75)	57,36 <sup>lmno</sup> (1,98)	72,88 <sup>ef</sup> (3,33)	67,84 <sup>ghi</sup> (3,36)	67,43 <sup>hij</sup> (3,25)	78,53 <sup>ghi</sup> (3,69)	73,47 <sup>lmno</sup> (3,20)	74,19 <sup>klmno</sup> (2,62)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	49,41 <sup>st</sup> (1,15)	49,36 <sup>tu</sup> (1,51)	46,57 <sup>v</sup> (1,69)	54,94 <sup>op</sup> (1,60)	56,47 <sup>mnp</sup> (1,40)	54,67 <sup>p</sup> (1,17)	63,28 <sup>l</sup> (1,45)	65,78 <sup>ijkl</sup> (2,20)	63,24 <sup>l</sup> (1,43)	71,47 <sup>no</sup> (2,41)	74,35 <sup>klmno</sup> (2,10)	71,71 <sup>no</sup> (1,97)
		54,56 <sup>klm</sup> (2,36)	55,29 <sup>kl</sup> (1,19)	45,40 <sup>v</sup> (1,21)	61,98 <sup>ghi</sup> (2,79)	63,62 <sup>efgh</sup> (3,18)	55,39 <sup>nop</sup> (1,33)	70,23 <sup>g</sup> (3,59)	72,46 <sup>ef</sup> (3,27)	67,87 <sup>ghi</sup> (1,59)	78,07 <sup>ghij</sup> (3,27)	79,86 <sup>gh</sup> (2,07)	79,27 <sup>ghi</sup> (1,84)
		50,56 <sup>prstu</sup> (1,97)	50,91 <sup>prstu</sup> (1,43)	49,33 <sup>tu</sup> (1,37)	56,33 <sup>mnp</sup> (1,73)	58,11 <sup>lm</sup> (1,86)	56,87 <sup>lmnop</sup> (1,37)	64,65 <sup>kl</sup> (2,29)	66,87 <sup>ijk</sup> (2,75)	66,70 <sup>ijk</sup> (1,46)	72,37 <sup>mno</sup> (2,19)	74,29 <sup>klmno</sup> (2,52)	75,23 <sup>klm</sup> (2,29)
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		55,92/0,000			45,46/0,000			39,17/0,000			39,44/0,000		

\* Her bir suda bekleme süresi sütununda ve satırında aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). SBS: Suda bekleme süresi.



Doğal ve plantasyon ormanlarından (3x2,5 m ve 4x4 m) elde edilen test ve kontrol örneklerinde ortalama SAO'ları, artan SBS'ne bağlı olarak artış göstermiştir. 2, 4 ve 8 saatlik SBS sonunda, tüm ısıl işlem uygulamalarında elde edilen test örneklerine ait SAO'ları, kontrol örneklerinden farklı bulunmuştur. Ancak 190°C'de 6 ve 9 saatlik ısıl işlem uygulaması sonucunda, üç meşçereye ait odun örneklerinin 2 saatlik SBS sonunda elde ettikleri ortalama SAO'ları arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Bu uygulamalar dışındaki tüm varyasyonlarda, doğal ve 4x4 m dikim aralığına ait SAO'ları arasında fark bulunmaz iken, 3x2,5 m diğerlerinden farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). 2 saatlik SBS'nde elde edilen en yüksek SAO, 3x2,5 m de elde edilirken, en düşük değerler ise doğal meşçerede bulunmuştur.

190°C'de 9 saat ve 210°C'de 6 saatlik test örneklerine ait SAO'ları 4 saatlik SBS'inde, meşçerelere göre farklılık göstermemiştir. Aynı SBS'ne ait 190°C'de 3 saatlik uygulamada, doğal ve 3x2,5 m ile 3x2,5 m ve 4x4 m'ye ait SAO'ları arasında fark bulunmaz iken, 190°C'de 6 saatlik varyasyonda ise doğal ve 4x4 m ile 3x2,5 m ve 4x4 m dikim aralığı arasında istatistiksel olarak fark yoktur. 4 saatlik SBS'inde en düşük ortalama SAO, 2 saatlik SBS'inde olduğu gibi doğal meşçerede elde edilmiştir.

8 saatlik SBS için 160°C'de 9 saatlik ısıl işlem uygulamasına ait SAO, meşçerelere göre farklılık gösterir iken, 190°C'de 6 saatlik uygulama ile üç meşçerede elde edilen SAO'ları arasında istatistiksel olarak fark yoktur (Çizelge 3.27). Genel olarak bu uygulamaların dışında doğal ve 4x4 m'ye ait SAO'ları arasında fark yok iken, 3x2,5 m diğerlerinden farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

190°C'de 6 saatlik ısıl işlem uygulamasına ait en yüksek SAO, 24 saatlik suda bekletme süresinde 4x4 m'de elde edilmiş olup, tüm meşçereler arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmemiştir. Bu uygulama dışındaki tüm varyasyonlarda ise en yüksek SAO, 3x2,5 m'de elde edilmiştir. 24 saatlik SBS için, doğal ve 4x4 m dikim aralığına ait kontrol örnekleri ile 120°C'deki test örneklerindeki SAO'ları arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır.

48 saatlik SBS için, 120°C'de 6 ve 9 saatlik ısıl işlem uygulaması ile 190°C'de 9 saatlik uygulamada elde edilen SAO'ları arasında meşçerelere göre farklılıklar istatistiksel

olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Ancak  $160^{\circ}\text{C}$ 'de 6 saatlik ısıtım uygulamasında ise meşcerelere göre SAO'ları arasında istatistiksel olarak fark yoktur.

Su alma oranlarına ait meşcere farklılıklarına bakıldığında; 72 saatlik SBS için  $190^{\circ}\text{C}$ 'de 9 saatlik ısıtım uygulaması, 1 haftalık SBS için  $120$  ve  $190^{\circ}\text{C}$ 'de 9 saatlik uygulamaları ile 2 haftalık SBS için  $120^{\circ}\text{C}$ 'de 6 ve 9 saatlik,  $190^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saatlik ve  $210^{\circ}\text{C}$ 'de 9 saatlik ısıtım uygulamasına ait SAO'ları, üç meşcere de istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Genel olarak bu üç SBS'ye ait en yüksek SAO'ları diğer SBS'lerinde olduğu gibi  $3 \times 2,5$  m dikim aralığından elde edilmiştir.

**Çizelge 3.28.** Farklı sıcaklıklarda ( $120, 160, 190$  ve  $210^{\circ}\text{C}$ ) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtım uygulanan, doğal ve plantasyon ( $3 \times 2,5$  m ve  $4 \times 4$  m) ormanlarından alınan dişbudak odununda SAO'ya ait ÇVA sonuçları ( $p<0,05$ ).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	23596	2	11798	25,49	0,000
Sıcaklık (B)	32540	3	10847	23,43	0,000
Süre (C)	38349	3	12783	27,62	0,000
AxB	515,6	6	85,933	0,186	0,981 <sup>ÖD</sup>
AxC	1033	6	172,1	0,372	0,897 <sup>ÖD</sup>
BxC	11640	9	1293	2,794	0,003
AxBxC	1884	18	104,7	0,226	1,000 <sup>ÖD</sup>
Hata	3088069	6672	462,8		
Toplam	3211192	6719			

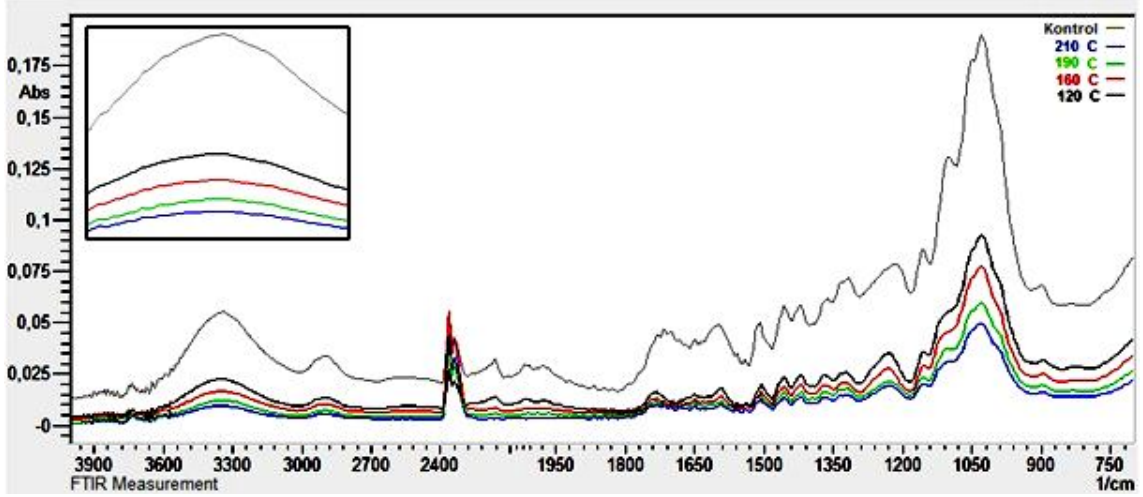
ÖD: Önemli değil.

Çizelge 3.28'e göre, meşcere ve sıcaklık etkileşiminin, meşcere ve süre etkileşimi ile meşcere sıcaklık ve süre üçlü etkileşiminin ortalama su alma oranına (SAO) etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, ancak meşcere, sıcaklık, süre ve BxC etkileşiminin yüksek güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

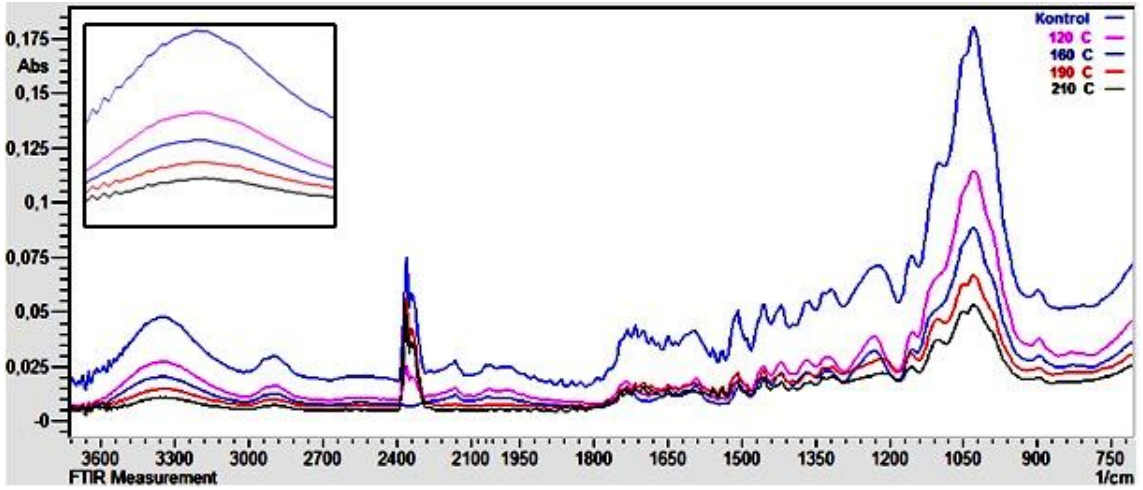
Koruyucu gaz ortamında  $200^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde gerçekleştirilen ısıtım işlemi ile odunun kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler, odunun tüm özelliklerini etkilemektedir. Odun, bulunduğu ortamdan rutubeti absorbe ederken, su molekülleri odun polimerlerinin (hemiselüloz ve amorf selüloz) arasına girmeye çalışır. Isıtım işlemi nedeniyle OH gruplarının kopmuş olması ve odun liflerinin meydana getirmiş olduğu çapraz bağlar, suyun odunun içine girebilme kabiliyetini önemli derecede azaltmaktadır

(Homan ve diğ. 2000, Tuong ve Li 2010). Bu durum kontrol örneklerine göre test örneklerinin daha az SAO'na sahip olmasının temel nedeni olarak gösterilmektedir.

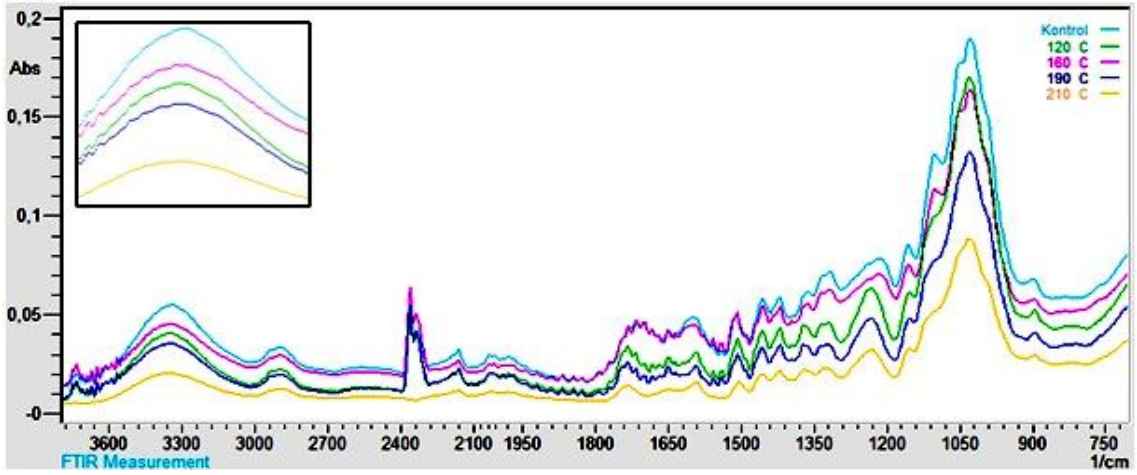
Farklı sıcaklıklarda ısıl işlem görmüş dişbudak odunları FTIR spektra analizleri ile karakterize edilmiş olup, pikler Şekil 3.9-3.11'de gösterilmiştir. FTIR analizleri her üç meşcerede ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu analizler tüm varyasyonlar için uygulanmamış olup, her bir sıcaklık için 3 saatlik varyasyonlar dikkate alınmıştır.



Şekil 3.9. Doğal meşcereden temin edilen dişbudak test ve kontrol örneklerinde farklı sıcaklıklara ait FTIR spektraları.



Şekil 3.10. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dişbudak test ve kontrol örneklerinde farklı sıcaklıklara ait FTIR spektraları.



**Şekil 3.11.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dişbudak test ve kontrol örneklerinde farklı sıcaklıklara ait FTIR spektraları.

Isıl işlem sonucu dişbudak örnekleri benzer spektral sonuçlar vermiştir. Isıl işlem görmüş test örneklerinde hemiselülozların büyük bir bölümünün uzaklaştırıldığı, FTIR spektralarındaki hemiselülozun (ksilan) bünyesinde bulunan C=O ve C-O gruplarından kaynaklanan 1740 ve 1590  $\text{cm}^{-1}$  deki absorpsiyon piklerinin şiddetlerinin azalmasından anlaşılmaktadır (Şekil 3.9-3.11). Ayrıca dişbudak odunlarının SAO'larında önemli azalmalara sebep olan serbest hidroksil (-OH) gruplarının etkin bir şekilde uzaklaştığı, sıcaklık artışına bağlı olarak 3350  $\text{cm}^{-1}$  frekansında gözlenen OH gerilme titreşimine ait piklerin absorbans değerlerinin azalması ile açıklanabilir. Miklecic ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada benzer sonuçlar ifade edilmektedir.

#### 3.2.4.2. Su İtici Etkinlik Üzerine Isıl İşlemin Etkisi

Su itici etkinlik değeri (SİE), kontrol örneklerine göre ısıl işlem uygulanmış test örneklerinin su alma oranlarındaki azalmayı ifade etmektedir. Bu amaç doğrultusunda, farklı varyasyonlarda ısıl işleme uğratıldıktan sonra değişik sürelerde suda bekletilen test örneklerinin SİE değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma ile istatistiksel homojenlik grupları ve istatistiksel verileri, her bir yetiştirme ortamı için ayrı ayrı verilmiştir.

##### a) Doğal dişbudak ormanı

Kontrol örneklerine oranla 120, 160, 190 ve 210°C'de 3, 6 ve 9 saat ısıl işlem uygulanmış doğal dişbudak test örneklerinin farklı suda bekleme süreleri (SBS)

sonunda kazanmış oldukları ortalama SİE değerleri ve istatistiksel verileri Çizelge 3.29'da verilmiştir. Genel olarak tüm ısıl işlem sıcaklıklarında ve SBS'lerde en yüksek SİE değerleri 9 saatlik ısıl işlem uygulamasında tespit edilmiştir. Çizelgeye göre, 120°C'de ısıl işlem görmüş dışbudak örnekleri, kısa süreli (2, 4 ve 8 saat) SBS'lere ait SİE değerlerinde, kontrol örneklerine oranla artışlar meydana gelmiştir. 48 saatlik SBS'nin sonunda SİE değeri hızla azalmaya başlamış ve kontrol örneklerinin altına inmiştir (örn. %-2,55 gibi). 48 ve 72 saatlik SBS'lerinde SİE değerleri tüm ısıl işlem süreleri için negatif (ısıl işlem görmüş test örnekleri, kontrol örneklerine göre daha yüksek miktarda su alması) çıkmıştır (Şekil 3.12).

120°C'de 3, 6 ve 9 saat ısıl işlem uygulanmış doğal dışbudak test örneklerinin en düşük SİE değeri %-4,75 ile 3 saatlik uygulamanın 48 saatlik SBS sonunda elde edilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.29) 120°C sıcaklığa ait tüm test örneklerinin 1 ve 2 haftalık SBS sonunda meydana gelen SİE değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. Benzer bir durum 2 ve 4 saatlik SBS'lerinde de elde edilmiştir. 120°C'de 3, 6 ve 9 saatlik ısıl işlem varyasyonlarında, 8, 48, 72 saat, 1 ve 2 haftalık SBS sonunda meydana gelen SİE değerleri her bir SBS için istatistiksel olarak farksız bulunmuştur.

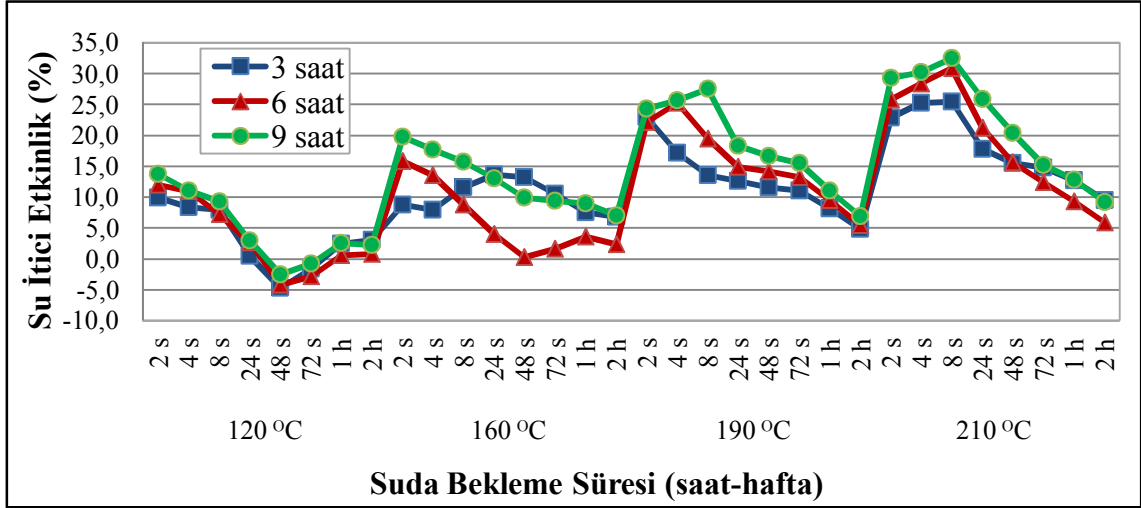
Isıl işlem uygulaması 160°C'ye çıktığında en yüksek SİE değerinde (%19,78) bir önceki sıcaklığa (%13,72) göre artış meydana gelmiştir. Suda bekleme süresinin 2 saatten 24 saate çıktığında 3 saatlik ısıl işlem sürelerinde elde edilen SİE değerlerinde artış meydana gelmekte, ancak daha sonraki SBS'lerinde ise etkinlik değerlerinde azalmalar görülmektedir. Bu durum 6 ve 9 saatlik ısıl işlem süreleri için SBS'lerinin artışına bağlı olarak SİE değerlerinde genel bir azalma şeklinde olmuştur. En düşük SİE değeri, 6 saatlik ısıl işlem uygulamasında 48 saatlik SBS sonunda %0,26 olarak gerçekleşmiş olup, istatistiksel olarak 72 saat ile 2 haftalık SBS hariç diğer tüm varyasyonlardan farklı bulunmuştur (Çizelge 3.29). 160°C'de üç farklı ısıl işlem süresinde bulunan SİE değerleri her bir SBS'de (2, 4, 8 ve 48 saatlik) istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

**Çizelge 3.29.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtım işlem görmüş doğal dişbudak örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%).

SBS (saat/hafta)	Sıcaklık – Süre*											
	120°C			160°C			190°C			210°C		
	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat
<b>2 saat</b>	9,94 <sup>bcd</sup> (0,89)**	11,99 <sup>ab</sup> (2,27)	13,72 <sup>a</sup> (2,39)	8,78 <sup>gh</sup> (2,01)	15,84 <sup>bc</sup> (3,36)	19,78 <sup>a</sup> (4,26)	22,95 <sup>cd</sup> (3,18)	22,09 <sup>d</sup> (3,75)	24,33 <sup>bcd</sup> (3,13)	22,86 <sup>e</sup> (3,98)	25,75 <sup>d</sup> (3,73)	29,25 <sup>bc</sup> (4,37)
<b>4 saat</b>	8,36 <sup>de</sup> (1,11)	10,97 <sup>bc</sup> (1,78)	11,01 <sup>bc</sup> (1,23)	7,88 <sup>gh</sup> (2,85)	13,50 <sup>cd</sup> (2,31)	17,70 <sup>ab</sup> (3,75)	17,13 <sup>efg</sup> (3,77)	25,26 <sup>abc</sup> (3,47)	25,67 <sup>ab</sup> (4,25)	25,25 <sup>d</sup> (3,22)	28,31 <sup>c</sup> (3,41)	30,22 <sup>bc</sup> (4,22)
<b>8 saat</b>	7,96 <sup>de</sup> (2,62)	7,17 <sup>e</sup> (3,81)	9,24 <sup>cde</sup> (3,22)	11,52 <sup>de</sup> (2,48)	8,76 <sup>gh</sup> (3,14)	15,72 <sup>bc</sup> (4,03)	13,57 <sup>hij</sup> (4,16)	19,41 <sup>e</sup> (1,98)	27,57 <sup>a</sup> (2,58)	25,44 <sup>d</sup> (2,26)	30,81 <sup>ab</sup> (2,87)	32,50 <sup>a</sup> (3,84)
<b>24 saat</b>	0,43 <sup>ghi</sup> (4,93)	2,67 <sup>fg</sup> (4,48)	2,99 <sup>f</sup> (5,53)	13,67 <sup>cd</sup> (2,06)	3,94 <sup>i</sup> (5,74)	13,01 <sup>d</sup> (2,789)	12,56 <sup>ijk</sup> (3,12)	14,88 <sup>ghi</sup> (4,48)	18,33 <sup>ef</sup> (4,21)	17,78 <sup>g</sup> (1,96)	21,15 <sup>ef</sup> (2,38)	25,82 <sup>d</sup> (2,68)
<b>48 saat</b>	-4,75 <sup>k</sup> (3,63)	-4,24 <sup>k</sup> (3,34)	-2,55 <sup>jk</sup> (4,61)	13,26 <sup>d</sup> (2,07)	0,26 <sup>j</sup> (4,45)	9,86 <sup>efg</sup> (3,08)	11,58 <sup>kl</sup> (3,19)	14,13 <sup>hi</sup> (83,53)	16,62 <sup>fg</sup> (4,81)	15,53 <sup>h</sup> (1,97)	15,62 <sup>h</sup> (2,59)	20,38 <sup>f</sup> (2,90)
<b>72 saat</b>	-1,65 <sup>ij</sup> (5,64)	-2,89 <sup>jk</sup> (3,56)	-0,77 <sup>hij</sup> (3,90)	10,47 <sup>ef</sup> (2,68)	1,62 <sup>ij</sup> (4,24)	9,35 <sup>efgh</sup> (4,87)	11,06 <sup>kl</sup> (3,16)	13,19 <sup>hijk</sup> (3,30)	15,44 <sup>gh</sup> (4,40)	14,74 <sup>h</sup> (2,49)	12,37 <sup>i</sup> (2,17)	15,17 <sup>h</sup> (1,81)
<b>1 hafta</b>	2,48 <sup>fg</sup> (3,87)	0,52 <sup>ghi</sup> (3,09)	2,55 <sup>fg</sup> (4,41)	7,48 <sup>gh</sup> (2,54)	3,54 <sup>i</sup> (4,35)	9,00 <sup>fgh</sup> (3,24)	8,17 <sup>mn</sup> (2,98)	9,481 <sup>m</sup> (3,38)	10,99 <sup>kl</sup> (4,11)	12,71 <sup>i</sup> (2,00)	9,26 <sup>j</sup> (3,04)	12,75 <sup>i</sup> (1,97)
<b>2 hafta</b>	3,02 <sup>f</sup> (3,10)	0,81 <sup>fgh</sup> (1,89)	2,27 <sup>fg</sup> (1,66)	6,78 <sup>h</sup> (2,36)	2,31 <sup>ij</sup> (4,99)	6,97 <sup>h</sup> (3,87)	4,82 <sup>o</sup> (3,47)	5,44 <sup>o</sup> (4,42)	6,92 <sup>no</sup> (1,93)	9,52 <sup>j</sup> (3,06)	5,87 <sup>k</sup> (2,65)	9,21 <sup>j</sup> (2,50)
<b>F- oranı / P-değeri</b>	50,37 / 0,000			41,73/ 0,000			66,997/ 0,000			147,7/ 0,000		

\* Her bir sıcaklığa ait SİE değeri, ısıtım işlem süreleri ile karşılaştırmalı olarak istatistiksel analiz yapılmıştır. \*\* Standart sapma değerleri parantez içinde verilmiştir.  
SBS: Suda bekleme süresi.

Isıl işleme tabi tutulmuş test örneklerinin kontrol örneklerine göre su alma oranlarındaki azalmayı ifade eden SİE değerleri Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Doğal meşcereden temin edilen dişbudak test örneklerine ait SİE değerleri (%).

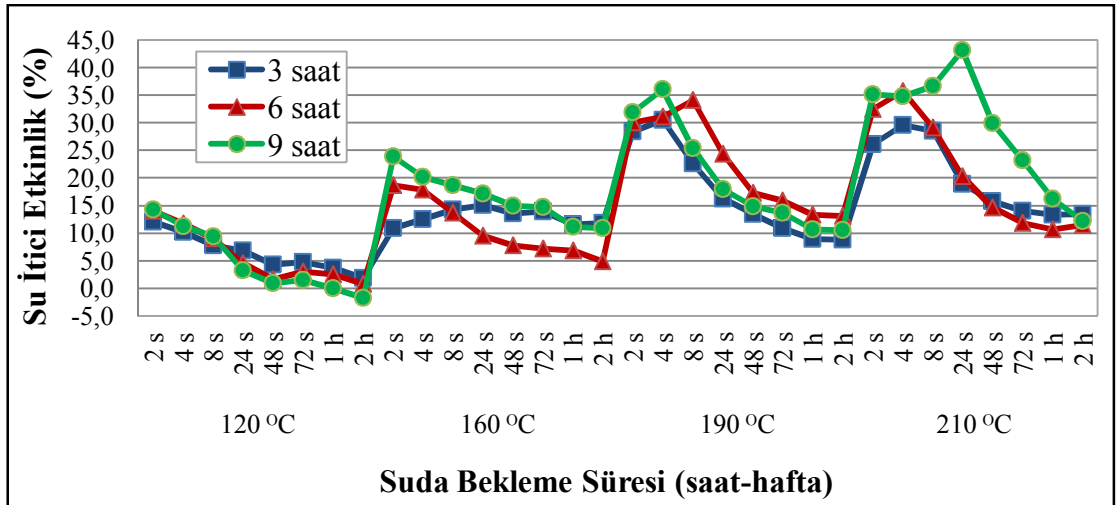
SBS’lerinin artışına bağlı olarak 190°C’de 3 ve 6 saatlik ısıl işlem uygulamalarında elde edilen SİE değerleri azalma gösterir iken 9 saatlik ısıl işlem uygulamasında ise 8 saatlik SBS’nin sonuna kadar bir artış, daha sonra SİE değerlerinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 3.12). Elde edilen sonuçlara göre ısıl işlem süreleri arasında en yüksek SİE değeri, 9 saatlik uygulamaya ait 8 saatlik SBS’de (%27,57) elde edilmiş olup, bu değer diğer bütün varyasyonlardan istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). 190°C’de 3 ve 6 saatlik test örneklerinin 24, 48 ve 72 saatlik SBS’lerinde elde edilen SİE değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Ayrıca 9 saatlik test örneklerinde ise 2 ve 4 saatlik, 4 ve 8 saatlik, 24 ve 48 saatlik SBS’lerinde elde edilen SİE değerleri arasında %95 güven düzeyinde fark yoktur (Çizelge 3.29).

210°C ısıl işlem sıcaklığının her üç ısıl işlem süresinde elde edilen ortalama SİE değerleri 2, 4 ve 8 saatlik SBS’lerinde artan bir eğilim içerisinde iken artan SBS’ye bağlı olarak SİE değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. 210°C’de ısıl işleme uğratılmış dişbudak örneklerinde en düşük ortalama SİE değeri 2 haftalık SBS’de, 6 saatlik ısıl işlem varyasyonunda (%5,87) gerçekleşmiş olup, onu %9,21’lik SİE değeri ile 9 saat ve % 9,52 ile de 3 saatlik ısıl işlem süresi takip etmiştir (Şekil 3.12).

210°C’de en yüksek SİE değerleri 8 saat SBS sonunda 3, 6 ve 9 saatlik ısıtım sürelerinde sırası ile %25,44, %30,81 ve 32,50 olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.29). Yapılan bir çalışmada, 200°C’de 6 ve 10 saat süre ile ısıtım tabii tutulan kayın ağacı örneklerinin 8 saatlik SBS’leri sonunda elde ettiği SİE değerleri sırası ile %36,29 ve %42,52 olduğu belirtilmiştir (Yıldız 2002).

#### b) Plantasyon (3x2,5 m) ormanı

Çizelge 3.30’da, farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210 °C) ve sürelerde ısıtım uygulanan, 3x2,5 m dikim aralığından temin edilmiş dişbudak test örneklerinin kontrol örneklerine oranla farklı SBS’leri sonunda kazanmış olduğu ortalama SİE değerleri ve istatistiki sonuçları gösterilmiştir. Çizelgeye göre, 120°C’de SBS’nin artmasına bağlı olarak her üç ısıtım süresine ait ortalama SİE değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. 1 ve 2 haftalık SBS sonunda en düşük SİE değerleri sırasıyla %-0,04 ve %-1,8 ile 9 saatlik ısıtım süresinde gerçekleşmiş olup, istatistiksel olarak aralarında fark bulunmamıştır ( $p < 0,05$ , Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dişbudak test örneklerine ait SİE değerleri (%).



**Çizelge 3.30.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıl işlem görmüş dişbudak (plantasyon (3x2,5 m)) örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%).

SBS (saat/hafta)	Sıcaklık – Süre*											
	120°C			160°C			190°C			210°C		
	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat
<b>2 saat</b>	12,06 <sup>abc</sup> (1,59)**	14,01 <sup>ab</sup> (2,37)	14,25 <sup>a</sup> (2,18)	10,82 <sup>hi</sup> (2,84)	18,60 <sup>bc</sup> (3,579)	23,86 <sup>a</sup> (2,15)	28,40 <sup>d</sup> (5,05)	30,07 <sup>cd</sup> (3,53)	31,92 <sup>c</sup> (3,88)	26,09 <sup>e</sup> (4,90)	32,45 <sup>c</sup> (4,15)	35,10 <sup>b</sup> (4,31)
<b>4 saat</b>	10,23 <sup>cdef</sup> (1,07)	11,66 <sup>bcd</sup> (1,21)	11,17 <sup>cde</sup> (1,83)	12,45 <sup>gh</sup> (1,96)	17,89 <sup>bc</sup> (3,39)	20,15 <sup>b</sup> (4,08)	30,55 <sup>cd</sup> (3,72)	31,03 <sup>c</sup> (3,96)	36,12 <sup>a</sup> (4,13)	29,54 <sup>d</sup> (3,79)	35,68 <sup>b</sup> (2,40)	34,81 <sup>b</sup> (4,289)
<b>8 saat</b>	7,77 <sup>g</sup> (1,23)	9,02 <sup>efg</sup> (1,16)	9,32 <sup>def</sup> (2,87)	14,22 <sup>ef</sup> (1,81)	13,64 <sup>efg</sup> (2,209)	18,65 <sup>bc</sup> (1,289)	22,64 <sup>f</sup> (3,28)	34,10 <sup>a</sup> (2,26)	25,41 <sup>e</sup> (3,76)	28,55 <sup>d</sup> (1,91)	29,08 <sup>d</sup> (2,29)	36,61 <sup>b</sup> (2,87)
<b>24 saat</b>	6,81 <sup>gh</sup> (4,03)	4,53 <sup>hi</sup> (2,38)	3,19 <sup>ijkl</sup> (5,17)	15,06 <sup>de</sup> (2,69)	9,47 <sup>ij</sup> (3,27)	17,11 <sup>cd</sup> (2,86)	16,25 <sup>gh</sup> (1,72)	24,32 <sup>ef</sup> (2,34)	17,96 <sup>g</sup> (2,26)	18,93 <sup>g</sup> (4,52)	20,24 <sup>g</sup> (1,44)	43,15 <sup>a</sup> (1,90)
<b>48 saat</b>	4,26 <sup>ij</sup> (5,37)	1,64 <sup>klm</sup> (2,73)	0,85 <sup>lm</sup> (3,23)	13,52 <sup>efg</sup> (5,30)	7,80 <sup>jk</sup> (3,08)	14,99 <sup>de</sup> (2,46)	13,48 <sup>i</sup> (2,16)	17,28 <sup>g</sup> (2,87)	14,81 <sup>hij</sup> (1,85)	15,74 <sup>h</sup> (3,65)	14,61 <sup>hi</sup> (1,84)	29,89 <sup>d</sup> (1,87)
<b>72 saat</b>	4,77 <sup>hi</sup> (4,61)	2,98 <sup>ijkl</sup> (3,94)	1,52 <sup>klm</sup> (3,80)	13,90 <sup>efg</sup> (5,05)	7,21 <sup>kl</sup> (2,90)	14,76 <sup>ef</sup> (4,86)	10,93 <sup>k</sup> (2,63)	15,82 <sup>ghi</sup> (2,73)	13,68 <sup>ij</sup> (4,67)	14,06 <sup>hij</sup> (3,87)	11,79 <sup>ijkl</sup> (4,41)	23,19 <sup>f</sup> (1,85)
<b>1 hafta</b>	3,70 <sup>ijk</sup> (6,70)	2,54 <sup>ijklm</sup> (3,46)	-0,04 <sup>mn</sup> (3,47)	11,58 <sup>ghi</sup> (4,14)	6,86 <sup>kl</sup> (2,67)	11,06 <sup>hi</sup> (3,98)	8,96 <sup>k</sup> (3,46)	13,35 <sup>j</sup> (3,05)	10,70 <sup>k</sup> (4,16)	13,33 <sup>ijk</sup> (4,44)	10,59 <sup>l</sup> (4,04)	16,25 <sup>h</sup> (1,96)
<b>2 hafta</b>	1,82 <sup>klm</sup> (7,22)	0,74 <sup>lm</sup> (4,97)	-1,80 <sup>n</sup> (2,64)	11,76 <sup>ghi</sup> (4,02)	4,90 <sup>l</sup> (3,76)	10,84 <sup>hi</sup> (3,60)	8,81 <sup>k</sup> (3,67)	13,12 <sup>j</sup> (3,25)	10,49 <sup>k</sup> (3,72)	13,44 <sup>ijk</sup> (3,63)	11,45 <sup>kl</sup> (2,30)	12,11 <sup>kl</sup> (2,04)
<b>F- oranı / P-değeri</b>	32,76/ 0,000			35,859/ 0,000			138,9/ 0,000			182,0 / 0,000		

\* Her bir sıcaklığa ait SİE değeri, ısıl işlem süreleri ile karşılaştırmalı olarak istatistik analize tabi tutulmuştur. \*\* Standart sapma değerleri parantez içinde verilmiştir. SBS: Suda bekleme süresi.

Duncan sonuçlarına göre 2, 4 ve 8 saatlik SBS'lerinin sonunda tüm test örneklerinde meydana gelen SİE değerleri arasında her bir SBS için %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. Aynı zamanda 6 saatlik ısıtma işlem uygulamasının 48 saat ile 2 hafta arasındaki bütün SBS'lerinin sonunda elde edilen ortalama SİE değerleri istatistiksel olarak farksız bulunmuştur. Benzer bir durum 9 saatlik test örneklerinin 24, 48 ve 72 saatlik SBS sonunda elde edilmiştir.

160°C'de 3 saatlik ısıtma işlem uygulamasında elde edilen ortalama SİE değerleri, 2, 4, 8 ve 24 saatlik SBS'lerinde giderek artan, 48 saat ve sonrasında ise giderek azalan bir eğilim göstermiştir. Bu durum 6 ve 9 saatlik ısıtma işlem süreleri için SBS'lerinin artışına bağlı olarak ortalama SİE değerlerinde genel bir azalma şeklinde olmuştur (Şekil 3.13). 2 ve 4 saatlik SBS'leri hariç diğer bütün sürelerde en düşük SİE değeri 6 saatlik test örneklerinde meydana gelmiştir. En yüksek SİE değerleri, 1 ve 2 haftalık süreler hariç diğer bütün SBS'lerinde 9 saatlik test örneklerinde çıkmıştır.

Çizelge 3.30'a göre, 160°C'de 2 saatlik SBS sonunda elde edilen tüm SİE değerleri arasında istatistiksel olarak fark vardır ( $p < 0,05$ ). Ancak 160°C'de 3 ve 9 saatlik test örneklerinin 24, 48, 72 saat, 1 ve 2 haftalık SBS'lerinde elde edilen SİE değerleri arasında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde fark yoktur. Benzer bir sonuç, 3 ve 6 saatlik test örneklerinde 8 saatlik SBS için, 6 ve 9 saatlik test örneklerinde ise 4 saatlik SBS için ortaya çıkmıştır.

190°C'de 3 ve 9 saatlik ısıtma işlem uygulamasında elde edilen ortalama SİE değerleri, 2 ve 4 saatlik SBS'lerinde, 6 saatlik ısıtma işlem uygulamasında ise 2, 4 ve 8 saatlik SBS'lerinde giderek artan ve daha sonraki SBS'lerde ise giderek azalan bir eğilim göstermişlerdir (Çizelge 3.30, Şekil 3.13). 190°C'de en yüksek SİE değeri, 9 saat ısıtma işlem uygulanan test örneklerinde (%36,12) 4 saatlik SBS'de elde edilmiştir. En küçük SİE değerleri 2 haftalık SBS'de tüm ısıtma işlem süreleri için sırası ile %8,81, %13,12 ve %10,46 olarak bulunmuştur. 190°C'de 3 ve 6 saatlik test örneklerinin 2 ve 4 saatlik SBS'lerinde elde edilen SİE değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Ancak 3, 6 ve 9 saatlik test örneklerinin 8 saatlik SBS sonunda elde edilen SİE değerleri birbirinden farklı bulunmuştur. Ayrıca 24 ve 48 saat ile 1 ve 2 haftalık SBS sonunda 3

ve 9 saatlik test örneklerinin SİE değerleri arasında fark yok iken, 6 saatlik test örnekleri diğerlerinden farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Çizelge 3.30'a göre, 210°C'de 3 ve 6 saatlik ısıtım sürelerinde elde edilen ortalama SİE değerleri 2 ve 4 saatlik SBS'lerinde artan bir eğilim içerisinde iken 8 saatlik SBS'den itibaren artan SBS'ye bağlı olarak SİE değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu durum 9 saatlik ısıtım süresine ait SİE değerlerinde 2, 4, 8 ve 24 saatlik SBS'lerinde artış olur iken 48 saat ve sonraki SBS'lerinde azalan bir etki göstermiştir. En yüksek SİE değeri 9 saatlik ısıtım süresinin 24 saatlik SBS'nde (%43,15) elde edilmiş iken en düşük SİE değerleri 6 saatlik ısıtım varyasyonunun 1 haftalık SBS'nde (%10,59) belirlenmiştir (Şekil 3.13).

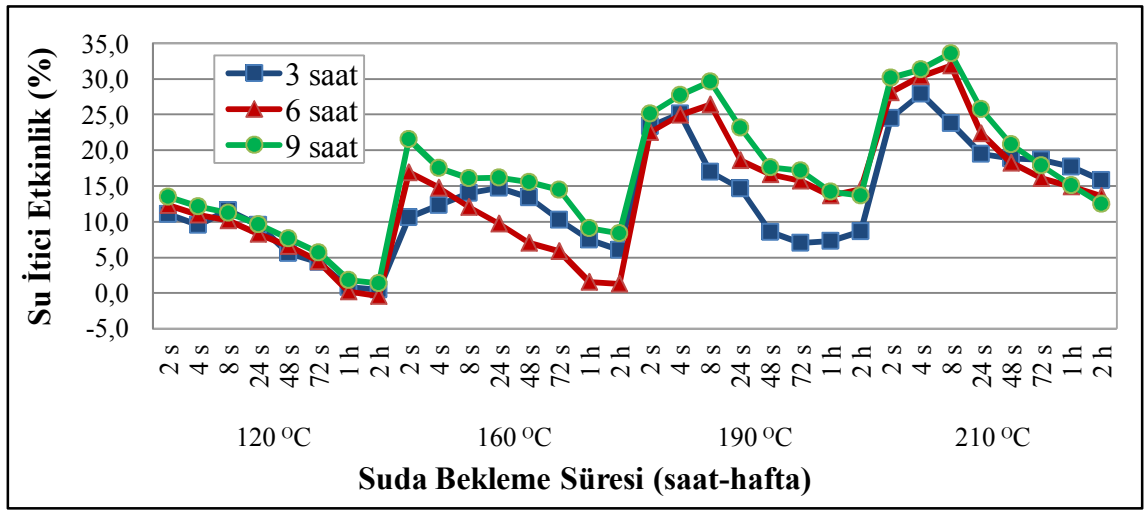
Sıcak yağla ısıtım işlem uygulanmış radiata çamı (*Pinus radiata*) örneklerinde, artan sıcaklığa (160-210°C) bağlı olarak SİE değerlerinde artışlar (%32-47) tespit edilmiştir (Dubey 2010). Duncan sonuçlarına göre, 3, 6 ve 9 saatlik ısıtım sürelerinde elde edilen SİE değerleri istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde farklı bulunmuştur. Aynı zamanda 2 saatlik ve 1 haftalık SBS sonunda elde edilen SİE değerleri tüm test örnekleri için farklı bulunmuştur. Buna karşın, 2 haftalık SBS sonunda ise istatistiksel olarak test örnekleri arasında fark bulunmamıştır ( $p<0,05$ ).

### **c) Plantasyon (4x4 m) ormanı**

Kontrol örneklerine oranla farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde ısıtım işlem uygulanan, 4x4 m dikim aralığından alınmış dişbudak test örneklerinin farklı suda bekleme süreleri (SBS) sonunda kazanmış oldukları ortalama SİE değerleri ve istatistiksel verileri, Çizelge 3.31'de verilmiştir.

Çizelge 3.31'e göre, 120°C'de kısa süreli (2, 4 ve 8 saat) SBS'lerinde elde edilen SİE değerleri %10 civarında bulunmuş olup, SBS artışına bağlı olarak SİE değerlerinde genel bir azalma gözlemlenmiştir. Özellikle 1 ve 2 haftalık SBS'leri sonunda su itici etkinlik değerleri hızla azalmaya başlamıştır. 6 saatlik ısıtım süresine ait örneklerin SİE değerleri, 2 haftalık SBS sonunda %-0,48'e düşmüştür (Şekil 3.14). 120°C'de en yüksek SİE değeri, 9 saatlik ısıtım işlemine uğratılmış test örneklerinin 2 saat SBS sonunda elde edilmiştir (%13,47). Isıtım işlem süresindeki artışa bağlı olarak 4 saatlik SBS hariç

diğer tüm SBS'lerde elde edilen SİE değerleri arasında istatistiki olarak fark yoktur. Ayrıca 120°C sıcaklığa ait tüm test örneklerinde 1 ve 2 haftalık SBS sonunda meydana gelen SİE değerleri (%-0,48-1,81) arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur ( $p<0,05$ ). 160°C'de ısııl işleme tabi tutulmuş 4x4 m dikim aralığından temin edilen dişbudak odun örneklerine ait SBS'leri, 2 saatten 2 haftaya çıktığında SİE değerlerinde belirgin bir azalma meydana gelmiş olup, bu azalma sonucu oluşan farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).



**Şekil 3.14.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dişbudak test örneklerine ait SİE değerleri (%).

160°C'de 3 saatlik ısııl işlem uygulamasında elde edilen SİE değerlerinde, 24 saatlik SBS sonuna kadar bir artış gözlenmiş, ancak daha sonraki SBS'lerinde ise azalmalar meydana gelmiştir. SBS'nin artışına bağlı olarak 6 ve 9 saatlik ısııl işlem sürelerine ait SİE değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir (Çizelge 3.31, Şekil 3.14). En düşük SİE değerleri, 6 saatlik ısııl işlem uygulamasına ait 1 ve 2 haftalık SBS'lerinin sonunda sırası ile %1,51 ve %1,24 olarak gerçekleşmiş olup, istatistiksel olarak aralarında fark yoktur. Duncan sonuçlarına göre (Çizelge 3.31), 6 saatlik ısııl işlem uygulamasına ait 2 ve 4 saat ile 48 ve 72 saat SBS'lerin sonunda elde edilen SİE değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. 160°C'de uygulanan üç farklı ısııl işlem sürelerinde bulunan SİE değerleri her bir (2, 4, 72 saat ve 2 haftalık) SBS'de istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

**Çizelge 3.31.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış dişbudak (plantasyon (4x4 m)) örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%).

SBS (saat/hafta)	Sıcaklık – Süre*											
	120°C			160°C			190°C			210°C		
	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat
<b>2 saat</b>	11,07 <sup>abc</sup> (1,69)**	12,34 <sup>ab</sup> (2,04)	13,47 <sup>a</sup> (2,53)	10,56 <sup>gh</sup> (3,30)	16,88 <sup>bc</sup> (2,76)	21,57 <sup>a</sup> (1,95)	23,30 <sup>d</sup> (4,15)	22,54 <sup>d</sup> (3,27)	25,17 <sup>cd</sup> (3,83)	24,49 <sup>de</sup> (3,72)	28,11 <sup>c</sup> (4,67)	30,18 <sup>b</sup> (3,97)
<b>4 saat</b>	9,50 <sup>cde</sup> (1,13)	10,91 <sup>bc</sup> (1,48)	12,14 <sup>ab</sup> (1,54)	12,31 <sup>fg</sup> (1,83)	14,75 <sup>cde</sup> (3,459)	17,55 <sup>b</sup> (2,55)	25,11 <sup>cd</sup> (3,639)	24,99 <sup>cd</sup> (3,51)	27,75 <sup>ab</sup> (5,12)	27,91 <sup>c</sup> (3,97)	30,38 <sup>b</sup> (2,70)	31,31 <sup>b</sup> (4,46)
<b>8 saat</b>	11,54 <sup>abc</sup> (2,44)	10,13 <sup>bcd</sup> (1,81)	11,20 <sup>abc</sup> (1,22)	13,98 <sup>def</sup> (1,90)	11,98 <sup>fg</sup> (4,82)	16,03 <sup>bcd</sup> (3,71)	17,01 <sup>efg</sup> (2,64)	26,41 <sup>bc</sup> (2,73)	29,60 <sup>a</sup> (3,65)	23,78 <sup>ef</sup> (2,50)	31,86 <sup>ab</sup> (2,17)	33,55 <sup>a</sup> (2,92)
<b>24 saat</b>	9,54 <sup>cde</sup> (4,88)	8,21 <sup>def</sup> (1,26)	9,61 <sup>cde</sup> (0,74)	14,71 <sup>cde</sup> (1,32)	9,72 <sup>hi</sup> (4,57)	16,13 <sup>bcd</sup> (1,58)	14,63 <sup>ghi</sup> (2,12)	18,57 <sup>e</sup> (4,60)	23,17 <sup>d</sup> (2,76)	19,50 <sup>hi</sup> (3,01)	22,36 <sup>fg</sup> (2,47)	25,79 <sup>d</sup> (2,06)
<b>48 saat</b>	5,60 <sup>gh</sup> (4,79)	6,56 <sup>fgh</sup> (3,98)	7,61 <sup>efg</sup> (4,06)	13,38 <sup>ef</sup> (1,39)	7,04 <sup>jk</sup> (3,519)	15,49 <sup>bcde</sup> (2,13)	8,50 <sup>i</sup> (4,27)	16,6 <sup>efgh</sup> (3,80)	17,62 <sup>ef</sup> (3,30)	18,81 <sup>i</sup> (3,17)	18,26 <sup>i</sup> (2,29)	20,79 <sup>hg</sup> (2,21)
<b>72 saat</b>	4,33 <sup>h</sup> (4,07)	4,42 <sup>h</sup> (2,98)	5,68 <sup>gh</sup> (3,93)	10,27 <sup>ghi</sup> (1,02)	5,79 <sup>k</sup> (3,72)	14,48 <sup>de</sup> (3,04)	7,01 <sup>j</sup> (5,73)	15,74 <sup>ghi</sup> (2,53)	17,16 <sup>efg</sup> (2,85)	18,65 <sup>i</sup> (2,50)	16,07 <sup>jkl</sup> (2,68)	17,86 <sup>ij</sup> (1,97)
<b>1 hafta</b>	0,79 <sup>i</sup> (6,14)	0,13 <sup>i</sup> (3,25)	1,81 <sup>i</sup> (4,19)	7,41 <sup>jk</sup> (2,44)	1,51 <sup>l</sup> (3,00)	9,07 <sup>hij</sup> (2,77)	7,23 <sup>j</sup> (4,23)	13,66 <sup>i</sup> (4,28)	14,18 <sup>hi</sup> (4,14)	17,72 <sup>ijk</sup> (2,91)	14,89 <sup>lm</sup> (3,50)	15,10 <sup>lm</sup> (1,86)
<b>2 hafta</b>	0,42 <sup>i</sup> (5,19)	-0,48 <sup>i</sup> (4,25)	1,37 <sup>i</sup> (4,50)	6,02 <sup>k</sup> (2,56)	1,24 <sup>l</sup> (3,40)	8,36 <sup>ij</sup> (6,37)	8,63 <sup>j</sup> (4,29)	14,52 <sup>ghi</sup> (3,72)	13,68 <sup>i</sup> (3,05)	15,79 <sup>kl</sup> (2,55)	13,56 <sup>mn</sup> (2,93)	12,46 <sup>n</sup> (2,67)
<b>F- oranı / P-değeri</b>	33,867/ 0,000			52,625/ 0,000			62,734 / 0,000			92,543/ 0,000		

\* Her bir sıcaklığa ait SİE değeri, ısıtılmış süreleri ile karşılaştırmalı olarak istatistik analize tabi tutulmuştur. \*\* Standart sapma değerleri parantez içinde verilmiştir. SBS: Suda bekleme süresi.

190°C’de 3 saatlik ısıtım uygulamasında elde edilen SİE değeri, 4 saatlik SBS sonuna kadar, 6 ve 9 saatlik ısıtım sürelerine ait SİE değeri ise 8 saatlik SBS sonuna kadar artmıştır. Daha sonra her üç ısıtım varyasyonunda, artan SBS’ye bağlı olarak SİE değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir (Şekil 3.14). Elde edilen sonuçlara göre 190°C’nin tüm varyasyonları arasında en yüksek SİE değeri (%29,60) 9 saatlik ısıtım uygulamasında tespit edilmiştir.

Isıtım süreleri arasında en düşük SİE değeri, 3 saatlik ısıtım süresine ait 72 saat ve 1 haftalık SBS sonunda (sırası ile %7,01 ve %7,23) elde edilmiş olup aralarında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir ( $p<0,05$ ). 190°C’de tüm ısıtım süreleri için 2 saatlik SBS sonunda oluşan SİE değeri arasında %95 güven düzeyinde fark yoktur. Ayrıca 6 ve 9 saatlik test örneklerinin 48 ve 72 saat ile 1 ve 2 haftalık SBS sonunda elde edilen SİE değeri arasında istatistiksel olarak fark yoktur (Çizelge 3.31).

210°C’de ısıtım tabii tutulmuş test örneklerinin tüm varyasyonlarında SBS 2 saatten 2 haftaya çıktığında SİE değerlerinde belirgin bir azalma meydana gelmiş olup, oluşan farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak bu sıcaklıkta elde edilen SİE değerlerinin tümü pozitif çıkmış olup, su alma oranları kontrol örneklerinden daha düşük bulunmuştur. Tomak ve diğ. (2011) tarafından kayın ve ladin odunlarına farklı bitki yağları ile ısıtım uygulanmış (OHT) ve bütün uygulamalarda % SAO’ları kontrol örneklerine göre azalmış ve SİE değerlerinde ise artışlar belirlenmiştir.

Tüm varyasyonlar arasında en yüksek ve en düşük SİE değeri (%33,55 ve %12,46) 9 saatlik ısıtım uygulamasının sırası ile 8 saatlik ve 2 haftalık SBS’de tespit edilmiştir (Şekil 3.14). Tüm ısıtım sürelerine ait 2 ve 24 saatlik SBS’lerinde elde edilen SİE değeri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur.

Isıtım süresi 9 saat olarak uygulanan varyasyonda, 2 ve 4 saatlik SBS hariç diğer bütün SBS’lerinde kazanılan SİE değeri arasında %95 güven düzeyinde fark vardır. Fakat 4, 8, 72 saat, 1 ve 2 haftalık SBS sonunda elde edilen SİE değeri bakımından 6 ve 9 saatlik ısıtım varyasyonları arasında fark yoktur. Aynı zamanda 3 saatlik ısıtım test örneklerinin 24, 48, 72 saat ve 1 haftalık SBS sonunda kazandığı SİE değeri arasında fark bulunmamıştır ( $p<0,05$ , Çizelge 3.31).

Doğal ve plantasyon ormanlarından temin edilen dişbudak odun örneklerinin, herhangi bir muamele görmemiş kontrol örneklerine oranla ısıtılma tabii tutulmuş test örneklerinin su absorblama oranlarında meydana gelen azalma oranlarını ifade eden SİE değerlerine ilişkin bulgular Çizelge 3.32’de, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.33’te gösterilmiştir.

SİE bakımından meşcereler arasındaki farklılıklar incelendiğinde, genel olarak her üç meşcereye ait 120 ve 160°C’lerdeki 3, 6 ve 9 saatlik ısıtılma sürelerinde elde edilen en yüksek ortalama SİE değerleri 2 saatlik SBS’de belirlenmiştir. Isıtılma süresi bakımından, her üç meşcereye ait tüm ısıtılma sıcaklıklarındaki en yüksek ortalama SİE değerleri, ağırlıklı olarak 9 saatlik ısıtılma süresi sonunda tespit edilmiştir.

Isıtılma sıcaklık dereceleri 190 ve 210°C’ye yükseldiğinde genel olarak her üç meşceredeki SİE değerleri, düşük sıcaklıklara (120 ve 160°C) göre artış göstermiştir. Belirtilen sıcaklık değerlerindeki en yüksek SİE değerleri genellikle 8 saatlik SBS sonunda meydana gelmiştir.

Tüm sıcaklık derecelerindeki SİE değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek değerler 3x2,5 m’de elde edilmiştir. Genellikle her üç meşcereye ait SİE değerleri, kısa süreli (2, 4 ve 8 saat) SBS’lerinde artış gözlenir iken 24 saat ve sonrasındaki bekletme sürelerine ait SİE değerlerinde ise azalmalar belirlenmiştir.

Su iticilik kazandıran uygulamalardan sonra muamele görmüş odun, kontrol örneklerine göre daha az su almaktadır. Ancak test örneklerinin suda bekletme süreleri arttıkça odunun bünyesine almış olduğu su miktarı kontrol örneklerine yakın olmaktadır (Yıldız 2002). Ayrıca ısıtılma sıcaklık ve sürelerindeki artışlarla orantılı olarak SİE değerlerinde belli oranlarda yükselmeler meydana gelmiştir (Çizelge 3.32, Şekil 3.12-14). Sonuç olarak her üç meşcereye ait dişbudak odununda SİE değerlerini artırmak için, uygulanan ısıtılma sıcaklık ve sürelerinin en yüksek derecede olması gerekmektedir.

**Çizelge 3.32.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtım işlem görmüş, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak test örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%).

Bölge	Sıcaklık (°C)	2 saat SBS			4 saat SBS			8 saat SBS			24 saat SBS		
		3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat	3 saat	6 saat	9 saat
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	9,94 <sup>ab*</sup> (0,89)	11,99 <sup>bc</sup> (2,27)	13,72 <sup>c*</sup> (2,39)	8,36 <sup>ab</sup> (1,11)	10,98 <sup>cd</sup> (1,78)	11,01 <sup>cd</sup> (1,23)	7,96 <sup>ab</sup> (2,62)	7,18 <sup>a</sup> (3,81)	9,24 <sup>bc</sup> (3,22)	0,43 <sup>a</sup> (4,93)	2,68 <sup>b</sup> (4,48)	2,99 <sup>b</sup> (5,53)
		12,06 <sup>bc</sup> (1,59)	14,02 <sup>cd</sup> (2,37)	14,25 <sup>cd</sup> (2,18)	10,24 <sup>bcd</sup> (1,07)	11,66 <sup>cde</sup> (1,21)	11,17 <sup>cd</sup> (1,83)	7,77 <sup>ab</sup> (1,23)	9,02 <sup>abc</sup> (1,16)	9,32 <sup>bc</sup> (2,87)	6,81 <sup>c</sup> (4,03)	4,53 <sup>b</sup> (2,38)	3,19 <sup>b</sup> (5,17)
		11,07 <sup>ab</sup> (1,69)	12,34 <sup>bc</sup> (2,04)	13,47 <sup>c</sup> (2,53)	9,51 <sup>abc</sup> (1,13)	10,91 <sup>cd</sup> (1,48)	12,14 <sup>de</sup> (1,54)	11,55 <sup>d</sup> (2,44)	10,13 <sup>cd</sup> (1,81)	11,21 <sup>d</sup> (1,22)	9,54 <sup>d</sup> (4,88)	8,21 <sup>cd</sup> (1,26)	9,61 <sup>d</sup> (0,74)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	8,78 <sup>a</sup> (2,01)	15,84 <sup>de</sup> (3,36)	19,78 <sup>gh</sup> (4,26)	7,88 <sup>a</sup> (2,85)	13,50 <sup>ef</sup> (2,31)	17,70 <sup>g</sup> (3,75)	11,52 <sup>d</sup> (2,48)	8,76 <sup>abc</sup> (3,14)	15,72 <sup>ghi</sup> (4,03)	13,67 <sup>ef</sup> (2,06)	3,94 <sup>b</sup> (5,74)	13,01 <sup>ef</sup> (2,78)
		10,82 <sup>ab</sup> (2,84)	18,60 <sup>g</sup> (3,57)	23,86 <sup>ijkl</sup> (2,15)	12,45 <sup>de</sup> (1,96)	17,89 <sup>g</sup> (3,39)	20,15 <sup>h</sup> (4,08)	14,22 <sup>gh</sup> (1,81)	13,64 <sup>ef</sup> (2,20)	18,65 <sup>k</sup> (1,28)	15,06 <sup>gh</sup> (2,69)	9,47 <sup>d</sup> (3,27)	17,11 <sup>hijk</sup> (2,86)
		10,56 <sup>ab</sup> (3,30)	16,88 <sup>ef</sup> (2,76)	21,57 <sup>hi</sup> (1,95)	12,32 <sup>de</sup> (1,83)	14,75 <sup>f</sup> (3,45)	17,55 <sup>g</sup> (2,55)	13,98 <sup>fg</sup> (1,90)	11,98 <sup>de</sup> (4,82)	16,03 <sup>hi</sup> (3,71)	14,71 <sup>efg</sup> (1,32)	9,72 <sup>d</sup> (4,57)	16,13 <sup>ghi</sup> (1,58)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	22,95 <sup>ijk</sup> (3,18)	22,09 <sup>ij</sup> (3,75)	24,33 <sup>kl</sup> (3,13)	17,13 <sup>g</sup> (3,77)	25,26 <sup>i</sup> (3,47)	25,67 <sup>i</sup> (4,25)	13,57 <sup>ef</sup> (4,16)	19,41 <sup>k</sup> (1,98)	27,57 <sup>op</sup> (2,58)	12,56 <sup>e</sup> (3,12)	14,88 <sup>efgh</sup> (4,48)	18,33 <sup>ijkl</sup> (4,21)
		28,4 <sup>n</sup> (5,05)	30,07 <sup>no</sup> (3,53)	31,92 <sup>op</sup> (3,88)	30,55 <sup>l</sup> (3,72)	31,03 <sup>l</sup> (3,96)	36,12 <sup>m</sup> (4,13)	22,64 <sup>l</sup> (3,28)	34,10 <sup>v</sup> (2,26)	25,41 <sup>mn</sup> (3,76)	16,25 <sup>ghij</sup> (1,72)	24,32 <sup>pr</sup> (2,34)	17,96 <sup>ijkl</sup> (2,26)
		23,30 <sup>ijk</sup> (4,15)	22,54 <sup>ij</sup> (3,27)	25,17 <sup>kl</sup> (3,83)	25,11 <sup>i</sup> (3,63)	24,99 <sup>i</sup> (3,51)	27,75 <sup>j</sup> (5,12)	17,01 <sup>ij</sup> (2,64)	26,41 <sup>no</sup> (2,73)	29,60 <sup>rs</sup> (3,65)	14,63 <sup>efg</sup> (2,12)	18,57 <sup>kl</sup> (4,60)	23,17 <sup>op</sup> (2,76)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	22,86 <sup>ijk</sup> (3,98)	25,75 <sup>l</sup> (3,73)	29,25 <sup>n</sup> (4,37)	25,25 <sup>i</sup> (3,22)	28,31 <sup>jk</sup> (3,41)	30,22 <sup>kl</sup> (4,22)	25,44 <sup>mn</sup> (2,26)	30,81 <sup>st</sup> (2,87)	32,50 <sup>tuv</sup> (3,84)	17,78 <sup>ijk</sup> (1,96)	21,15 <sup>mno</sup> (2,38)	25,82 <sup>r</sup> (2,68)
		26,09 <sup>lm</sup> (4,90)	32,45 <sup>p</sup> (4,15)	35,11 <sup>r</sup> (4,31)	29,54 <sup>ijkl</sup> (3,79)	35,68 <sup>m</sup> (2,40)	34,81 <sup>m</sup> (4,28)	28,55 <sup>pr</sup> (1,91)	29,09 <sup>prs</sup> (2,29)	36,61 <sup>y</sup> (2,87)	18,93 <sup>klm</sup> (4,52)	20,24 <sup>lmn</sup> (1,44)	43,15 <sup>s</sup> (1,90)
		24,49 <sup>ijkl</sup> (3,72)	28,11 <sup>mn</sup> (4,67)	30,18 <sup>no</sup> (3,97)	27,91 <sup>j</sup> (3,97)	30,38 <sup>kl</sup> (2,70)	31,31 <sup>l</sup> (4,46)	23,79 <sup>lm</sup> (2,50)	31,86 <sup>tu</sup> (2,17)	33,55 <sup>uv</sup> (2,92)	19,50 <sup>klm</sup> (3,01)	22,36 <sup>nop</sup> (2,47)	25,79 <sup>r</sup> (2,06)
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		99,26/0,000			161,56/0,000			215,02/0,000			128,03/0,000		



**Çizelge 3.32 (devam).** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılmış doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak test örneklerinin farklı SBS sonunda kazandığı ortalama SİE değerleri (%).

Bölge	Sıcaklık (°C)	48 saat SBS			72 saat SBS			1 hafta SBS			2 hafta SBS		
		3 saat	6 saat	9saat	3 saat	6 saat	9saat	3 saat	6 saat	9saat	3 saat	6 saat	9saat
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	-4,75 <sup>a</sup> (3,62)	-4,24 <sup>ab</sup> (3,34)	-2,55 <sup>b</sup> (4,59)	-1,64 <sup>a</sup> (5,63)	-2,89 <sup>a</sup> (3,55)	-0,77 <sup>a</sup> (3,90)	2,48 <sup>ab</sup> (3,87)	0,52 <sup>a</sup> (3,09)	2,55 <sup>ab</sup> (4,41)	3,02 <sup>cd</sup> (3,10)	0,81 <sup>bc</sup> (1,89)	2,27 <sup>c</sup> (1,66)
		4,26 <sup>d</sup> (5,37)	1,64 <sup>c</sup> (2,73)	0,85 <sup>c</sup> (3,23)	4,77 <sup>cde</sup> (4,61)	2,99 <sup>bc</sup> (3,94)	1,52 <sup>b</sup> (3,80)	3,71 <sup>b</sup> (6,69)	2,54 <sup>ab</sup> (3,46)	-0,04 <sup>a</sup> (3,47)	1,83 <sup>bc</sup> (7,21)	0,74 <sup>bc</sup> (4,97)	-1,8 <sup>a</sup> (2,64)
		5,60 <sup>de</sup> (4,79)	6,56 <sup>ef</sup> (3,98)	7,61 <sup>efg</sup> (4,06)	4,33 <sup>cd</sup> (4,07)	4,42 <sup>cd</sup> (2,98)	5,69 <sup>de</sup> (3,93)	0,79 <sup>a</sup> (6,14)	0,13 <sup>a</sup> (3,25)	1,81 <sup>ab</sup> (4,19)	0,42 <sup>abc</sup> (5,19)	-0,48 <sup>ab</sup> (4,25)	1,37 <sup>bc</sup> (4,50)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	13,26 <sup>ij</sup> (2,07)	0,26 <sup>c</sup> (4,45)	9,86 <sup>gh</sup> (3,08)	10,47 <sup>gh</sup> (2,68)	1,62 <sup>b</sup> (4,24)	9,35 <sup>g</sup> (4,87)	7,48 <sup>c</sup> (2,54)	3,54 <sup>b</sup> (4,35)	9,00 <sup>cde</sup> (3,24)	6,78 <sup>efgh</sup> (2,36)	2,31 <sup>c</sup> (4,99)	6,97 <sup>efghi</sup> (3,87)
		13,52 <sup>ij</sup> (5,30)	7,80 <sup>efg</sup> (3,08)	14,99 <sup>kl</sup> (2,46)	13,90 <sup>klm</sup> (5,05)	7,21 <sup>ef</sup> (2,909)	14,76 <sup>klmn</sup> (4,86)	11,58 <sup>efghi</sup> (4,14)	6,86 <sup>c</sup> (2,67)	11,06 <sup>efgh</sup> (3,98)	11,76 <sup>klmno</sup> (4,02)	4,90 <sup>de</sup> (3,76)	10,84 <sup>klmn</sup> (3,60)
		13,39 <sup>ij</sup> (1,39)	7,04 <sup>ef</sup> (3,51)	15,49 <sup>klm</sup> (2,13)	10,27 <sup>gh</sup> (1,02)	5,79 <sup>de</sup> (3,72)	14,48 <sup>klm</sup> (3,04)	7,41 <sup>c</sup> (2,44)	1,51 <sup>ab</sup> (3,00)	9,07 <sup>cde</sup> (2,77)	6,02 <sup>efg</sup> (2,56)	1,24 <sup>bc</sup> (3,40)	8,36 <sup>ghij</sup> (6,37)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	11,58 <sup>hi</sup> (3,19)	14,13 <sup>j</sup> (3,53)	16,62 <sup>klmn</sup> (4,81)	11,06 <sup>ghi</sup> (3,16)	13,19 <sup>ijkl</sup> (3,30)	15,44 <sup>lmno</sup> (4,40)	8,17 <sup>cd</sup> (2,98)	9,48 <sup>cde</sup> (3,38)	10,99 <sup>efg</sup> (4,11)	4,82 <sup>de</sup> (3,47)	5,44 <sup>de</sup> (4,42)	6,92 <sup>efghi</sup> (1,93)
		13,48 <sup>ij</sup> (2,16)	17,28 <sup>lmn</sup> (2,87)	14,81 <sup>jk</sup> (1,85)	10,93 <sup>ghi</sup> (2,63)	15,82 <sup>lmno</sup> (2,73)	13,69 <sup>klm</sup> (4,67)	8,96 <sup>cde</sup> (3,46)	13,35 <sup>ghij</sup> (3,05)	10,70 <sup>defg</sup> (4,16)	8,81 <sup>hij</sup> (3,67)	13,13 <sup>mno</sup> (3,25)	10,50 <sup>klm</sup> (3,72)
		8,50 <sup>g</sup> (4,27)	16,63 <sup>klmn</sup> (3,80)	17,62 <sup>mn</sup> (3,30)	7,01 <sup>ef</sup> (5,73)	15,74 <sup>lmno</sup> (2,53)	17,16 <sup>nop</sup> (2,85)	7,23 <sup>c</sup> (4,23)	13,66 <sup>hij</sup> (4,28)	14,18 <sup>ijk</sup> (4,14)	8,63 <sup>ghij</sup> (4,29)	14,52 <sup>pr</sup> (3,72)	13,68 <sup>opr</sup> (3,05)
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	15,53 <sup>klm</sup> (1,97)	15,62 <sup>klm</sup> (2,59)	20,38 <sup>op</sup> (2,90)	14,74 <sup>klmn</sup> (2,49)	12,37 <sup>hijk</sup> (2,17)	15,17 <sup>lmn</sup> (1,81)	12,71 <sup>ghij</sup> (2,00)	9,26 <sup>cde</sup> (3,04)	12,75 <sup>ghij</sup> (1,97)	9,52 <sup>ijkl</sup> (3,06)	5,87 <sup>ef</sup> (2,65)	9,21 <sup>hijk</sup> (2,50)
		15,74 <sup>klm</sup> (3,65)	14,61 <sup>jk</sup> (1,84)	29,89 <sup>r</sup> (1,87)	14,06 <sup>klm</sup> (3,87)	11,79 <sup>ghij</sup> (4,41)	23,19 <sup>r</sup> (1,85)	13,33 <sup>ghij</sup> (4,44)	10,59 <sup>def</sup> (4,04)	16,25 <sup>kl</sup> (1,96)	13,44 <sup>nopr</sup> (3,63)	11,45 <sup>klmno</sup> (2,30)	12,11 <sup>lmnop</sup> (2,04)
		18,81 <sup>nop</sup> (3,17)	18,26 <sup>no</sup> (2,29)	20,79 <sup>p</sup> (2,21)	18,65 <sup>p</sup> (2,50)	16,07 <sup>mno</sup> (2,68)	17,86 <sup>op</sup> (1,97)	17,72 <sup>l</sup> (2,91)	14,89 <sup>k</sup> (3,50)	15,10 <sup>k</sup> (1,86)	15,79 <sup>r</sup> (2,55)	13,56 <sup>opr</sup> (2,93)	12,46 <sup>mno</sup> (2,67)
<b>F- Oram/ P-Değeri</b>		104,05/0,000			60,75/0,000			39,06/0,000			35,95/0,000		

\* Her bir suda bekleme süresi sütununda ve satırında aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

**Çizelge 3.33.** Farklı sıcaklıklarda (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerde (3, 6 ve 9 saat) ısıtılma uğratılmış, doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda SİE'ye ait ÇVA sonuçları (p<0,05).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	12375	2	6187	129,8	0,000
Sıcaklık (B)	216965	3	72322	1517	0,000
Süre (C)	13502	2	6751	141,6	0,000
AxB	1839	6	306,5	6,43	0,000
AxC	223,0	4	55,76	1,17	0,322 <sup>ÖD</sup>
BxC	9989	6	1665	34,92	0,000
AxBxC	4463	12	371,9	7,80	0,000
Hata	272871	5724	47,67		
Toplam	532227	5759			

ÖD: Önemli değil.

Çizelge 3.33'e göre meşcere farklılığı ve ısıtılma süresi ikili etkileşiminin SİE değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamış olup, bunun dışındaki meşcere, sıcaklık, süre, *AxB*, *BxC* ve *AxBxC* etkileşimlerinin ortalama SİE değerleri üzerine etkileri %95 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Yüksek sıcaklıklarda hemiselülozun bozunması ve/veya farklı maddelere dönüşmesi, suyu bağlayan serbest polar absorpsiyon bölgelerinin azalmasına sebep olur. Çok yüksek sıcaklıklarda (210°C) hemiselülozlar, mantar gelişimini engelleyen furfural polimerleri gibi daha az higroskopik maddelere dönüşebilmeleri ile sorpsiyon kapasitelerindeki azalmalar açıklanabilmektedir (Kamdem diğ. 2002).

Dubey (2010) radiata çamının düşük boyutsal stabilitesini ve doğal dayanıklılığını artırmak için yaptığı bir araştırmada, yüksek sıcaklıklarda hemiselülozların bozunmasının hızlı bir şekilde arttığını, 210°C'de ısıtılma uygulamasının SİE, boyutsal stabilite ve mantarlar gelişimine karşı etkinliklerinin 160 ve 180°C'ye göre daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Ayrıca literatürde sorpsiyon davranışlarının, ısıtılmanın uygulandığı ortama (hava/inert gaz) ve odun örneklerinin başlangıç rutubetlerine bağlı olduğu ifade edilmektedir (Yıldız 2002).

### 3.2.4.3. Genişlemeyi Önleyici Etkinlik (GET) Üzerine Isıl İşlemin Etkisi

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işleme uğratılmış doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlardan alınan dişbudak test örneklerinin genişleme miktarında, kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı, diğer bir ifadeyle ısıl işlem sonucu kazanılan boyutsal stabilizasyonu ifade eden genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları ve istatistiki verileri her bir yetiştirme ortamı için ayrı ayrı başlıklar halinde sunulmuştur.

#### a) Doğal dişbudak ormanı

Dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürede ısıl işleme uğratılmış doğal dişbudak örneklerine ait ortalama GET değerleri ve istatistiki sonuçlar, Çizelge 3.34'te verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak ortalama GET değerlerinde önemli artışlar meydana gelmiştir.

**Çizelge 3.34.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama GET değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
120	3	3,62	<i>a</i> *	1,00	1,56	5,58	4635,1	0,000
	6	5,28	<i>b</i>	0,76	3,56	6,25		
	9	7,66	<i>c</i>	0,85	6,31	9,27		
160	3	15,66	<i>d</i>	1,03	13,62	17,86		
	6	17,14	<i>e</i>	0,96	15,38	18,88		
	9	21,06	<i>f</i>	1,11	19,54	23,82		
190	3	40,17	<i>g</i>	1,17	37,62	42,39		
	6	46,50	<i>h</i>	1,51	43,20	48,52		
	9	49,44	<i>i</i>	2,08	46,22	54,43		
210	3	51,08	<i>j</i>	1,291	48,35	53,69		
	6	54,29	<i>k</i>	2,191	48,27	58,61		
	9	58,36	<i>l</i>	1,683	55,08	62,06		

\*Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Özellikle 190°C'de 3 saatlik uygulama ile GET değerleri hızlı bir artış ile %40'ın üzerine çıkmıştır. Literatürde, artan sıcaklık ve süreyle doğru orantılı olarak ısıl işlemin

GET değerlerini arttırdığına ilişkin çalışmalar yer almaktadır (Viitaniemi ve diğ. 1997, Esteves ve diğ. 2007a, Tuong ve Li 2010). Isıl işlemin 190°C’de 9 saatlik uygulamasında GET değeri %49,44 iken, 210°C’de 9 saatlik uygulamada ise %58,36’a ulaşmıştır. En düşük GET değerine, ısıl işlem sıcaklık ve süresinin en düşük olduğu şartlarda ulaşılmıştır (%3,62).

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama GET değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, bütün ısıl işlem sıcaklık ve sürelerine ait GET değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.34).

#### b) Plantasyon (3x2,5 m) ormanı

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınmış dişbudak odunu örneklerinin ısıl işlem sonrası GET değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları ve istatistiki sonuçları Çizelge 3.35’te verilmiştir.

**Çizelge 3.35.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama GET değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
120	3	4,94	<i>a</i>	1,65	2,01	7,91	3797,5	0,000
	6	6,74	<i>b</i>	1,30	4,54	8,83		
	9	7,00	<i>b</i>	0,60	6,05	8,74		
160	3	12,72	<i>c</i>	0,73	11,25	13,96		
	6	16,04	<i>d</i>	1,10	14,01	17,56		
	9	20,16	<i>e</i>	1,37	16,53	22,17		
190	3	38,75	<i>f</i>	1,21	36,17	40,40		
	6	44,28	<i>g</i>	1,26	42,09	46,84		
	9	48,02	<i>h</i>	2,67	43,29	53,51		
210	3	52,30	<i>i</i>	2,33	48,24	56,76		
	6	55,40	<i>j</i>	1,59	52,28	58,12		
	9	61,54	<i>k</i>	1,53	59,37	64,37		

Çizelgeye bakıldığında, ısıtma işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak ortalama GET değerlerinde artış meydana gelmiştir. Özellikle 160°C’de 9 saatlik uygulamada %20,16 olan GET değeri, 190°C’de 3 saatlik uygulamada %38,75’e, 210°C’de ise %52,3 ulaşmıştır. En yüksek GET değeri 210°C’de 9 saatlik uygulamada (%61,54) meydana gelmiştir.

Yapılan bir çalışmada üç farklı sıcaklık (130, 160 ve 190°C) ve sürede (3, 6 ve 9 saat) ısıtma işlemine uğratan gürgen odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Isıtma işlem uygulaması sonucu genişleme oranlarındaki azalmalar, teğet yönde diğer yönlerde (radyal ve boyuna) göre daha yüksek bulunmuştur. En yüksek azalma oranları (%40,58), 190°C’de 9 saatlik uygulama ile teğet yönde elde edilmiştir (Ghalehno ve Nazerian, 2011).

BVA sonuçları, uygulanan ısıtma işlem varyasyonlarına ait ortalama GET değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 120°C’de 6 ve 9 saatlik ısıtma işlem varyasyonlarındaki GET değerleri arasında istatistiksel olarak fark yok iken, diğer bütün varyasyonlara ait GET değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.35).

### **c) Plantasyon (4x4 m) ormanı**

Çizelge 3.36’da farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtma işlemine uğratılmış 4x4 m dikim aralığından temin edilen dişbudak test örneklerinin ortalama GET değerlerine ait aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri ile istatistiksel homojenlik grupları ve istatistiksel veriler gösterilmiştir. Diğer iki meşcerede de olduğu gibi 4x4 m dikim aralığından temin edilen dişbudak odununda, ısıtma işlem sıcaklık ve süresinin artışına bağlı olarak GET değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

Isıtma işlem sıcaklığı 120 ve 160°C aralığında iken elde edilen en yüksek GET değeri %15 civarında iken sıcaklığın 190°C’ye çıkması ile kazanılan GET değeri %28,77’e ulaşmıştır.

**Çizelge 3.36.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama GET değerleri (%).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
120	3	3,26	<i>a</i>	0,844	1,86	4,94	3011,3	0,000
	6	4,91	<i>b</i>	0,966	2,06	6,50		
	9	5,62	<i>b</i>	0,611	4,00	6,44		
160	3	11,95	<i>c</i>	0,758	10,91	14,61		
	6	13,77	<i>d</i>	1,239	11,10	15,56		
	9	15,37	<i>e</i>	0,645	14,32	17,06		
190	3	28,77	<i>f</i>	1,381	26,36	31,13		
	6	33,08	<i>g</i>	1,234	30,50	35,05		
	9	40,48	<i>h</i>	2,504	36,87	45,45		
210	3	44,27	<i>i</i>	2,028	41,50	49,92		
	6	46,89	<i>j</i>	2,461	43,89	52,34		
	9	50,35	<i>k</i>	1,618	52,19	58,73		

Artan sıcaklık ve süre GET değerlerini olumlu yönde etkileyerek 210°C’de maksimum etkinlik sağlanmıştır (%50,35). Boyutsal sağlamlığın artışı ile ilgili benzer sonuçlar, Militz (2002), Esteves ve diğ. (2007a), Esteves ve diğ. (2008a), Gündüz ve Aydemir (2009), Akyıldız ve diğ. (2009) ve Güller (2012) tarafından da bildirilmiştir.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama GET değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, 3x2,5 m dikim aralığında olduğu gibi 120°C’de 3 ve 6 saatlik ısıtım uygulamaları hariç diğer bütün varyasyonlara ait GET değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.36). 120°C’ye ait GET değerlerinde önemli bir farklılık ortaya çıkmamış olup, en yüksek etkinlik değeri %5,62 olarak bulunmuştur.

Üç farklı meşcereden temin edilen dişbudak odun örneklerinin, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtım uygulanması sonucu elde edilen ortalama GET değerleri Çizelge 3.37’de, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.38’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.37.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait GET değerleri (%).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	3,62	<i>a</i> *	1,00	1,56	5,58	5,28	<i>b</i>	0,76	3,56	6,25	7,66	<i>c</i>	0,85	6,31	9,27
		4,94	<i>b</i>	1,65	2,01	7,91	6,74	<i>c</i>	1,30	4,54	8,83	7,00	<i>c</i>	0,60	6,05	8,74
		3,26	<i>a</i>	0,84	1,86	4,94	4,91	<i>b</i>	0,97	2,06	6,50	5,62	<i>b</i>	0,61	4,00	6,44
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	15,65	<i>f</i>	1,03	13,62	17,86	17,14	<i>g</i>	0,96	15,38	18,88	21,06	<i>h</i>	1,11	19,54	23,82
		12,72	<i>d</i>	0,73	11,25	13,96	16,04	<i>f</i>	1,10	14,01	17,56	20,16	<i>h</i>	1,37	16,53	22,17
		11,95	<i>d</i>	0,76	10,91	14,61	13,77	<i>e</i>	1,24	11,10	15,56	15,37	<i>f</i>	0,65	14,32	17,06
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	40,17	<i>l</i>	1,17	37,62	42,39	46,50	<i>n</i>	1,51	43,20	48,52	49,44	<i>p</i>	2,08	46,22	54,43
		38,75	<i>k</i>	1,21	36,17	40,40	44,28	<i>m</i>	1,26	42,09	46,84	48,02	<i>o</i>	2,67	43,29	53,51
		28,77	<i>i</i>	1,38	26,36	31,13	33,08	<i>j</i>	1,23	30,50	35,05	40,48	<i>l</i>	2,50	36,87	45,45
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	51,08	<i>r</i>	1,29	48,35	53,69	54,29	<i>t</i>	2,19	48,27	58,61	58,36	<i>v</i>	1,68	55,08	62,06
		52,30	<i>s</i>	2,33	48,24	56,76	55,40	<i>u</i>	1,59	52,28	58,12	61,54	<i>y</i>	1,53	59,37	64,37
		44,27	<i>m</i>	2,03	41,50	49,92	46,89	<i>n</i>	2,46	43,89	52,34	50,35	<i>r</i>	1,62	52,19	58,73
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		3616,6/0,000														

\*Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). **HG:** Homojenlik grubu.

**Çizelge 3.38.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda GET değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri
Meşcere (A)	4750	2	2375	1087	0,000
Sıcaklık (B)	262563	3	87521	40041	0,000
Süre (C)	5704	2	2852	1305	0,000
AxB	2183	6	363,8	166,5	0,000
AxC	37,99	4	9,50	4,34	0,002
BxC	1128	6	188,0	86,0	0,000
AxBxC	315,7	12	26,3	12,0	0,000
Hata	1495	684	2,19		
Toplam	278177	719			

Meşcere, sıcaklık, süre, *AxB*, *AxC*, *BxC* ve *AxBxC* etkileşimlerinin ortalama genişlemeyi önletici etkinlik (GET) değerlerine etkisi istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.38).

Artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değerlerinde artışlar tespit edilmiştir. Özellikle 190°C’de 3 saatlik ısı işlem uygulaması ile birlikte GET değerlerinde önemli artışlar elde edilmiştir. 120 ve 160°C’de 9 saatlik uygulamada doğal ve 3x2,5 m dikim aralığına ait GET değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmayıp, 4x4 m diğerlerinden farklı bulunmuştur. Ayrıca 190 ve 210°C’de her üç meşcereye ait GET değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur. Bütün varyasyonlar dikkate alındığında en yüksek GET değeri 3x2,5 m dikim aralığına ait 210°C’de 9 saatlik uygulamada elde edilmiştir (%61,54).

Her üç meşcereden temin edilen dişbudak odununa ait GET değerleri üzerine yapılan BVA sonuçları (Çizelge 3.34, Çizelge 3.35 ve Çizelge 3.36), sıcaklık ve süre varyasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermektedir. Sıcaklık ve süre, GET değerlerini (boyutsal stabilizasyonu) doğrusal olarak etkilemektedir. Yani sıcaklık ve süre arttıkça kazanılan boyutsal stabilizasyon da artmaktadır. Bu değerlendirmelere göre, dişbudak odununun çalışmasını azaltmak için ısı işlem sıcaklık ve süresinin en yüksek seviyede uygulanması en iyi sonucu



verecektir. Ancak burada, ağaç malzemenin diğer özelliklerinde meydana gelebilecek kayıplar ve kullanım yerinin de göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır.

Tjeerdsma ve diğ. (1998a) uyguladıkları ısıtım işlem sonrası, Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) odununda hacimsel genişleme oranının %7,3'ten %5,7'e, sarıçam (*Pinus sylvestris*) odununda ise bu değerler %4,7'den %2,8'e düştüğü, bu değerlere karşılık gelen GET değerlerinin ise sırası ile %22 ve %40 olduğu rapor edilmiştir.

Bir başka araştırmada, 130-200°C'de ve atmosferik basınç altında 2, 6 ve 10 saat ısıtım işlem uygulanan doğu kayını (*Fagus orientalis*) odununa ait boyutsal stabilizasyon değerleri sıcaklık ve sürenin yükselmesi ile doğru orantılı olarak artış göstermiş olup, 200°C'de bu değer %50'e ulaşmıştır (Yıldız 2002).

Isıtım işlem, aynı zamanda OSB levhalarının da boyutsal stabilitealarının iyileştirilmesinde kullanılabilir. Goroyias ve Hale (2002) OSB üretiminde kullanılan odun yongalarını 200-260°C arasındaki sıcaklıklarda muamele etmiş ve 210°C'nin üzerinde iyileşmeler gözlenmiş olup, 230°C'de %60'lık bir boyutsal stabilizasyona ulaşmışlardır.

Teğetsel GET değerleri ağaç türlerine ve uygulama metoduna göre büyük oranda değişiklik göstermektedir. Örneğin, yapılan bir çalışmada kayın, huş, ladin ve çam odunlarının teğet yönde GET değerleri sırası ile %13, %23, %40 ve %40 olarak tespit edilmiştir (Tjeerdsma ve diğ. 1998a). Benzer sonuçlar Esteves ve diğ. (2007a, 2007b, 2008a) tarafından belirtilmekte ve teğet yönde boyutsal stabilitenin daha önemli olmasına rağmen, ısıtım işlem sonrasında genişleme anizotropisinde önemli bir değişikliğin meydana gelmediği rapor edilmektedir.

Isıtım işlem sonrasında ağaç malzemenin denge rutubet miktarının azalması, boyutsal stabilitenin iyileşmesine sebep olmaktadır. Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalar, uygun basınç ve sıcaklık ortamında, genişleme yüzdelerinin meşede %75, kayında %60, çamda %55 ve ladinde ise %52 oranında azaltılabileceğini göstermiştir.

Tjeerdsma ve diğ. (1998a), ligninin bazı siringil ve guayasil ünitelerine ait metil radikallerinin kaybını, boyutsal stabilizasyonun iyileşmesinde muhtemel bir sebep olarak ifade etmektedirler. Bu durumda fenolik grupların ve serbest orto konumundaki

ünitelerin oranlarında bir artış söz konusu olmaktadır. Bu kimyasal değişiklikler sonucu lignin bazı çapraz bağlar meydana getirerek, daha reaktif bir konuma geçmekte ve boyutsal stabilizasyonu artırmaktadır. Yine çapraz bağlanmaların artması ile selüloz molekülünün elastikliği azalır ve su absorbe ederek daha az genişleyebilir. Böylelikle ağaç malzemenin denge rutubet miktarı azalır ve boyutsal stabilizasyonu artmış olur.

Yüksek sıcaklıkta muamele, odunun yapısını değiştirmekte ve hemiselüloz oranını azaltmaktadır. Aynı zamanda hidroksil gruplarının miktarı da azaldığı için odun hücre duvarı daha az su absorbe etmektedir. Bu nedenle ağaç malzeme ısı işleme maruz bırakıldığında, boyutsal stabilitesi gelişmektedir. Hemiselülozların yüksek derecede higroskopik (suyu seven) olması nedeni ile ısı işlem sırasında hemiselüloz içeriğinde meydana gelen azalmalar, muamele görmüş odunun boyutsal stabilitesini kontrol örneklerine göre artırır (Tjeerdsma ve diğ. 1998a, Yıldız ve diğ. 2006, Tuong ve Li 2010, Priadi ve Hızıroğlu 2013).

### **3.3. MEKANİK ÖZELLİKLER**

Isıl işlem uygulamaları, genellikle ağaç malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu karşılık, mekanik özelliklerin ısı işleminden etkilenme dereceleri farklılık göstermektedir. Direnç özelliklerindeki azalmalar, uygulanan ısı işlem metoduna, ısı işlem ortamına (koruyucu gaz olup olmaması), ağaç türüne ve rutubetine bağlı olarak değişmektedir (Yıldız 2002).

#### **3.3.1. Isıl İşlemin Liflere Paralel Basınç Direnci Üzerine Etkisi**

##### *3.3.1.1. Doğal meşcereden alınan dışbudak odununa ait liflere paralel basınç direnci değerleri*

Dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürelerde uygulanan ısı işlem sonucu, doğal meşcereden alınan dışbudak test ve kontrol örneklerinin ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri ve istatistikî verileri Çizelge 3.39'da verilmiştir. Doğal meşcereden alınan dışbudak odununun ısı işleme tabi tutulmamış kontrol örneklerine ait ortalama liflere paralel basınç direnci değeri 57,2 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.39.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		57,2	<i>a</i> *	3,39	49,43	61,97	47,5	0,000
120	3	55,5	<i>ab</i>	3,19	50,11	59,56		
	6	54,6	<i>bc</i>	3,45	49,92	60,86		
	9	53,1	<i>cd</i>	3,43	46,85	57,54		
160	3	52,4	<i>de</i>	3,77	45,11	57,62		
	6	52,8	<i>cd</i>	3,16	46,51	57,51		
	9	50,3	<i>ef</i>	2,97	44,72	53,63		
190	3	55,9	<i>ab</i>	2,50	51,09	59,88		
	6	52,0	<i>de</i>	2,67	46,27	55,09		
	9	48,4	<i>f</i>	3,47	38,48	52,71		
210	3	45,7	<i>g</i>	2,33	40,33	49,36		
	6	44,7	<i>g</i>	3,61	37,08	48,93		
	9	40,9	<i>h</i>	3,34	33,65	44,98		

\* Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Kontrol örneklerine kıyasla artan ısı işlem sıcaklık ve süresine paralel olarak ortalama liflere paralel basınç direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmalar özellikle 210°C’de belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Beklendiği gibi en düşük ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri 210°C’de 9 saatlik uygulamada elde edilmiş ve istatistiksel olarak diğer tüm varyasyonlardan farklı bulunmuştur (p<0,05). 190°C’de 3 saatlik ısı işlem sonucu elde edilen liflere paralel basınç direnci değeri, kontrol örneğine çok yakın çıkmış olup, istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde aralarında bir fark gözlenmemiştir. Benzer bir sonuç Ünsal ve Ayrılmış (2005) tarafından yapılan bir çalışmada da belirlenmiştir. Araştırmacılar okalıptüs (*Eucalyptus camaldulensis*) odununa 120-180°C’de 2-8 saat süre ile ısı işlem uygulamış ve artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak liflere paralel basınç direnci ve yoğunluk değerlerinde azalmalar tespit etmişlerdir.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır (p<0,05). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını

ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, 190°C'deki tüm uygulamalar sonucu elde edilen ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur. Ancak 120, 160 ve 210°C'de uygulanan 3 ve 6 saatlik varyasyonlar arasında fark bulunmamıştır (Çizelge 3.39).

*3.3.1.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait liflere paralel basınç direnci değerleri*

Çizelge 3.40'ta dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürede uygulanan ısı işlem sonucu, plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odunu test örnekleri ile herhangi muamele görmemiş kontrol örneklerine ait ortalama basınç direnci değerleri ve istatistikî veriler gösterilmiştir.

**Çizelge 3.40.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		60,9	<i>a</i>	5,42	51,97	68,76	40,6	0,000
120	3	56,3	<i>bc</i>	3,66	49,73	61,33		
	6	53,5	<i>cd</i>	4,14	46,50	58,90		
	9	52,9	<i>d</i>	4,15	45,02	58,75		
160	3	54,5	<i>cd</i>	4,60	46,91	61,37		
	6	54,8	<i>bcd</i>	3,50	49,36	60,77		
	9	52,4	<i>d</i>	3,43	46,65	56,76		
190	3	57,5	<i>b</i>	4,83	47,04	62,84		
	6	53,8	<i>cd</i>	3,91	47,65	58,14		
	9	49,2	<i>e</i>	2,93	43,10	53,22		
210	3	46,6	<i>e</i>	4,35	39,03	52,47		
	6	43,3	<i>f</i>	3,13	38,90	49,17		
	9	41,4	<i>f</i>	3,24	36,45	47,49		

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak örneklerinde, ısı işlem sıcaklık ve sürelerinin artışına paralel olarak basınç direnci değerlerinde genel bir azalma tespit edilmiştir. En yüksek basınç direnci değeri bu meşçereye ait kontrol örneklerinde 60,9 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiş ve istatistiki olarak bütün ısı işlem varyasyonlarından farklı bulunmuştur (p<0,05, Çizelge 3.40). Doğal dişbudak örneklerinde de olduğu gibi 3x2,5

m dikim aralığında alınan örneklere ait basınç direnci değerlerinde, 210°C'den sonra önemli azalmalar göze çarpmaktadır.

En düşük basınç direnci değerleri 210°C'de 6 ve 9 saatlik uygulamalarda belirlenmiş olup sırası ile 43,3 N/mm<sup>2</sup> ve 41,4 N/mm<sup>2</sup>'dir. Yapılan bir çalışmada, karaçam odununun bazı teknolojik ve kimyasal özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde, artan ısı işlem sıcaklık (130-230°C) ve süresine (2-8 saat) bağlı olarak mekanik özelliklerden Brinell sertlik değeri, kimyasal özelliklerden ise lignin oranı dışındaki bütün özelliklerde azalmalar tespit edilmiştir. En yüksek liflere paralel basınç direnci kaybı, 230°C'de 8 saatlik uygulamada %55'in üzerinde bulunmuştur (Akyıldız ve diğ. 2009).

BVA sonuçları, kontrol ve test örneklerine ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir (p<0,05). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Çizelge 3.40'a bakıldığında, test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 190°C'de 9 saatlik uygulamadan sonra ortaya çıktığı görülmektedir. 190°C'de tüm ısı işlem sürelerinde elde edilen ortalama basınç direnci değerleri birbirinden farklı iken, 160°C'de ise tüm varyasyonlar arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (p<0,05).

### *3.3.1.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait liflere paralel basınç direnci değerleri*

Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısı işlem sonucu, 4x4 m dikim aralığında temin edilen dişbudak odunu test ve kontrol örneklerinde meydana gelen ortalama basınç direnci değerleri ve istatistikî veriler Çizelge 3.41'de verilmiştir.

4x4 m dikim aralığında temin edilen dişbudak odunun kontrol örneklerine ait ortalama basınç direnci değerleri, diğer iki meşcereden daha düşük ancak test örneklerine göre ise daha yüksek tespit edilmiştir (53,62 N/mm<sup>2</sup>). Beklendiği gibi artan ısı işlem sıcaklık ve süresine paralel olarak ortalama basınç direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Yapılan bir araştırmada, odunun 180-200°C'de ısı işleme uğratılması sonucu

eğilme ve basınç direncinde %50'nin üzerinde bir azalma meydana gelebileceği ifade edilmiştir (Mangalam ve diğ. 2007).

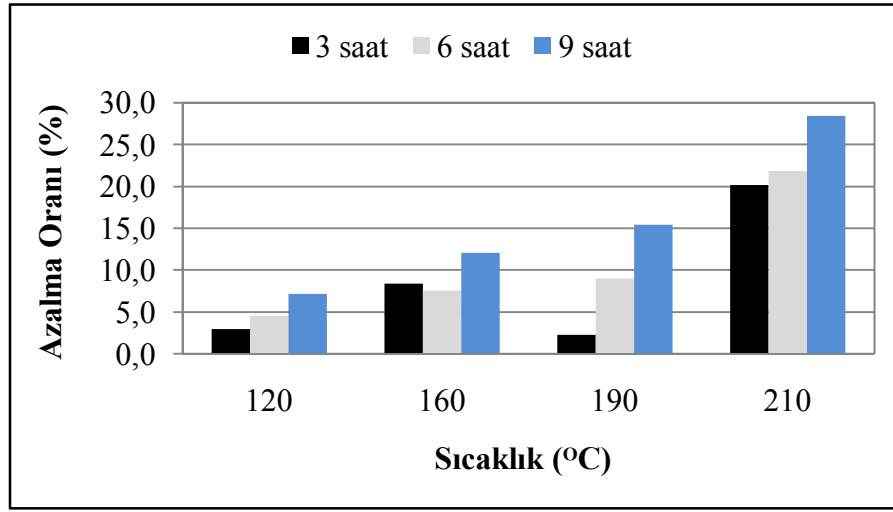
**Çizelge 3.41.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		53,62	<i>a</i>	3,37	48,12	58,39	59,8	0,000
120	3	51,32	<i>ab</i>	3,07	47,62	56,69		
	6	49,32	<i>bcd</i>	3,01	43,35	54,58		
	9	48,40	<i>cd</i>	4,16	43,54	56,96		
160	3	49,58	<i>bcd</i>	2,95	45,02	55,11		
	6	50,66	<i>bc</i>	2,84	46,72	56,71		
	9	48,30	<i>cd</i>	2,14	45,86	52,13		
190	3	47,77	<i>d</i>	2,60	42,83	53,38		
	6	44,55	<i>e</i>	5,19	37,36	52,42		
	9	41,27	<i>f</i>	3,82	35,20	50,51		
210	3	38,84	<i>g</i>	4,45	30,85	47,50		
	6	35,67	<i>h</i>	3,73	29,81	42,24		
	9	37,96	<i>g</i>	2,66	34,25	43,65		

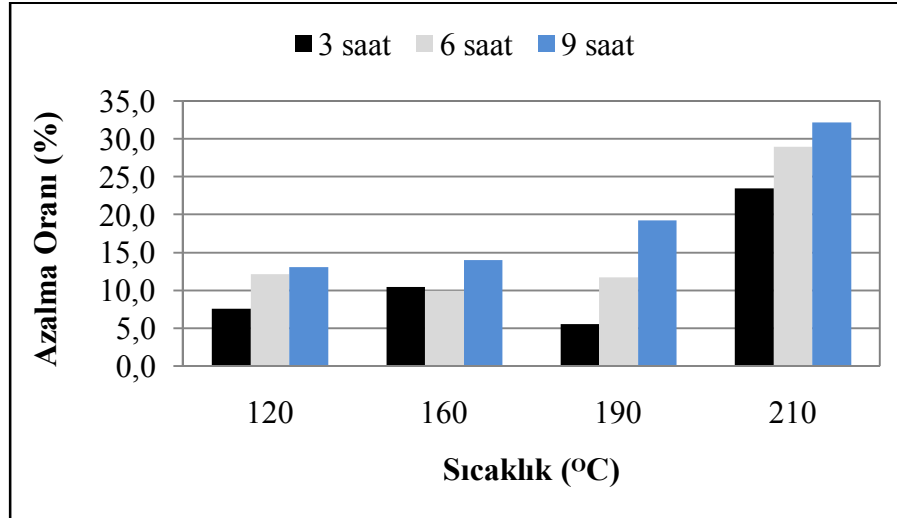
120 ve 160°C'deki basınç direnci değerleri birbirine çok yakın değerler verir iken, 190°C'de 6 saatlik uygulama ile basınç direnç değerlerinde önemi azalmalar meydana gelmiştir. En düşük ortalama basınç direnci değerleri 210°C'de 6 saatlik uygulamada elde edilmiş olup (35,67 N/mm<sup>2</sup>), istatistiksel olarak diğerlerinden farklı bulunmuştur (p<0,05).

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama basınç direnci değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır (p<0,05). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, 120 ve 160°C'deki tüm uygulamalara ait ortalama basınç direnci değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Ancak 190°C'de uygulanan ısı işlem sonucu elde edilen direnç değerleri birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.41). Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından temin edilen dişbudak odunlarının ısı işlem sonrası, kontrol örneklerine oranla test

örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları sırası ile Şekil 3.15-17’te görülmektedir.



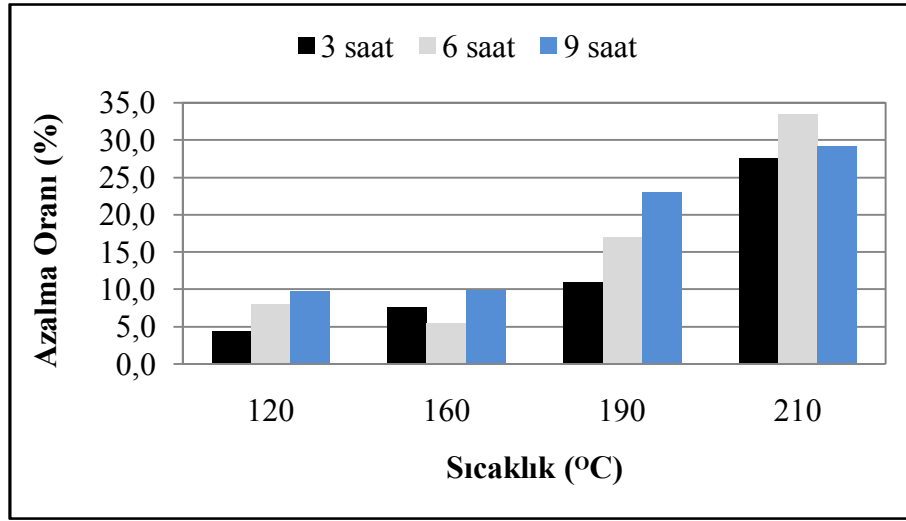
**Şekil 3.15.** Doğal meşcereden temin edilerek ısıtılarak işlenmiş dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları.



**Şekil 3.16.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıtılarak işlenmiş dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Liflere paralel basınç direnci değerlerindeki azalma oranları her üç meşcerede de birbirilerine benzer bir doğrultuda seyretmiştir. Genellikle sıcaklık ve süre artışına bağlı

olarak liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranlarında artışlar meydana gelmiştir.



**Şekil 3.17.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Tüm meşcerelerde, özellikle 190°C’de 6 saatten sonra basınç direnci azalma oranlarında ani yükselmeler gözlenmiştir. Liflere paralel basınç direnci değerlerinde en fazla düşüş, 4x4 m dikim aralığındaki plantasyon ormanından alınan dışbudak örneklerine ait 210°C’de 6 saatlik ısıl işlem varyasyonunda meydana gelmiştir (%33,48). Bu oran, 3x2,5 m dikim aralığında %32,10 (210°C’de 9 saat), doğal dışbudak ormanında ise %28,41 (210°C’de 9 saat) olarak gerçekleşmiştir. Isıl işlem sonucu liflere paralel basınç direnci en az etkilenen meşcere, %2,28’lik (190°C’de 3 saat) bir azalma ile doğal dışbudak ormanı olmuştur.

Isıl işlem sıcaklığının 210°C’de alınması her üç meşcerede en yüksek oranda kayıplara sebep olacaktır (Şekil 3.15-17). Aynı zamanda uzun ısıl işlem süreleri liflere paralel basınç direncini olumsuz etkilemiştir. Bu durum, BVA sonuçlarında da açıkça görülmektedir (Çizelge 3.39, Çizelge 3.40 ve Çizelge 3.41). Bu nedenle diğer özelliklerde göz önünde tutularak, maksimum ısıl işlem sıcaklığının 190°C ve sürenin ise kısa (3 saat) alınması liflere paralel basınç direncindeki kayıpların kabul edilebilir seviyede tutulabileceğini göstermektedir.



Farklı meşcerelerden alınan dişbudak odun örneklerinin ısıtma işlem uygulaması sonucu elde edilen test örnekleri ile herhangi bir muamele görmemiş kontrol örneklerine ilişkin ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri Çizelge 3.42’de, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.43’te verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre ısıtma işlemine uğratılmamış kontrol örneklerinin ortalama basınç direnci değerleri meşcerelere göre istatistiksel olarak farklılık gösterdiği belirlenmiş olup en yüksek basınç direnci 3x2,5 m dikim aralığına ait örneklerde tespit edilmiştir (60,9 N/mm<sup>2</sup>).

Genel olarak ısıtma işlem sıcaklık derecelerindeki artışa bağlı olarak tüm meşcerelerde basınç direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Uygulanan tüm ısıtma işlem sıcaklıklarında en yüksek basınç direnci 3x2,5 m dikim aralığına ait odun örneklerinde belirlenmiştir. Ancak yapılan istatistiksel analizlerde, genellikle doğal ve 3x2,5 m’deki ortalama basınç direnci değerleri arasında %95 güven düzeyinde fark bulunmamıştır (Çizelge 3.42). Isıtma işlem sıcaklığında olduğu gibi ısıtma işlem süresindeki artışa bağlı olarak her üç meşcereye ait basınç direnci değerlerinde belli oranlarda azalmalar tespit edilmiştir.

Avrupa kayını, sarıçam ve Avrupa ladininin kullanıldığı bir çalışmada, azot gazı (N<sub>2</sub>) ortamında yüksek sıcaklıklarda (190-245°C) ve sürede (0,3-16 saat) ısıtma işlem uygulanan odunların mekaniksel davranışları incelenmiştir. Özellikle kayın ve ladin odunlarında, ağırlık kaybı %5 civarında iken liflere paralel basınç direncinde artışlar tespit edilmiştir. Ancak ısıtma işlemin ilerleyen safhalarında (ağırlık kaybının %27’nin üzerine çıkması) basınç direnci azalma oranlarında önemli artışlar olduğu bildirilmektedir (González-Peña ve Hale 2007).

Meşcere farklılığı, ısıtma işlem sıcaklığı ve süresine ait üçlü etkileşimin (*AxBxC*) ortalama basınç direncine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ancak meşcere, sıcaklık, süre, *AxB*, *AxC* ve *BxC* etkileşimlerinin %95 güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.43).

**Çizelge 3.42.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	57,2	<i>bc</i> *	3,39	49,43	61,97	57,2	<i>bc</i> *	3,39	49,43	61,97	57,2	<i>bc</i> *	3,39	49,43	61,97
		60,9	<i>a</i>	5,42	51,97	68,76	60,9	<i>a</i>	5,42	51,97	68,76	60,9	<i>a</i>	5,42	51,97	68,76
		53,6	<i>defghi</i>	3,37	48,12	58,39	53,6	<i>defghi</i>	3,37	48,12	58,39	53,6	<i>defghi</i>	3,37	48,12	58,39
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	55,5	<i>bcdef</i>	3,19	50,11	59,56	54,6	<i>cdefgh</i>	3,45	49,92	60,86	53,1	<i>fghij</i>	3,43	46,85	57,54
		56,3	<i>bcd</i>	3,66	49,73	61,33	53,5	<i>efghi</i>	4,14	46,50	58,90	52,9	<i>fghijk</i>	4,15	45,02	58,75
		51,3	<i>ijklm</i>	3,07	47,62	56,69	49,3	<i>mno</i>	3,01	43,35	54,58	48,4	<i>nop</i>	4,16	43,54	56,96
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	52,4	<i>ghijk</i>	3,77	45,11	57,62	52,8	<i>fghijk</i>	3,16	46,51	57,51	50,3	<i>klmno</i>	2,97	44,72	53,63
		54,5	<i>cdefgh</i>	4,60	46,91	61,37	54,8	<i>bcdefg</i>	3,50	49,36	60,77	52,4	<i>ghijk</i>	3,43	46,65	56,76
		49,6	<i>lmno</i>	2,95	45,02	55,11	50,7	<i>jklmn</i>	2,84	46,72	56,71	48,3	<i>nop</i>	2,14	45,86	52,13
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	55,9	<i>bcde</i>	2,50	51,09	59,88	52,0	<i>hijkl</i>	2,67	46,27	55,09	48,4	<i>nop</i>	3,47	38,48	52,71
		57,5	<i>b</i>	4,83	47,04	62,84	53,8	<i>defghi</i>	3,91	47,65	58,14	49,2	<i>mnop</i>	2,93	43,10	53,22
		47,8	<i>opr</i>	2,60	42,83	53,38	44,6	<i>st</i>	5,19	37,36	52,42	41,3	<i>u</i>	3,82	35,20	50,51
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	45,7	<i>rst</i>	2,33	40,33	49,36	44,7	<i>st</i>	3,61	37,08	48,93	40,9	<i>uv</i>	3,34	33,65	44,98
		46,6	<i>prs</i>	4,35	39,03	52,47	43,3	<i>tu</i>	3,13	38,90	49,17	41,4	<i>u</i>	3,24	36,45	47,49
		38,8	<i>vy</i>	4,45	30,85	47,50	35,7	<i>z</i>	3,73	29,81	42,24	38,0	<i>y</i>	2,66	34,25	43,65
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		56,862/0,000														

\*Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). **HG:** Homojenlik grubu.

**Çizelge 3.43.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	7025	2	3513	257,0	0,000
Sıcaklık (B)	10335	3	3445	252,0	0,000
Süre (C)	13902	3	4634	339,0	0,000
AxB	483,8	6	80,64	5,90	0,000
AxC	363,9	6	60,65	4,44	0,000
BxC	4101	9	455,6	33,33	0,000
AxBxC	322,2	18	17,90	1,309	0,173 <sup>ÖD</sup>
Hata	12467	912	13,67		
Toplam	49000	959			

ÖD: Önemli değil.

Bir başka çalışmada, doğu ladini (*Picea orientalis*) ve doğu kayını (*Fagus orientalis*) odunları, farklı sıcaklık (130-200°C) ve sürelerde (2-10 saat) ısıtılma tabii tutulmuştur. Isıtılma şartlarının artışına bağlı olarak liflere paralel basınç direncinde en büyük azalma oranları her iki tür içinde 200°C’de (%39) tespit edilmiştir. Azalmaların ana sebebi olarak, uygulanan ısıtılma işlemi yöntemi ve odun bileşenlerinin kimyasal yapılarında meydana gelen değişimler gösterilmektedir (Yıldız 2002). 100°C’nin üzerindeki uygulamalarda molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarında kopmalar meydana gelmektedir. Kopan bağların oranı, ısıtılma şartlarının yükselmesi ile artış göstermektedir (Kotilainen 2000).

Tez çalışması kapsamında yapılan kimyasal analizlerde, artan ısıtılma şartlarına bağlı olarak, ksilan (pentozan) oranlarında meydana gelen azalmalar, kopan bağ sayılarındaki muhtemel artış ve ağırlık kayıplarının artması her üç meşcerede de gerçekleşen liflere paralel basınç direnci azalmalarını destekler niteliktedir (Çizelge 3.3-5 ve Şekil 3.2). Ayrıca ısıtılma işleminin gerçekleştirildiği ortam, degradasyon reaksiyonlarını tetiklemektedir. Oksijenli ortamda odunun bozunması, oksijensiz ortama göre çok daha hızlı olduğu ifade edilmektedir (Yıldız ve diğ. 2006).

Buna karşın liflere paralel basınç direncinde elde edilen azalma oranları, literatürde yapılan bazı çalışmalar ile uyumlu değildir. Özellikle ThermoWood yöntemi kullanılarak kısa süreli (1 ve 2 saat gibi) ısıl işlem uygulamaların liflere paralel basınç direncinde %13-30 arasında artışların gerçekleştiği ifade edilmektedir. Bu artışlar, genellikle denge rutubet miktarlarındaki azalma, kristal selüloz oranındaki artış ve polimerik yapıda meydana gelen çapraz bağlanmalar ile açıklanmaktadır (Borysiuk ve diğ. 2007, Esteves ve Pereira 2009, Şahin Kol ve Sefil 2011, Çalıova 2011).

### 3.3.2. Isıl İşlemin Eğilme Direnci Üzerine Etkisi

#### 3.3.2.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait eğilme direnci değerleri

Doğal meşcereden alınan muamele görmemiş dişbudak kontrol örnekleri ile dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürede ısıl işlem uygulanmış test örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri ve istatistikî veriler Çizelge 3.44'te verilmiştir.

**Çizelge 3.44.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		126,86	<i>a</i> *	6,81	115,75	139,73	249,8	0,000
120	3	123,84	<i>ab</i>	7,75	110,21	133,43		
	6	121,00	<i>b</i>	5,04	110,98	127,49		
	9	122,95	<i>ab</i>	6,44	114,44	135,36		
160	3	114,75	<i>c</i>	7,32	103,08	126,05		
	6	109,39	<i>d</i>	7,81	94,72	121,73		
	9	107,35	<i>d</i>	10,39	89,02	122,38		
190	3	104,89	<i>d</i>	8,84	88,83	115,46		
	6	91,99	<i>e</i>	9,56	75,78	104,29		
	9	77,25	<i>f</i>	6,77	69,93	87,79		
210	3	62,99	<i>g</i>	7,19	50,23	71,83		
	6	51,71	<i>h</i>	6,10	41,68	62,42		
	9	60,95	<i>g</i>	7,05	48,59	68,89		

\*Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Doğal meşcereden alınan dişbudak odununun ısı işlem görmemiş kontrol örneklerine ait ortalama eğilme direnci 126,86 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Kontrol örneklerine kıyasla artan ısı işlem sıcaklık ve süresine paralel olarak ortalama eğilme direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmalar özellikle 190°C'de 6 saatlik ısı işlem uygulamasında açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. En düşük ortalama eğilme direnci 210°C'de 6 saatlik uygulamada elde edilmiş (51,71 N/mm<sup>2</sup>) ve istatistiksel olarak diğerlerinden farklı bulunmuştur (p<0,05).

Eğilme direnci ile ilgili benzer sonuçlar literatürde belirtilmektedir. Inoue ve diğ. (1993) tarafından *Cryptomeria japonica* odununa uygulanan 180, 200 ve 220°C'de 8 saatlik ısı işlem sonucu, eğilme direnci değerlerinde muamele şartlarının artışına bağlı olarak azalmalar rapor edilmiştir. En yüksek azalma miktarı 220°C'de %80 olarak belirlenmiştir. Yine başka bir çalışmada, 220°C'de uygulanan ısı işlem sonucu, çam ve ladin odunlarına ait eğilme direnci değerlerinde sırası ile %47 ve %50 oranlarında azalmalar tespit edilmiştir (Bengtsson ve diğ. 2002).

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır (p<0,05). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, 120°C'de 3 ve 9 saatlik ısı işlem süreleri sonunda elde edilen eğilme direnci değeri, kontrol örneğine çok yakın çıkmış olup, istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde aralarında bir fark gözlenmemiştir. 190°C'deki tüm uygulamalar sonucu elde edilen ortalama eğilme direnci değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur. Ayrıca 120, 160, 190 ve 210°C sıcaklıklardaki eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak fark vardır (Çizelge 3.44).

### 3.3.2.2. *Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait eğilme direnci değerleri*

Çizelge 3.45'te dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürede uygulanan ısı işlem sonucu, plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odunu test örnekleri ile herhangi bir muamele görmemiş kontrol örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri ve istatistikî veriler gösterilmiştir.

**Çizelge 3.45.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		117,76	<i>a</i>	5,10	108,77	126,01	255,0	0,000
120	3	116,49	<i>a</i>	8,38	103,95	128,33		
	6	114,59	<i>a</i>	9,14	101,31	126,58		
	9	117,80	<i>a</i>	8,14	106,32	127,48		
160	3	115,45	<i>a</i>	7,45	104,23	129,38		
	6	112,78	<i>ab</i>	8,98	101,82	127,88		
	9	109,71	<i>b</i>	8,31	94,64	120,94		
190	3	104,00	<i>c</i>	7,69	95,81	119,26		
	6	87,83	<i>d</i>	8,27	75,77	103,75		
	9	75,45	<i>e</i>	5,47	68,17	84,53		
210	3	66,91	<i>f</i>	8,10	57,64	78,53		
	6	50,21	<i>g</i>	5,26	40,51	58,18		
	9	48,20	<i>g</i>	4,63	41,30	57,67		

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak örneklerinde, ısıl işlem sıcaklık ve sürelerinin artışına paralel olarak eğilme direnci değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ancak 120°C’de 9 saatlik uygulamaya ait eğilme direnci değerlerinde, kontrol örneklerine oranla küçük bir artış gözlenmiştir (%0,04). Kontrol örneklerine ait eğilme direnci değerleri 60,9 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Isıl işlem uygulamasının ilk beş varyasyonuna ait değerler, kontrol örneklerine çok yakın çıkmış olup aralarında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (p<0,05).

Doğal dişbudak örneklerinde de olduğu gibi 3x2,5 m dikim aralığından alınan örneklere ait eğilme direnci değerleri, 190°C’de 6 saatlik varyasyondan sonra hızlı bir azalma göze çarpmaktadır. Bu meşçerede uygulanan varyasyonlara ait en düşük eğilme direnci değerleri beklendiği gibi 210°C’de 6 ve 9 saatlik uygulamalarda meydana gelmiştir. Bu uygulamalara ait eğilme direnci değerleri sırası ile 50,21 N/mm<sup>2</sup> ve 48,20 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Kim ve diğ. (1998) yapmış oldukları bir çalışmada, çam odununu farklı sıcaklık (120, 150 ve 180°C) ve sürelerde (6-96 saat) ısıl işleme maruz bırakmışlardır. Sonuç olarak eğilme direnci ile uygulanan proses şartları (sıcaklık ve süre) arasında açık bir ilişkinin olduğunun belirtmişlerdir. Eğilme direnci ile ısıtma periyodu (kısa süreli)

arasındaki korelasyon katsayısının 0,78 ile 0,95 arasında olduğu ifade edilmiştir. Başka bir çalışmada, özellikle 200°C ve üzerindeki sıcaklıklarda uygulanan ısı işleminin odunun eğilme direncindeki kayıpları arttırdığı belirtilmektedir (Poncsak ve diğ. 2006).

BVA sonuçları, kontrol ve test örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Çizelge 3.45'e bakıldığında, test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 190°C'de 3 saatlik uygulamadan sonra ortaya çıktığı görülmektedir. 190°C'de tüm ısı işlem sürelerinde elde edilen ortalama eğilme direnci değerleri birbirinden farklıken, 120°C'de ise tüm varyasyonlar arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ( $p < 0,05$ ).

### *3.3.2.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait eğilme direnci değerleri*

Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısı işlem sonucu, 4x4 m dikim aralığından temin edilen dişbudak odunu test ve kontrol örneklerinde meydana gelen ortalama eğilme direnci değerleri ve istatistikî veriler Çizelge 3.46'da verilmiştir.

4x4 m dikim aralığından temin edilen dişbudak odunun kontrol örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri, diğer iki meşcereden daha düşük ancak tüm test örneklerine göre ise daha yüksek bulunmuştur (116,35 N/mm<sup>2</sup>). Artan ısı işlem sıcaklık ve süresine paralel olarak ortalama eğilme direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. 120 ve 160°C'deki eğilme direnci değerleri birbirine çok yakın iken, 190°C'de 6 saatlik uygulama ile direnç değerlerinde önemi azalmalar meydana gelmiştir. En düşük ortalama eğilme direnci değerleri 210°C'de 9 saatlik uygulamada elde edilmiş olup (50,9 N/mm<sup>2</sup>), 210°C'de 6 saatlik uygulama hariç diğer tüm varyasyonlardan istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Shi ve diğ (2007) çam ladin, göknar, huş ve kavak odunlarının ThermoWood yöntemi ile uygulanan ısı işlem karşısında göstermiş oldukları mekaniksel davranışları incelemiştir. Eğilme direnci değerleri, huş odununda küçük bir artış (%6) gösterir iken diğer türlerde ise %0-49 arasında bir azalma göstermiştir. Yapılan başka bir çalışmada, ipek ağacının ısı işleme uğratılması sonucu eğilme direncinde %65'lik bir azalma tespit edilmiştir (Mburu ve diğ. 2008).

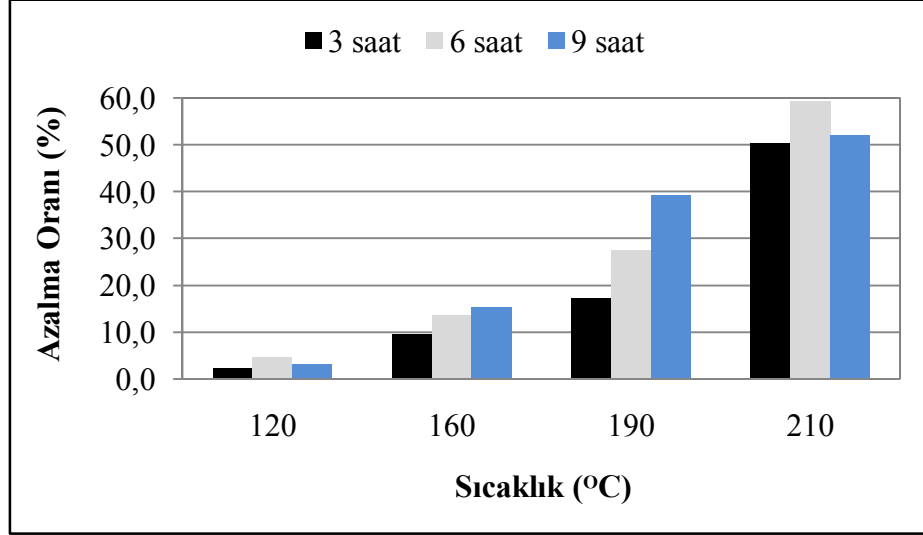
**Çizelge 3.46.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		116,35	<i>a</i>	5,79	108,76	126,51	218,5	0,000
120	3	114,21	<i>a</i>	6,71	101,78	124,74		
	6	111,72	<i>a</i>	7,42	101,24	121,76		
	9	106,19	<i>b</i>	8,92	93,68	115,68		
160	3	112,79	<i>a</i>	7,11	101,94	124,06		
	6	103,15	<i>bc</i>	8,66	89,51	114,96		
	9	99,86	<i>c</i>	7,47	91,52	114,89		
190	3	94,27	<i>d</i>	7,93	81,38	104,36		
	6	78,68	<i>e</i>	9,53	68,18	92,20		
	9	70,99	<i>f</i>	7,55	60,64	79,61		
210	3	64,87	<i>g</i>	7,30	53,59	75,48		
	6	54,19	<i>h</i>	4,73	46,98	63,58		
	9	50,90	<i>h</i>	5,94	41,70	60,05		

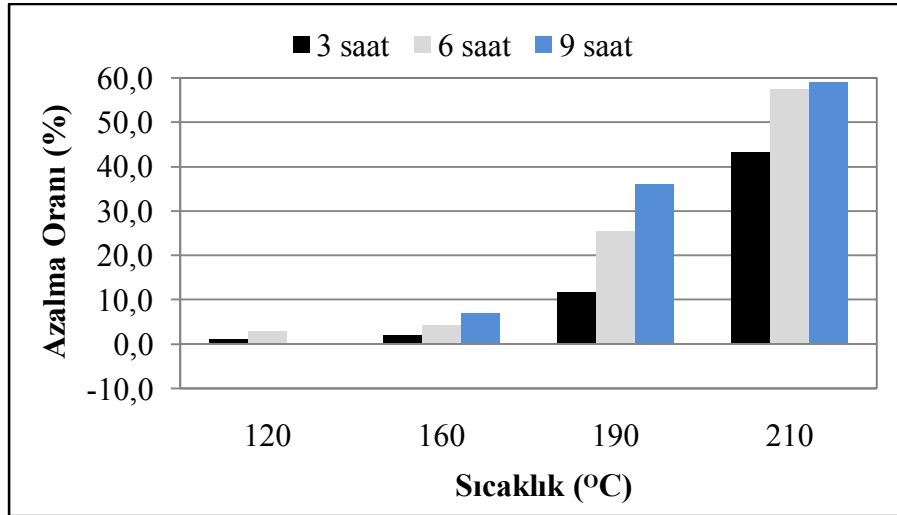
BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, kontrol örnekleri ile 120°C'deki tüm uygulamalara ait ortalama eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Ayrıca 160 ve 210°C'de her bir sıcaklığa ait 6-9 saatlik ısıl işlem sürelerinde elde edilen eğilme direnci değerleri birbirinden farksızdır. Ancak 190°C'de uygulanan ısıl işlem sonucu elde edilen ortalama eğilme direnci değerleri birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.46).

Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından temin edilen dişbudak odunlarının ısıl işlem sonrası, kontrol örneklerine oranla test örneklerinin eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları sırası ile Şekil 3.18-20'de görülmektedir. Her üç meşçereye ait eğilme direnci azalma oranları, sıcaklık ve süre artışına paralel olarak yükselmiştir. Tüm meşçerelerde, özellikle 190°C'de 3 saatlik uygulamadan sonra eğilme direnci azalma oranlarında ani yükselmeler gözlenmiştir.





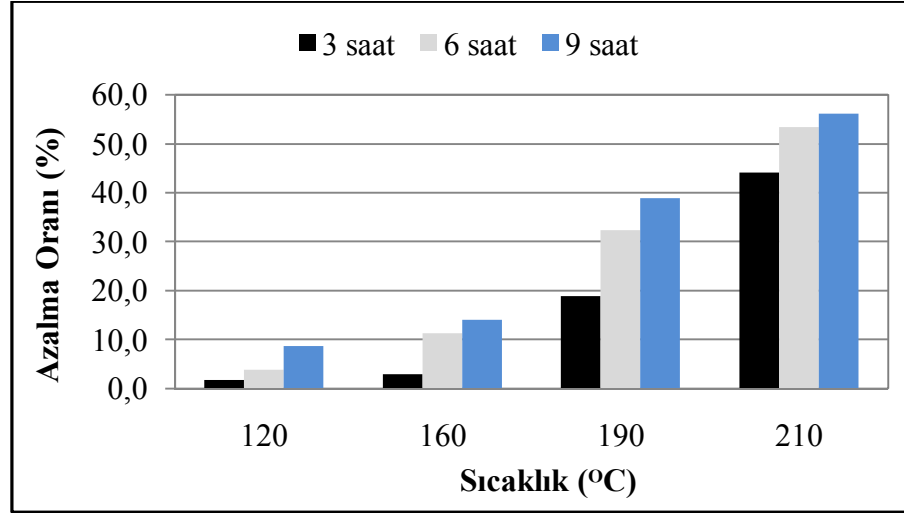
**Şekil 3.18.** Doğal meşcereden temin edilerek ısı işlem uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları.



**Şekil 3.19.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısı işlem uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Doğal meşcereden alınan örneklerin eğilme direncindeki en yüksek azalma oranı, 210°C’de 6 saatlik varyasyonda (%59,2) meydana gelmiş iken, plantasyon ormanlarında (3x2,5 m ve 4x4 m) ise 210°C’de 9 saatlik varyasyonlarda sırası ile %59,1 ve %56,3 olarak elde edilmiştir. Üç meşcerede de 120°C’lik varyasyonda en düşük eğilme direnci azalma oranı elde edilmiştir.

Kamdem ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmalarında, kayın ve ladin odunlarına Fransız metodunu (Rectified Wood) kullanarak 200-260°C’de ısıl işlem uygulamıştır. Sonuç olarak kayın ve ladin odunlarına ait eğilme direnci değerlerinde sırası ile %40 ve %8 oranlarında azalmalar tespit etmişlerdir.



**Şekil 3.20.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları.

Üç farklı meşcereden temin edilen dişbudak odun örneklerinin, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işlem uygulanması sonucu elde edilen ortalama eğilme direnci değerleri Çizelge 3.47’de, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.48’de gösterilmiştir. Herhangi bir muamele görmemiş 3x2,5 m ve 4x4 m dikim aralıklarına ait kontrol örneklerinin eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamış olup, doğal meşcereden farklı bulunmuşlardır. En yüksek eğilme direnci değeri doğal meşcereden elde edilen örneklerde tespit edilmiştir (126,86 N/mm<sup>2</sup>).

Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında 120°C’de ısıl işlem süresinin artışına bağlı olarak her üç meşcereye ait eğilme direnci değerlerinde genellikle önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir. 160 ve 190°C’de 3, 6 ve 9 saatlik ısıl işlem uygulaması sonucu, doğal meşcere ile 3x2,5 m’ye ait eğilme direnci değerleri istatistiksel olarak farksız bulunmuştur. Isıl işlem sıcaklığının artışına bağlı olarak doğal meşcereye ait eğilme direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

**Çizelge 3.47.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	126,86	<i>a</i> *	6,81	115,75	139,73	126,86	<i>a</i>	6,81	115,75	139,73	126,86	<i>a</i>	6,81	115,75	139,73
		117,76	<i>cd</i>	5,10	108,77	126,01	117,76	<i>cd</i>	5,10	108,77	126,01	117,76	<i>cd</i>	5,10	108,77	126,01
		116,35	<i>cde</i>	5,79	108,76	126,51	116,35	<i>cde</i>	5,79	108,76	126,51	116,35	<i>cde</i>	5,79	108,76	126,51
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	123,84	<i>ab</i>	7,75	110,21	133,43	121,00	<i>bc</i>	5,04	110,98	127,49	122,95	<i>ab</i>	6,44	114,44	135,36
		116,49	<i>cde</i>	8,38	103,95	128,33	114,59	<i>def</i>	9,14	101,31	126,58	117,80	<i>cd</i>	8,14	106,32	127,48
		114,21	<i>defg</i>	6,71	101,78	124,74	111,72	<i>efgh</i>	7,42	101,24	121,76	106,19	<i>ij</i>	8,92	93,68	115,68
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	114,75	<i>def</i>	7,32	103,08	126,05	109,39	<i>ghi</i>	7,81	94,72	121,73	107,35	<i>hij</i>	10,39	89,02	122,38
		115,45	<i>de</i>	7,45	104,23	129,38	112,78	<i>defg</i>	8,98	101,82	127,88	109,71	<i>fghi</i>	8,31	94,64	120,94
		112,79	<i>defg</i>	7,11	101,94	124,06	103,15	<i>jk</i>	8,66	89,51	114,96	99,86	<i>k</i>	7,47	91,52	114,89
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	104,89	<i>ij</i>	8,84	88,83	115,46	91,99	<i>lm</i>	9,56	75,78	104,29	77,25	<i>n</i>	6,77	69,93	87,79
		104,00	<i>jk</i>	7,69	95,81	119,26	87,83	<i>m</i>	8,27	75,77	103,75	75,45	<i>no</i>	5,47	68,17	84,53
		94,27	<i>l</i>	7,93	81,38	104,36	78,68	<i>n</i>	9,53	68,18	92,20	70,99	<i>op</i>	7,55	60,64	79,61
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	62,99	<i>rs</i>	7,19	50,23	71,83	51,71	<i>tu</i>	6,10	41,68	62,42	60,95	<i>s</i>	7,05	48,59	68,89
		66,91	<i>pr</i>	8,10	57,64	78,53	50,21	<i>tu</i>	5,26	40,51	58,18	48,20	<i>u</i>	4,63	41,30	57,67
		64,87	<i>rs</i>	7,30	53,59	75,48	54,19	<i>t</i>	4,73	46,98	63,58	50,90	<i>tu</i>	5,94	41,70	60,05
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		235,26/0,000														

\* Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). **HG:** Homojenlik grubu.

**Çizelge 3.48.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda eğilme direnci değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	10448	2	5224	100,0	0,000
Sıcaklık (B)	292870	3	97623	1869	0,000
Süre (C)	158768	3	52923	1013	0,000
AxB	2332	6	388,7	7,44	0,000
AxC	1881	6	313,5	6,00	0,000
BxC	107898	9	11989	229,6	0,000
AxBxC	3276	18	182,0	3,49	0,000
Hata	47630	912	52,23		
Toplam	625103	959			

Meşcere farklılığı, ısı işlem sıcaklığı ve süresi ile *AxB*, *AxC*, *BxC* ve *AxBxC* etkileşimlerinin eğilme direnci üzerinde %95 anlam düzeyinde önemli olduğu anlaşılmaktadır.

160°C'deki tüm varyasyonlarda en yüksek eğilme direnci değerleri 3x2,5 m'den elde edilmiştir. Eğilme direncindeki azalmalar 190 ve 210°C'de daha belirgin olarak ortaya çıkmış olup en düşük eğilme direnci değerleri bu sıcaklıklarda elde edilmiştir. Yapılan birçok çalışmada, artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak eğilme direnci değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir (Bengtsson ve diğ. 2002, Bekhta ve Niemz 2003, Johansson ve Moren 2006, Sundqvist ve diğ. 2006, Akyıldız ve diğ. 2009, Vukas ve diğ. 2010, Cao ve diğ. 2012).

210°C sıcaklıkta 3 ve 6 saatlik uygulamalarda üç meşcereden elde edilen eğilme direnci değerleri istatistiksel olarak birbirinden farksız bulunmuştur. Tüm uygulamalar göz önüne alındığında en düşük eğilme direnci değeri 210°C'de 9 saatlik uygulama ile 3x2,5 m'de 48,20 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur (Çizelge 3.47). Ateş ve diğ. (2009) çalışmalarında, ısı işlem sıcaklık ve sürelerinin artışı ile doğru orantılı olarak eğilme direncinin de azaldığı ifade edilmektedir. Eğilme direncindeki en yüksek azalma oranı, 230°C'de ve 8 saatlik uygulamada %67,7 olarak tespit edilmiştir. Eğilme direncindeki azalmalar, odun polimerlerinde meydana gelen bozunma reaksiyonlarının ve ağırlık kayıplarının neden olabileceği ifade edilmiştir.

Bir başka çalışmada, Esteves ve diğ. (2007a) otoklav ve subuharı ortamında, okaliptüs (*Eucalyptus globulus*) odununa 2-12 saat boyunca 190-210°C'de ısıtım işlemi uygulanmıştır. Mekanik özelliklerden elastikiyet modülü azalma oranı en yüksek %15 olmasına karşın eğilme direncinde azalma oranı %50'i bulmuştur. Ancak %3-4 ağırlık kayıplarında mekanik özelliklere zarar vermeksizin olumlu sonuçlar alınabileceği ifade edilmiştir. Direnç azalmaları, ısıtım işleminin şiddetine, kütle kayıplarına ve odunun yapısal bileşenlerinde meydana gelen kimyasal değişikliklere bağlı olduğu ifade edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen en yüksek eğilme direnci kayıpları (Çizelge 3.47) ile en yüksek ağırlık kayıpları (Çizelge 3.12) aynı varyasyonda elde edilmiştir. Dolayısıyla ile artan ısıtım işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak azalan eğilme direnci değerlerini; yüksek sıcaklıklarda meydana gelen ağırlık kaybı ve kimyasal analizlerde elde edilen ksilaz azalma oranları (Şekil 3.2) ile ilişkilendirmek mümkündür.

Liflere paralel basınç direncinde de olduğu gibi, ısıtım işlem sıcaklığının 210°C'de alınması her üç meşcerede en yüksek oranda eğilme direnci kayıplarına sebep olacaktır (Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20). Sıcaklığın 210°C'ye çıkması ile eğilme direnci kayıpları %40'ın üzerine çıkmıştır. BVA sonuçlarına göre, doğal ve plantasyon ormanlarına (3x2,5 m ve 4x4 m) ait örneklerde, ısıtım işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak eğilme direnci olumsuz etkilenmiştir (Çizelge 3.44, Çizelge 3.45 ve Çizelge 3.46). Sonuç olarak liflere paralel basınç direncine ait optimum şartlar eğilme direnci içinde benzerlik göstermekte birlikte, ısıtım işlem sıcaklığının maksimum 190°C, süresinin ise düşük alınması (3 saat) eğilme direnci için de olumlu sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

### **3.3.3. Isıtım İşleminin Elastikiyet Modülü Üzerine Etkisi**

#### *3.3.3.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait elastikiyet modülü değerleri*

Doğal meşcereden alınan dişbudak kontrol örnekleri ile dört farklı sıcaklık ve üç farklı sürede ısıtım işlemi uygulanmış test örneklerine ait ortalama elastikiyet modülü değerleri ve istatistikî veriler Çizelge 3.49'da verilmiştir. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait kontrol örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 13651 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Çizelge 3.49'a bakıldığında, diğer mekanik özellikler gibi artan sıcaklık

ve süreye bağlı olarak elastikiyet modülü değerleri azalan bir dağılım göstermemiştir. Kontrol örnekleri ile 120, 160 ve 190°C’de ısıl işlem uygulamalarına ait ortalama elastikiyet modülü değerleri arasında önemli bir fark yoktur.

**Çizelge 3.49.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		13651	<i>ab</i> *	1055	11161	14569	8,617	0,000
120	3	13071	<i>ab</i>	740	11124	13780		
	6	13780	<i>a</i>	950	12354	15100		
	9	13123	<i>ab</i>	1184	11403	15053		
160	3	13407	<i>ab</i>	768	12100	14731		
	6	13594	<i>ab</i>	1153	11708	15073		
	9	13226	<i>ab</i>	1083	11456	14618		
190	3	13355	<i>ab</i>	1155	10928	14774		
	6	13639	<i>ab</i>	1101	11096	15066		
	9	13030	<i>ab</i>	1060	10866	14443		
210	3	12220	<i>c</i>	895	10787	13423		
	6	11167	<i>d</i>	1014	9498	12472		
	9	12956	<i>b</i>	931	10579	14232		

\*: Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Ayrıca 120°C’de 6 saatlik varyasyona ait elastikiyet modülü değeri kontrol örneğine göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak 210°C’deki 3 ve 6 saatlik varyasyonlarda elde edilen elastikiyet modülü değerlerinde önemli azalmalar meydana gelmiş olup, istatistiksel olarak diğer varyasyonlardan farklı bulunmuştur (p<0,05). En düşük ortalama elastikiyet modülü değeri 210°C’de 6 saatlik uygulamada elde edilmiştir (11167 N/mm<sup>2</sup>). Benzer sonuçlar, Esteves ve diğ. (2007a) tarafından subuharı ortamında gerçekleştirilen ısıl işlem sonucu, kütle kaybının bir fonksiyonu olarak elastikiyet modülünün çok az etkilendiği belirtilmektedir. Çam odununda kütle kaybı %4 civarında iken elastikiyet modülünde %7’lik bir artış gözlenmiştir. Bu durum okalıptüs odununda, ağırlık kaybı %8 olduğunda elastikiyet modülünde %5’lik bir azalma şeklinde olmuştur. Ancak sıcaklığın artışı ile birlikte okalıptüs odununa ait elastikiyet modülü değerlerinde %15 civarında azalmalar tespit edilmiştir.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır ( $p < 0,05$ ). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, kontrol örnekleri ile 120, 160 ve 190°C sıcaklıklara ait tüm varyasyonlarda elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında %95 güven düzeyinde fark bulunmamıştır. Fakat 210°C’de tüm uygulamalar sonucu elde edilen ortalama elastikiyet modülü değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur (Çizelge 3.49). Kocaefe ve diğ. (2007c) düşük sıcaklıklarda (120-160°C) karaçam odunu elastikiyet modülünde nispeten önemli bir değişimin olmadığını, ancak sıcaklığın 230°C’ye çıkması ile azalmaların istatistiksel olarak önemli olduğunu ifade etmektedir.

*3.3.3.2. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait elastikiyet modülü değerleri*

Çizelge 3.50’de on iki farklı ısıl işlem varyasyonu sonucu, plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odunu test ve kontrol örneklerine ait ortalama elastikiyet modülü değerleri ve istatistikî sonuçlar gösterilmiştir.

**Çizelge 3.50.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri ( $N/mm^2$ ).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		13338	<i>abc</i>	836	11686	14805	13,112	0,000
120	3	13070	<i>bc</i>	911	11555	14226		
	6	12735	<i>c</i>	951	10335	13721		
	9	13194	<i>abc</i>	1116	11566	14724		
160	3	13295	<i>abc</i>	672	11785	14450		
	6	13664	<i>ab</i>	1036	11831	15149		
	9	13262	<i>abc</i>	971	11428	14465		
190	3	13112	<i>bc</i>	1275	10847	14744		
	6	13840	<i>a</i>	1005	11520	15690		
	9	12881	<i>c</i>	1093	11174	14753		
210	3	12639	<i>c</i>	1048	10373	14698		
	6	10867	<i>d</i>	863	9352	12426		
	9	11408	<i>d</i>	932	9532	12877		

Isıl işlem sıcaklık ve süreleri ile bu meşçereye ait elastikiyet modülü değerleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Kontrol örneklerine ait elastikiyet modülü değeri, 13338 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Özellikle 160 ve 190°C’de 6 saatlik uygulamalara ait elastikiyet modülü değerleri, kontrol örneklerine oranla küçük bir miktar arttığı gözlenmiştir (%2,44 ve 3,76). 210°C’de 6 ve 9 saatlik uygulamalar hariç diğer tüm varyasyonlarda elde edilen elastikiyet modülü değerleri ile kontrol örnekleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır.

González-Peña ve Hale (2007) çalışmalarında kayın odunu test örneklerine ait elastikiyet modülü değerlerini kontrol örnekleri ile karşılaştırmış, yüksek ağırlık kayıplarına rağmen istatistiksel olarak önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.

Elastikiyet modülündeki önemli düşüşler, 210°C’de 3 saatlik varyasyondan sonra ortaya çıkmıştır. Bu meşçerede (3x2,5 m) tüm varyasyonlara ait en düşük elastikiyet modülü değerleri 210°C’de 6 ve 9 saatlik uygulamalarda elde edilmiştir. Bu uygulamalara ait elastikiyet modülü değerleri sırası ile 10867 N/mm<sup>2</sup> ve 11408 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

BVA sonuçları, kontrol ve test örneklerine ait ortalama elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir (p<0,05). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Çizelge 3.50’ye bakıldığında, test ve kontrol örnekleri arasındaki farklılıkların 210°C’de 3 saatlik uygulamadan sonra ortaya çıktığı görülmektedir. Kontrol örnekler ile 120, 160, 190°C sıcaklıklardaki tüm ısıl işlem süreleri ve 210°C’de 3 saate ait ortalama elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (p<0,05).

### *3.3.3.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait elastikiyet modülü değerleri*

Farklı sıcaklık ve sürelerde uygulanan ısıl işlem sonucu, 4x4 m dikim aralığına ait dişbudak odunu test ve kontrol örneklerinde meydana gelen ortalama elastikiyet modülü değerleri ve istatistikî veriler Çizelge 3.51’de görülmektedir.



**Çizelge 3.51.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

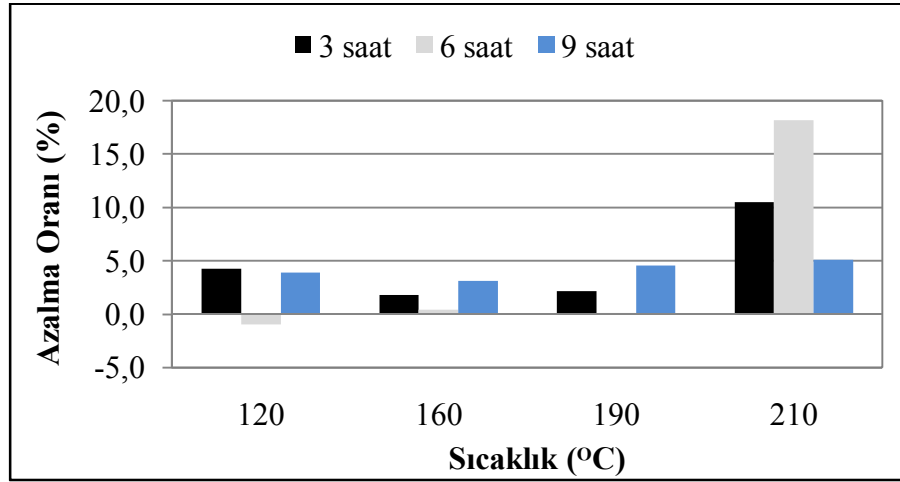
Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		12884	<i>abc</i>	885	11796	14684	16,25	0,000
120	3	12223	<i>cd</i>	810	10641	13547		
	6	12963	<i>ab</i>	1086	11066	13931		
	9	12381	<i>bcd</i>	1162	10563	14158		
160	3	12797	<i>abc</i>	929	11123	13963		
	6	13267	<i>a</i>	829	12090	14829		
	9	12614	<i>abcd</i>	850	10982	13623		
190	3	12021	<i>d</i>	896	10391	13329		
	6	12311	<i>bcd</i>	974	11180	14616		
	9	12056	<i>d</i>	963	10508	13431		
210	3	11263	<i>e</i>	610	10210	12496		
	6	10237	<i>f</i>	1003	8894	12243		
	9	10974	<i>e</i>	946	9578	12803		

Plantasyon (4x4 m) ormanına ait kontrol örneklerinin ortalama elastikiyet modülü değerleri, diğer iki meşcereden (doğal ve 3x2,5 m) daha düşük bulunmuştur (12884 N/mm<sup>2</sup>). Diğer meşcerelerde de olduğu gibi 120, 160 ve 190°C'deki elastikiyet modülü değerleri kontrol örneklerine çok yakın bulunmuştur. Özellikle 210°C'de 3 saatlik uygulama ile birlikte direnç değerlerinde önemi azalmalar meydana gelmiştir. En düşük ortalama elastikiyet modülü değerleri 210°C'de 6 saatlik uygulamada elde edilmiş olup (10237 N/mm<sup>2</sup>), diğer tüm varyasyonlardan istatistiksel olarak farklı bulunmuştur (p<0,05).

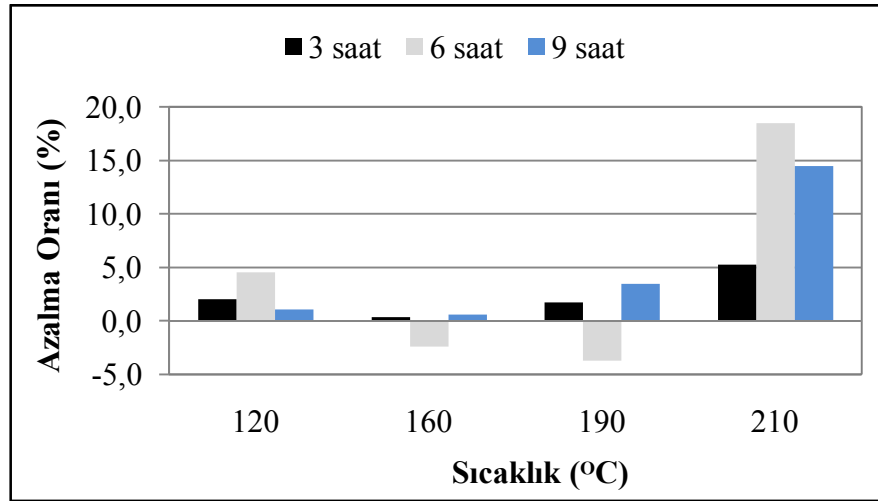
BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır (p<0,05). Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, kontrol örnekleri ile 120 ve 160°C'deki tüm uygulamalara ait ortalama elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur. Ayrıca 190°C'deki her bir varyasyonda elde edilen elastikiyet modülü değerleri birbirinden farksızdır. Ancak 210°C'de elde edilen

ortalama elastikiyet modülü değerleri diğer tüm varyasyonlardan %95 güven düzeyinde farklı bulunmuştur (Çizelge 3.51).

Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odunlarının ısıtma işlemi sonrası, kontrol örneklerine oranla test örneklerinin elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen azalma oranları sırası ile Şekil 3.21-23'te görülmektedir.

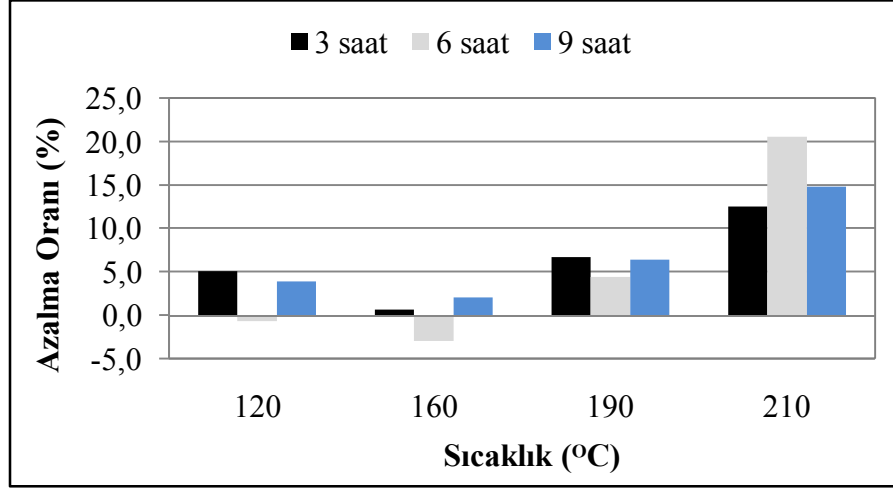


Şekil 3.21. Doğal meşcereden temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.



Şekil 3.22. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıtma işlemi uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Doğal dışbudak ormanında 120°C’de 6 saatlik, plantasyon (3x2,5 m) ormanında 160 ve 190°C’de 6 saatlik ve plantasyon (4x4 m) ormanında ise 120 ve 160°C’de 6 saatlik uygulamalarda elde edilen elastikiyet modülü değerleri kontrol örneklerine oranla küçük bir miktar arttığı gözlenmiştir. Doğal dışbudak ormanında 120, 160 ve 190°C’de 6 saatlik uygulamalara ait elastikiyet modülü azalma oranları %0’a yakın değerler vermiştir.



**Şekil 3.23.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Elastikiyet modülü değerlerinde önemli azalmalar her üç meşcere için de 210°C’de 6 saatlik varyasyonlarda kendini göstermiştir. Bu değerler sırası ile %18,20, %18,53 ve %20,54 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle 210°C, her üç meşcere için de kritik bir sıcaklık olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, artan sıcaklığa (180-220°C) bağlı olarak *Cryptomeria japonica* odununa ait eğilme direncinin %20-80 oranında azaldığı ifade edilmiştir. Ancak elastikiyet modülü değerlerinin, 180-200°C sıcaklıklarda ve kısa sürelerde hafif bir artışın gerçekleştiği, ilerleye aşamalarda artan işlem süresi (8-20 saat) ile birlikte elastikiyet modülünde azalmalar (%10) tespit edilmiştir (Inoue ve diğ. 1993).

Kontrol ve test örneklerine ilişkin ortalama elastikiyet modülü değerleri üç meşcere (doğal, 3x2,5 m ve 4x4 m) için karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.52’de, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.53’te verilmiştir.

**Çizelge 3.52.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait ortalama elastikiyet modülü değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	13651	<i>abc</i> *	1055	11161	14569	13651	<i>abc</i>	1055	11161	14569	13651	<i>abc</i>	1055	11161	14569
		13338	<i>abcdef</i>	836	11686	14805	13338	<i>abcdef</i>	836	11686	14805	13338	<i>abcdef</i>	836	11686	14805
		12884	<i>defghi</i>	885	11796	14684	12884	<i>defghi</i>	885	11796	14684	12884	<i>defghi</i>	885	11796	14684
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	13071	<i>bcdefg</i>	740	11124	13780	13780	<i>ab</i>	950	12354	15100	13123	<i>bcdefg</i>	1184	11403	15053
		13070	<i>bcdefg</i>	911	11555	14226	12735	<i>efghij</i>	951	10335	13721	13194	<i>abcdef</i>	1116	11566	14724
		12223	<i>ijk</i>	810	10641	13547	12963	<i>cdefgh</i>	1086	11066	13931	12381	<i>ghijk</i>	1162	10563	14158
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	13407	<i>abcde</i>	768	12100	14731	13594	<i>abcd</i>	1153	11708	15073	13226	<i>abcdef</i>	1083	11456	14618
		13295	<i>abcdef</i>	672	11785	14450	13664	<i>abc</i>	1036	11831	15149	13262	<i>abcdef</i>	971	11428	14465
		12797	<i>efghi</i>	929	11123	13963	13267	<i>abcdef</i>	829	12090	14829	12614	<i>fghijk</i>	850	10982	13623
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	13355	<i>abcdef</i>	1155	10928	14774	13639	<i>abcd</i>	1101	11096	15066	13030	<i>bcdefgh</i>	1060	10866	14443
		13112	<i>abcdefg</i>	1275	10847	14744	13840	<i>a</i>	1005	11520	15690	12881	<i>defghi</i>	1093	11174	14753
		12021	<i>k</i>	896	10391	13329	12311	<i>hijk</i>	974	11180	14616	12056	<i>jk</i>	963	10508	13431
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	12220	<i>ijk</i>	895	10787	13423	11167	<i>l</i>	1014	9498	12472	12956	<i>cdefgh</i>	931	10579	14232
		12639	<i>fghijk</i>	1048	10373	14698	10867	<i>l</i>	863	9352	12426	11408	<i>l</i>	932	9532	12877
		11263	<i>l</i>	610	10210	12496	10237	<i>m</i>	1003	8894	12243	10974	<i>l</i>	946	9578	12803
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		15,064/0,000														

\*Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). **HG:** Homojenlik grubu.

**Çizelge 3.53.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda elastikiyet modülü değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
Meşcere (A)	141567564	2	70783782	75,4	0,000
Sıcaklık (B)	238637472	3	79545824	84,7	0,000
Süre (C)	74094635	3	24698212	26,3	0,000
AxB	12517722	6	2086287	2,221	0,039
AxC	7552296	6	1258716	1,340	0,237 <sup>ÖD</sup>
BxC	156391424	9	17376825	18,50	0,000
AxBxC	34340833	18	1907824	2,031	0,007
Hata	856716553	912	939382		
Toplam	1521818500	959			

ÖD: Önemli değil.

Meşcere farklılığı ve süre etkileşiminin (AxC) ortalama elastikiyet modülüne etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, ancak meşcere, sıcaklık, süre, AxB, BxC ve AxBxC etkileşimlerinin %95 güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.53).

Elde edilen bulgulara göre doğal meşcere ile 3x2,5 m'den temin edilen, muamele görmemiş kontrol örneklerinin elastikiyet modülü değerleri istatistiksel olarak önemsiz olup, 4x4 m'den farklı bulunmuşlardır. En yüksek elastikiyet modülü değeri doğal meşcereden temin edilmiş iken, en düşük değerler ise 4x4 m'ye aittir.

Genel olarak 120, 160 ve 190°C'deki tüm ısıl işlem varyasyonlarında elde edilen elastikiyet modülü değerleri kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ortaya çıkmamıştır. Ancak ısıl işlem süresinin 210°C'ye çıkması ile her üç meşcereye ait kontrol örnekleri ile test örnekleri arasında istatistiksel farklılıklar bulunmuştur. Bu sıcaklıkta, ısıl işlem süresinin 3 saatten 6 saate çıkması ile elastikiyet modülü değerleri üç meşcerede de azalma göstermiştir. En düşük elastikiyet modülü değeri 210°C'de 6 saatlik uygulamada, 4x4 m dikim aralığından temin edilen dışbudak örneklerinde elde edilmiştir (10237 N/mm<sup>2</sup>). 160°C'de 3, 6 ve 9 saatlik ısıl işlem uygulaması sonucu her üç meşcereye ait elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. 190°C'deki uygulamalarda ise kontrol örneklerine benzer bir durum ortaya çıkmıştır (Çizelge 3.52).

Isıl işlemin ağaç malzemenin elastikiyet modülüne etkisi üzerine literatürde farklı görüşler ortaya konmaktadır. Bazı araştırmacılar, ısıl işlemin elastikiyet modülünü azaltıcı bir etkisi olduğunu söylemektedirler (Kamdem ve diğ. 2002, Yıldız 2002, Bekhta ve Niemz 2003, Akyıldız ve diğ. 2009). Bu azalmaların nedeni olarak, genellikle test örneğinin rutubet içeriği ve ısıl işlem ortamı gösterilmektedir.

Taze haldeki örneğin elastikiyet modülü kaybı, tam kuru haldeki örneklerle göre çok daha hızlı olmaktadır. Yapılan bir çalışmada, havanın varlığında uygulanan ısıl işlem sonucu elastikiyet modülü azalma oranı taze haldeki örneklerde tam kuru örneklerle göre 14 kat daha fazla olmuştur. (Mitchell 1988).

Bu görüşten farklı düşünen araştırmacılar ise uygun ısıl işlem sıcaklığının kullanılması durumunda odunun mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceğini rapor etmişlerdir. Birçok çalışma, kısa süreli ısıl işlem uygulamasının odunun elastikiyet modülünde bir miktar artışın olabileceğini ortaya koymuştur (Navi ve Girardet 2000, Santos 2000, Kubojima ve diğ. 2006, Poncsak ve diğ. 2006, Shi ve diğ. 2007, Cao ve diğ. 2012).

Boonstra ve diğ. (2007) ısıl işlemin odunun elastikiyet modülünü artırmasını şu şekilde ifade etmektedir; hemiselülozların bozunması ve lignin-hemiselüloz matriksinin yük taşıma kapasitesinin azalmasına karşın ısıl işlem sonrası kristal selüloz oranının nisbi yükselişi nedeni ile elastikiyet modülünde küçük ancak fark edilebilir bir artış söz konusudur. Bunun yanı sıra, daha az bağlı su içeren ısıl işlem görmüş odun, muamele görmemiş oduna göre daha az higroskopiktir. Yani ısıl işlem görmüş odunun daha az elastik olması, elastikiyet modülünü artırıcı bir etki göstermektedir (Boonstra ve diğ. 2007).

Her üç meşcerede de ısıl işlem sürelerinin elastikiyet modülüne etkisi incelendiğinde, 210°C de 3 ve 9 saatlik sürelerde daha düşük azalma oranlarına sahip iken benzer sonuçlar diğer üç sıcaklıkta ise 6 saatlik ısıl işlem süresinde elde edilmiştir (Şekil 3.21-23). Sonuç olarak 210°C'nin altındaki sıcaklıklarda elastikiyet modülü kaybını düşük tutmak için orta süreli (6 saat), 210°C'de ise kısa veya uzun süreli (3 veya 9 saat) ısıl işlem uygulamalarının daha uygun olacağı düşünülebilir.

### 3.4. TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER

#### 3.4.1. Isıl İşlemin Janka Sertlik Değeri Üzerine Etkisi

##### 3.4.1.1. Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait Janka sertlik değerleri

Doğal meşcereden temin edilen dişbudak odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin enine, teğet ve radyal kesitteki ortalama sertlik değerleri ve istatistiki veriler Çizelge 3.54-56'da gösterilmektedir.

**Çizelge 3.54.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama enine kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		105,86	<i>ab</i> *	8,59	90,39	116,22	10,829	0,000
120	3	103,42	<i>ab</i>	7,79	88,92	114,05		
	6	101,22	<i>bc</i>	8,44	90,74	113,02		
	9	97,69	<i>c</i>	6,84	86,80	111,08		
160	3	108,95	<i>a</i>	7,83	96,72	124,68		
	6	97,17	<i>c</i>	8,61	84,75	108,63		
	9	95,98	<i>c</i>	9,71	81,15	111,21		
190	3	104,50	<i>ab</i>	9,83	86,24	118,71		
	6	105,02	<i>ab</i>	8,86	93,03	120,99		
	9	97,32	<i>c</i>	7,55	87,34	113,50		
210	3	104,18	<i>ab</i>	8,50	88,89	116,06		
	6	86,91	<i>d</i>	9,15	73,19	100,56		
	9	89,14	<i>d</i>	10,06	73,58	104,33		

\* : Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

Doğal meşcereden alınan dişbudak odunu kontrol örneklerine ait ortalama enine, teğet ve radyal sertlik değerleri sırası ile 105,86 N/mm<sup>2</sup>, 70,88 N/mm<sup>2</sup> ve 66,63 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine paralel olarak, kontrol örneklerine kıyasla enine, teğet ve radyal sertlik değerlerindeki azalmalar sınırlı kalmıştır. Posnak ve diğ. (2006) yapmış oldukları bir çalışmalarında, 200°C'nin altında çok düşük miktarda da olsa artışlar tespit etmişlerdir.

**Çizelge 3.55.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama teğet kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		70,88	<i>bc</i>	3,70	65,72	75,90	13,288	0,000
120	3	71,92	<i>b</i>	5,31	64,63	80,96		
	6	66,57	<i>de</i>	4,61	61,18	76,34		
	9	68,99	<i>bcd</i>	3,28	63,50	75,68		
160	3	76,63	<i>a</i>	4,68	67,54	85,69		
	6	66,04	<i>de</i>	4,79	59,39	75,79		
	9	67,38	<i>cde</i>	6,58	56,38	78,27		
190	3	67,68	<i>cde</i>	6,31	57,72	79,84		
	6	67,78	<i>cde</i>	5,04	59,50	75,69		
	9	65,11	<i>e</i>	6,96	53,51	75,12		
210	3	67,46	<i>cde</i>	6,17	53,60	76,16		
	6	61,66	<i>f</i>	5,51	50,80	72,24		
	9	58,99	<i>f</i>	5,71	49,17	68,03		

**Çizelge 3.56.** Doğal meşcereden alınan dişbudak odununa ait ortalama radyal kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		66,63	<i>bc</i>	3,87	61,77	73,59	19,034	0,000
120	3	65,81	<i>bc</i>	4,92	58,51	73,88		
	6	63,94	<i>c</i>	3,92	58,15	69,25		
	9	66,42	<i>bc</i>	3,59	58,53	72,35		
160	3	73,25	<i>a</i>	4,57	62,46	79,12		
	6	59,12	<i>d</i>	4,19	51,44	65,44		
	9	63,33	<i>c</i>	5,45	55,69	71,66		
190	3	67,68	<i>b</i>	6,31	57,72	79,84		
	6	64,09	<i>c</i>	5,49	54,69	74,11		
	9	59,85	<i>d</i>	6,80	48,02	71,60		
210	3	63,66	<i>c</i>	5,97	49,55	71,50		
	6	55,70	<i>e</i>	5,29	46,13	64,06		
	9	53,89	<i>e</i>	5,51	46,64	62,67		



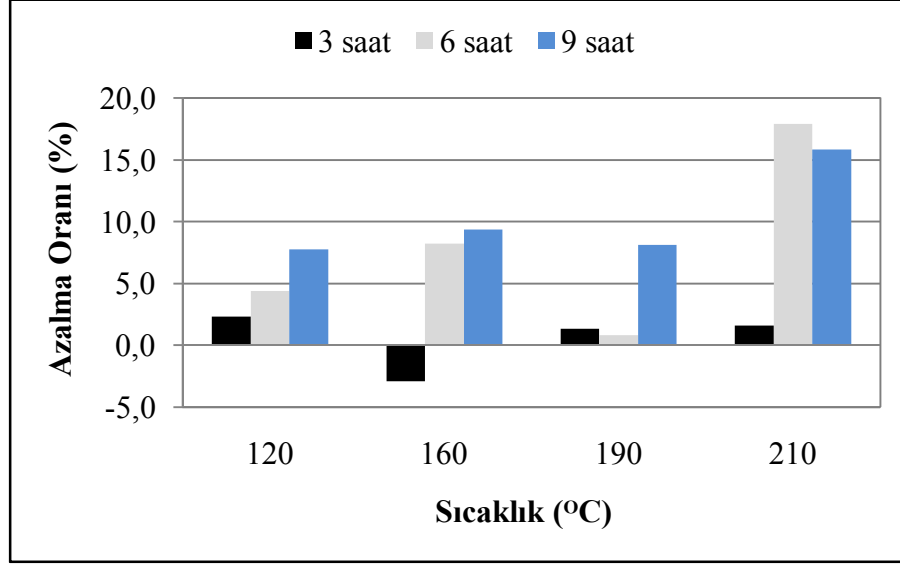
Sertlik örneklerine uygulanan hiçbir ısıl işlem kademesinde kömürleşme meydana gelmemiştir. Her üç kesite ait en düşük ortalama sertlik değerleri 210°C’de 6 ve 9 saatlik uygulamalarda meydana gelmiş olup, bu değerler istatistiksel olarak diğerlerinden farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Kocaefe ve diğ. (2008a) yapmış oldukları çalışmalarında 200°C’nin altındaki sıcaklıklarda huş odunu radyal ve teğet yöndeki sertliklerinin kısmen arttığını, ancak sıcaklığın 200°C ve üzerine çıkması ile sertlik değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Sertlik değerlerindeki artışlar, bu sıcaklıklarda ligninin alt dallara ayrılması (ramification) ile ilgili olduğu ifade edilmektedir (Nuopponen ve diğ. 2004, Repellin and Guyonnet 2005, Hakkou ve diğ. 2005). Ayrıca amorf hemiselülozların parçalanması nedeni ile kristalin selüloz oranının artması 200°C’nin altında sertlik değerlerini de artırmış olabilir (Sinoven ve diğ. 2002).

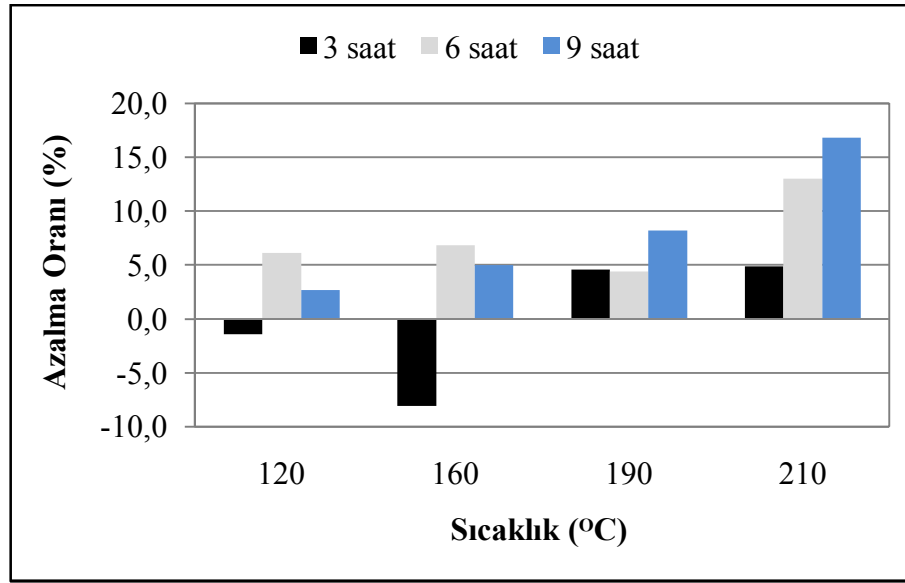
Birbirine yakın değerler veren (kontrol ve test örnekleri) enine, teğet ve radyal kesit sertlik değerlerinin genel ortalaması (ilk değer kontrol, ikinci değer ise test örneklerine ait genel ortalama olmak üzere) sırası ile 105,86-99,29 N/mm<sup>2</sup>, 70,88-67,18 N/mm<sup>2</sup> ve 66,63-63,06 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

BVA sonuçlarına göre, her bir varyasyonun ortalama enine, teğet ve radyal sertlik değerleri arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlardan kaynaklandığını ortaya koymak için Duncan testi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre, her üç kesitin 210°C’de 6 ve 9 saatlik uygulamalarında elde edilen sertlik değerleri ile kontrol örnekleri %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak farklı, ancak kendi aralarında ise fark bulunmamıştır ( $p<0,05$ ).

Doğal meşcereden alınan dişbudak odunlarının ısıl işlem sonrası, kontrol örneklerine oranla test örneklerinin enine, teğet ve radyal kesitine ait sertlik değerlerinde meydana gelen azalma oranları sırası ile Şekil 3.24-26’da görülmektedir.

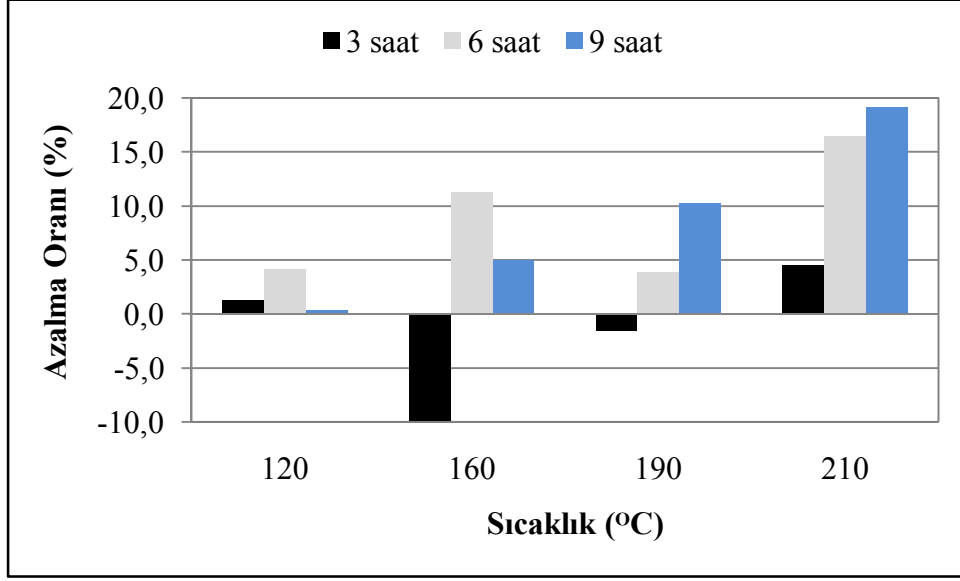


**Şekil 3.24.** Doğal meşcereden temin edilerek ısı işlem uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla enine kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.



**Şekil 3.25.** Doğal meşcereden temin edilerek ısı işlem uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla teğet kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Doğal dişbudak odunu enine kesit test örneklerinden 160°C'de 3 saatlik (%2,91), teğet kesitte 120 ve 160°C'de 3 saatlik (%1,47 ve %8,10) ve radyal kesitte ise 160 ve 190°C'de 3 saatlik (%9,92 ve %1,56) uygulamalarda elde edilen sertlik değerlerinde, kontrol örneklerine kıyasla artışlar gözlenmiştir.



**Şekil 3.26.** Doğal meşcereden temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla radyal kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Enine kesitte 210°C’de 6 saatlik uygulamada, teğet ve radyal kesite ise 210°C’de 9 saatlik uygulamada en düşük Janka sertlik değerleri elde edilmiştir (86,91 N/mm<sup>2</sup>, 58,99 N/mm<sup>2</sup> ve 53,89 N/mm<sup>2</sup>). En düşük sertlik değerlerinin elde edildiği bu varyasyonlarda, kontrol örneklerine oranla meydana gelen azalma oranları enine kesitte %17,90, teğet kesitte %16,78 ve radyal kesitte ise %19,13 olmuştur (Şekil 3.24-26). Meydana gelen azalmaların, daha önceki çalışmalarda yüksek sıcaklık sonucu odunda oluşan ağırlık kayıpları ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Poncsak ve diğ. 2006, Kocaefe ve diğ. 2007b). Cao ve diğ. (2012) Çin göknarı öz ve diri odununa uyguladığı ısıl işlem sonucu 175-200°C sıcaklıklar arasında sertlik değerlerinde bir miktar artışın (%3-27) meydana geldiği, ancak sıcaklığın (215-230°C) ve sürenin (1-5 saat) artması ile birlikte sertlik değerlerinde azalmalar (%5-26) tespit etmişlerdir.

#### 3.4.1.2. Plantasyon (3x2,5m) ormanından alınan dişbudak odununa ait Janka sertlik değerleri

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dişbudak odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin enine, teğet ve radyal kesitteki ortalama sertlik değerleri ve istatistikî veriler Tablo 3.57-59’da verilmektedir.

**Çizelge 3.57.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama enine kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		102,27	<i>a</i> *	8,46	83,93	111,38	19,960	0,000
120	3	92,91	<i>cd</i>	8,74	79,45	102,55		
	6	95,35	<i>c</i>	7,11	81,60	110,72		
	9	96,25	<i>bc</i>	8,47	82,29	109,37		
160	3	101,36	<i>ab</i>	8,10	89,08	112,15		
	6	88,46	<i>de</i>	7,17	77,79	104,43		
	9	89,12	<i>de</i>	8,98	71,56	102,48		
190	3	97,48	<i>abc</i>	8,17	83,59	115,43		
	6	97,45	<i>abc</i>	8,44	79,86	111,00		
	9	96,21	<i>bc</i>	8,49	85,66	110,99		
210	3	84,71	<i>ef</i>	7,04	73,66	95,01		
	6	76,16	<i>g</i>	9,21	60,30	87,46		
	9	79,96	<i>fg</i>	7,99	63,17	92,17		

\* : Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

**Çizelge 3.58.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama teğet kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		59,09	<i>de</i>	3,50	52,30	65,13	27,972	0,000
120	3	59,75	<i>cd</i>	4,93	51,23	66,89		
	6	59,41	<i>de</i>	3,69	52,07	65,61		
	9	62,41	<i>bc</i>	3,67	56,30	67,82		
160	3	68,09	<i>a</i>	6,14	58,43	76,85		
	6	55,34	<i>fg</i>	4,19	49,80	62,06		
	9	56,32	<i>ef</i>	4,76	46,01	63,02		
190	3	63,40	<i>b</i>	5,47	52,58	70,69		
	6	59,30	<i>de</i>	5,81	46,98	67,53		
	9	57,75	<i>def</i>	5,74	47,31	65,39		
210	3	52,60	<i>g</i>	4,83	46,46	62,91		
	6	48,33	<i>h</i>	3,68	41,15	53,49		
	9	46,44	<i>h</i>	3,79	37,49	51,96		

**Çizelge 3.59.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama radyal kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		60,41	<i>b</i>	4,64	51,54	64,82	39,331	0,000
120	3	56,39	<i>cd</i>	3,70	50,27	62,61		
	6	54,37	<i>de</i>	4,55	46,59	65,17		
	9	57,67	<i>bc</i>	4,22	51,34	65,07		
160	3	64,93	<i>a</i>	4,34	57,97	71,74		
	6	50,73	<i>f</i>	3,96	44,78	59,21		
	9	52,07	<i>ef</i>	4,69	41,87	58,37		
190	3	60,11	<i>b</i>	4,28	51,66	67,10		
	6	57,63	<i>bc</i>	4,93	47,92	65,75		
	9	54,45	<i>de</i>	5,01	44,59	62,84		
210	3	49,55	<i>f</i>	4,51	44,49	61,54		
	6	45,18	<i>g</i>	3,66	37,09	49,95		
	9	42,28	<i>h</i>	3,63	33,66	50,21		

Isıl işlem uygulanmamış enine kesit kontrol örneklerine ait ortalama sertlik değeri 102,27 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Bu değer ısıl işleme uğratılmış tüm varyasyonlarda elde edilen sertlik değerlerinden yüksek olup, 160°C’de 3 saat ile 190°C’de 3 ve 6 saatlik uygulamalar hariç diğer tüm varyasyonlardan istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak enine sertlik değerlerinde kısmen bir azalma meydana gelmiştir. En düşük enine sertlik değeri (76,16 N/mm<sup>2</sup>) 210°C’deki 6 saatlik ısıl işlem uygulamasında elde edilmiştir.

Dişbudak kontrol örneklerine ait teğet ve radyal kesit sertlik değerleri birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir (59,09 N/mm<sup>2</sup> ve 60,41 N/mm<sup>2</sup>). Isıl işlem sıcaklığının artışına bağlı olarak teğet kesit sertlik değerlerinde küçük artışlar olmasına rağmen, sıcaklığın 210°C’ye çıkarılması ile teğet kesit sertlik değerlerinde belirgin azalmalar meydana gelmiştir.

Isıl işlem sıcaklığının etkisi radyal kesite ait sertlikte daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle 160°C’de 3 saatlik varyasyon hariç diğer tüm sıcaklık ve süre uygulamalarında elde edilen radyal kesit sertlik değerleri, kontrol örneklerine oranla

daha düşük çıkmıştır. En düşük radyal kesit sertlik değeri, enine ve teğet kesitte olduğu gibi 210°C’de elde edilmiştir (42,28 N/mm<sup>2</sup>). Akyıldız ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmalarda, ısıtma işlem sıcaklığının ve süresinin karaçam odunu sertlik değerlerine etkisi benzer sonuçlar vermiştir. Özellikle 180°C’de her üç kesit sertlik değerlerinde de kısmi bir artış görülmüş iken artan muamele şartları sertlik değerlerinde azalmalara neden olmuştur. Bu sonuçlar, yüksek sıcaklık uygulamasına bağlı olarak hücre duvarında meydana gelen madde kayıpları ve hemiselülozun bozunması ile açıklanmaktadır.

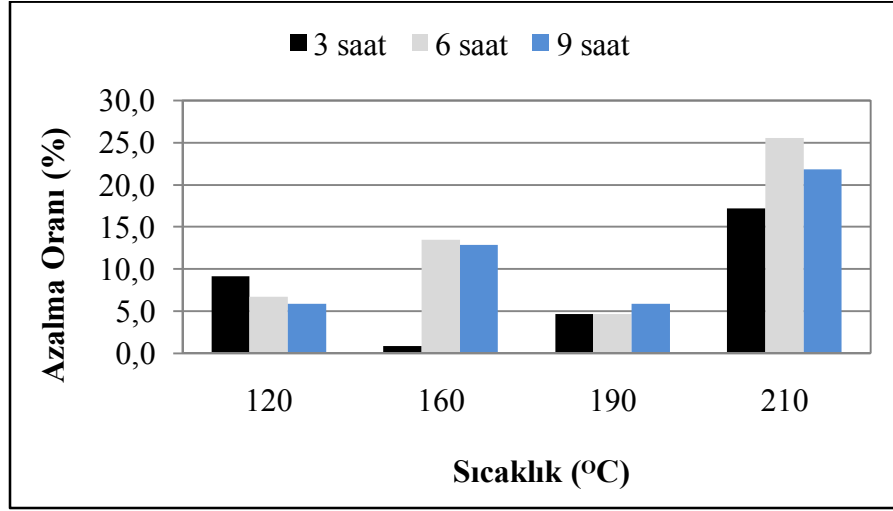
BVA sonuçlarına bakıldığında, plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen her bir varyasyonun ortalama enine, teğet ve radyal sertlik değerleri arasındaki farklılığın %95 güven düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır. Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, en düşük enine kesit sertlik değerleri veren 210°C’ye ait tüm varyasyonlar, kendi aralarında istatistiksel olarak fark yok iken, kontrol örneklerinden farklı bulunmuştur. 120 ve 190°C’ye ait tüm enine kesit sertlik değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (p<0,05). Enine kesitte olduğu gibi teğet ve radyal kesit sertlik değerleri en düşük olan 210°C’ye ait tüm varyasyonlar ile kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak fark vardır.

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dişbudak odunlarının ısıtma işlem sonrası, kontrol örneklerine oranla test örneklerinin enine, teğet ve radyal kesimine ait sertlik değerlerinde meydana gelen azalma oranları sırası ile Şekil 3.27-29’da görülmektedir.

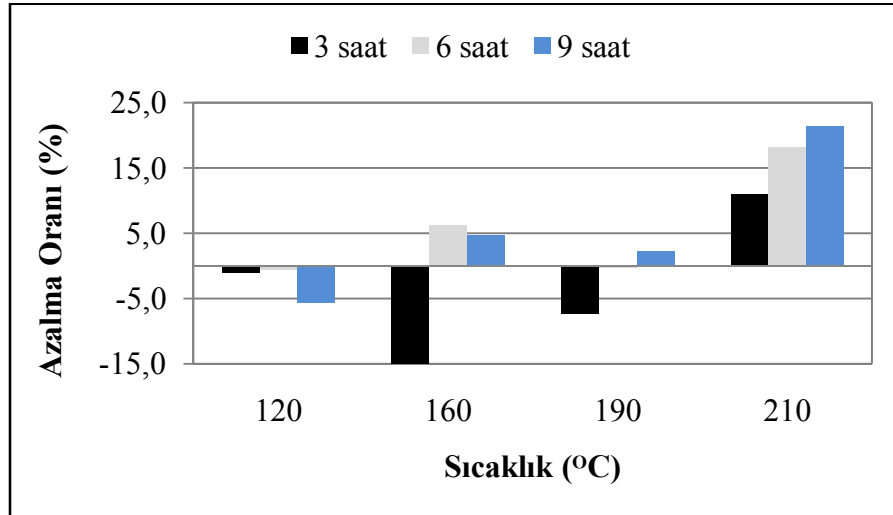
Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dişbudak odununda enine kesit sertlik değerleri ısıtma işlemin bütün varyasyonlarında azalmıştır. Sertlik kaybının en düşük olduğu varyasyonlar 160°C’de 3 saat (%0,89), 190°C’de 3 (%4,68) ve 6 saatlik (%4,71) uygulamalardır. Enine sertlik kaybının en yüksek olduğu uygulamalar ise 210°C’de 6 ve 9 saatlik ısıtma işlem varyasyonları olup, kayıp oranları sırası ile %25,53 ve %21,81’dir (Şekil 3.27).

Teğet kesitteki sertlik değerleri ilk dört varyasyonda kontrole kıyasla, ısıtma işlem sıcaklık ve sürenin artışına paralel olarak artış göstermiştir. En fazla artış oranı 160°C’de 3 saatlik uygulamada %15,22 olmuştur. Bu uygulamayı takiben %7,3’lük artışla

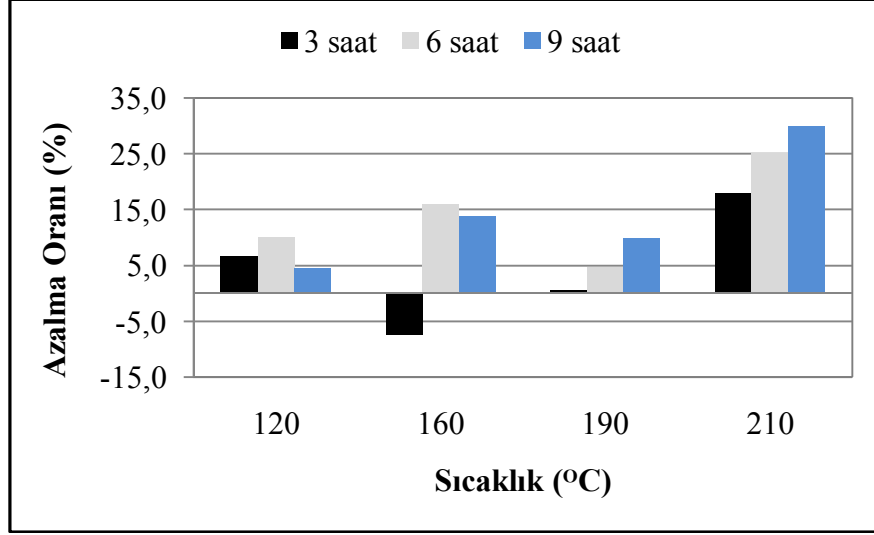
190°C’de 3 saatlik varyasyon takip etmiştir. Diğer artış oranları ise %5’in altında sınırlı kalmıştır. Son dört uygulamaya ait sertlik değerlerinde ise ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak azalmalar meydana gelmiştir. En fazla azalma 210°C’de 9 saatlik (%21,4) uygulamada elde edilmiştir (Şekil 3.28).



**Şekil 3.27.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla enine kesit sertlik değerlerinde meydana gelen azalma oranları.



**Şekil 3.28.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla teğet kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.



**Şekil 3.29.** Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla radyal kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Radyal kesit sertlik değerlerine ait azalma oranları sıcaklık ve sürenin artışına paralel bir durum sergilememektedir. 160°C’de 3 saatlik uygulamaya ait sertlik değerinde %7,48’lik bir artış gözlenirken, diğer bütün varyasyonlarda azalmalar kaydedilmiştir. En yüksek azalma oranları teğet kesitte olduğu gibi 210°C’de 6 ve 9 saatlik uygulamalarda sırası ile %25 ve %30 olmuştur (Şekil 3.29).

Bakar ve diğ. (2013) çeşitli ağaç türlerine, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işlem uygulaması sonucu, tüm test örneklerine ait yarıma ve sertlik dirençleri olumsuz etkilenmiştir. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında, sertlik değerleri azalma oranları %11-33 arasında değiştiği ifade edilmektedir. Bazı deney örnekleri uygulanan basınç nedeni ile kırılıp yarılmıştır. Bu durum, hücre duvarı bileşenlerinin kimyasal değişimi nedeni artan kırılabilirlik ile açıklanmaktadır. Bu nedenle ısıl işlem görmüş ağaç malzemeler, binalarda yük taşıyıcı olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir.

#### 3.4.1.3. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait Janka sertlik değerleri

Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dışbudak odunu test örnekleri ile kontrol örneklerinin enine, teğet ve radyal kesitteki ortalama sertlik değerleri ve istatistikî veriler Tablo 3.60-62’de sunulmaktadır.



**Çizelge 3.60.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama enine kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		95,40	<i>ab</i> *	7,61	83,72	106,24	23,869	0,000
120	3	92,06	<i>b</i>	7,83	82,00	102,21		
	6	86,12	<i>cd</i>	6,46	73,74	97,96		
	9	94,96	<i>ab</i>	7,54	79,57	106,60		
160	3	98,62	<i>a</i>	7,15	85,64	110,87		
	6	87,08	<i>c</i>	6,40	76,74	106,43		
	9	84,46	<i>cd</i>	8,53	72,51	101,88		
190	3	94,01	<i>ab</i>	9,26	82,81	107,77		
	6	94,77	<i>ab</i>	7,12	82,86	105,60		
	9	94,27	<i>ab</i>	9,12	80,57	112,59		
210	3	81,21	<i>d</i>	9,09	67,95	95,72		
	6	71,27	<i>e</i>	6,00	62,13	79,57		
	9	72,97	<i>e</i>	6,35	58,34	82,99		

\* Sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05).

**Çizelge 3.61.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dışbudak odununa ait ortalama teğet kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		56,52	<i>cde</i>	4,28	51,19	62,93	38,195	0,000
120	3	58,29	<i>bc</i>	4,55	49,13	65,82		
	6	53,74	<i>de</i>	3,02	48,28	58,58		
	9	56,64	<i>cd</i>	3,84	47,50	62,60		
160	3	62,99	<i>a</i>	2,70	57,59	68,39		
	6	53,62	<i>e</i>	3,41	48,70	62,55		
	9	49,24	<i>f</i>	4,70	44,08	58,45		
190	3	59,56	<i>b</i>	4,37	54,02	64,91		
	6	56,61	<i>cd</i>	5,34	44,94	64,39		
	9	56,77	<i>c</i>	4,99	47,88	63,63		
210	3	46,05	<i>g</i>	4,02	39,63	52,70		
	6	42,41	<i>h</i>	3,74	36,51	47,48		
	9	44,17	<i>gh</i>	3,76	37,74	50,24		

**Çizelge 3.62.** Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odununa ait ortalama radyal kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	$\chi$	HG	s	Min.	Mak.	F-Oranı	P-Değeri
Kontrol		54,69	<i>bc</i>	3,81	49,69	59,98	49,566	0,000
120	3	55,89	<i>bc</i>	4,13	47,62	63,45		
	6	51,25	<i>d</i>	2,85	45,84	55,67		
	9	54,89	<i>bc</i>	3,23	47,29	59,73		
160	3	61,33	<i>a</i>	3,60	53,75	66,76		
	6	50,24	<i>d</i>	3,33	44,72	58,66		
	9	45,89	<i>e</i>	4,04	40,77	53,98		
190	3	57,47	<i>b</i>	4,55	50,98	63,54		
	6	54,55	<i>c</i>	5,74	41,42	63,63		
	9	54,22	<i>c</i>	4,58	45,20	61,21		
210	3	43,49	<i>ef</i>	3,88	37,45	50,17		
	6	38,86	<i>g</i>	3,11	33,16	42,73		
	9	41,49	<i>f</i>	3,85	34,68	47,78		

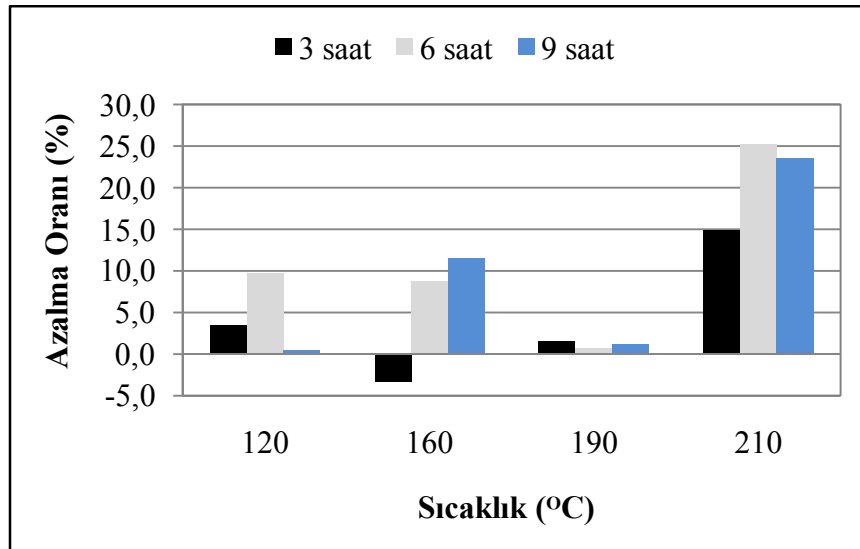
Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odunu kontrol örneklerine ait ortalama enine, teğet ve radyal sertlik değerleri sırası ile 95,40 N/mm<sup>2</sup>, 56,52 N/mm<sup>2</sup> ve 54,69 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Kontrol örneklerine ait enine kesit sertlik değeri, 160°C’de 3 saatlik uygulamanın dışındaki tüm varyasyonlardan yüksek bulunmuştur. Enine kesit sertlik değerlerinde 190°C’ye kadar önemli bir düşüş gözlenmemiş olup, özellikle 210°C’de azalmalar daha belirgin bir hal almıştır.

Teğet kesit sertlik değerlerinde özellikle 190°C’ye kadar 160°C’de 9 saatlik uygulama hariç, önemli bir azalma meydana gelmemiş olup, genellikle artan bir eğilim gözlenmiştir. Ancak enine kesitte olduğu gibi 210°C’de 3 saatlik ısı işleminden sonra önemli kayıplar ortaya çıkmıştır. Radyal kesitte de teğet kesitte olduğu gibi 210°C’ye kadar önemli sertlik değer kayıpları meydana gelmemiş olup yalnız 160°C’de 9 saatlik ısı işlem uygulamasında istatistiksel olarak önemli bir azalma meydana gelmiştir. Zdravko ve diğ. (2008) 170 ve 190°C’de 4 saat ısı işlem uygulaması olduğu meşe öz ve diri odun örneklerinde, kontrol örneklerine kıyasla radyal kesit sertlik değerlerinde %4’lük bir artış belirlemişlerdir. Her üç kesitte de en düşük sertlik değerleri 210°C’de 6

saatlik varyasyonda gerçekleşmiş olup, sırası ile 71,27 N/mm<sup>2</sup>, 42,41 N/mm<sup>2</sup> ve 38,86 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

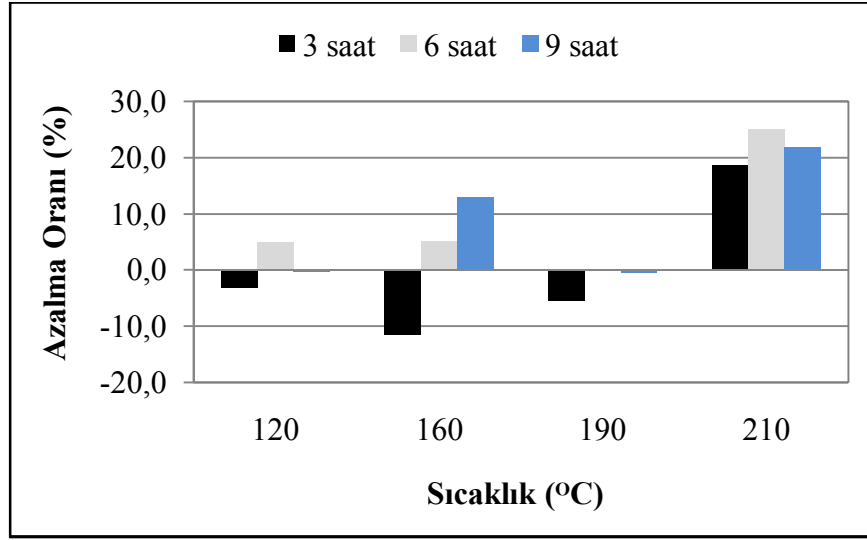
BVA sonuçlarına bakıldığında, plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen her bir varyasyonun ortalama enine, teğet ve radyal sertlik değerleri arasındaki farklılığın %95 güven düzeyinde önemli olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 3.60-62). Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre, her üç kesitte (enine, teğet ve radyal) en düşük sertlik değerleri veren 210°C'ye ait varyasyonlar, kontrol ve test örneklerinden istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Enine kesit sertlik değerlerinin 190°C'nin tüm varyasyonları ile kontrol örnekleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ( $p < 0,05$ ). Teğet kesitte, 120°C'nin tüm varyasyonları kontrol örnekleri arasında, radyal kesitte ise 190°C'nin tüm varyasyonları ile kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak fark yoktur.

Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan dişbudak odunlarının ısıtma işlem sonrası test örneklerinin enine, teğet ve radyal kesitlerine ait sertlik değerlerinde meydana gelen azalma oranları sırası ile Şekil 3.30-32'de görülmektedir.



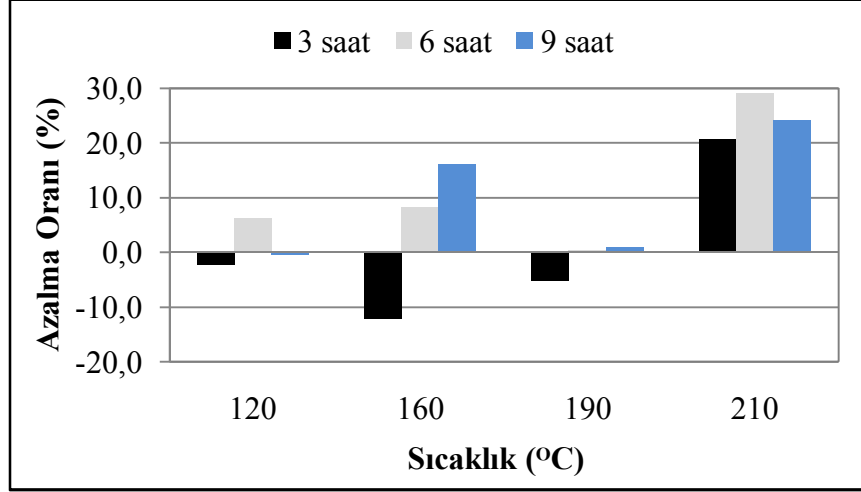
**Şekil 3.30.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıtma uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla enine kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilen dişbudak odununun, enine kesit sertlik değeri 160°C’de 3 saatlik uygulamada artış göstermiştir (%3,38). Bunun dışındaki tüm varyasyonların enine kesit sertlik değerinde azalmalar tespit edilmiştir. 190°C’deki tüm varyasyonlara ait azalma oranları önemsiz denecek kadar küçük çıkmıştır (Şekil 3.30). 120 ve 160°C’de en yüksek azalma oranı %10 civarında kalmış iken sıcaklığın 210°C’ye çıkması ile enine kesit sertlik değerlerinde gözle görülür kayıplar ortaya çıkmıştır. Bu sıcaklıkta en yüksek ağırlık kaybı %25,29 ile 210°C’de 6 saatlik uygulamada gerçekleşmiştir.



**Şekil 3.31.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dişbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla teğet kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Teğet kesit sertlik değerleri, 120, 160 ve 190°C’lere ait 3 saatlik uygulamalarda artışlar gözlenmiş olup, en yüksek artış 160°C’de elde edilmiştir (%11,45). 210°C’ye kadar olan diğer varyasyonlarda 160°C’de 9 saatlik uygulama dışında teğet kesit sertlik değerlerindeki değişim sınırlı kalmıştır. Diğer kesitlerde de olduğu gibi 210°C’deki uygulamalarda sertlik değerlerinde sert düşüşler meydana gelmiş olup en yüksek azalma 210°C’de 6 saatlik uygulamada meydana gelmiştir (%24,96).



**Şekil 3.32.** Plantasyon (4x4 m) ormanından temin edilerek ısıl işlem uygulanmış dışbudak test örneklerinde, kontrol örneklerine oranla radyal kesit sertlik değerlerinde meydana gelen artma-azalma oranları.

Radyal kesit sertlik değerlerindeki değişim diğer (enine ve teğet) kesitlere benzer bir şekilde ortaya çıkmıştır. 210°C'ye kadar radyal kesit sertlik değerlerindeki değişim belirgin olmayıp, bu sıcaklıklardaki en yüksek azalma oranı 160°C'de 9 saatlik uygulamada (%16,09) tespit edilmiştir. 120, 160 ve 190°C'de 3 saatlik ısıl işlem uygulamaları sonucu radyal kesit sertlik değerlerinde artışlar meydana gelmiş olup, sırası ile %2,21, %12,14 ve %5,09 olarak gerçekleşmiştir. 210°C'deki tüm varyasyonlarda radyal kesit sertlik değerlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalma oranı diğer kesitlerin üzerinde çıkmış olup, en yüksek %28,94 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.32).

Kocaefe ve diğ. (2008b) Bois Perdure (Fransa) yöntemi kullanarak kavak ve çam odunlarına ısıl işlem uygulamışlardır. Isıl işlem sonrası test örnekleri, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında çam odunu enine (%14), teğet (%10), radyal (%10) ve kavak odunu enine kesit (%17) sertlik değerlerinde artışlar var iken kavak odunu teğet (%13) ve radyal kesit (%24) sertlik değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda elde edilen sertlik değerlerindeki artışlar, hemiselüloz ve ligninin bozunarak yeni ürünlere dönüşmesine neden olan kondenzasyon reaksiyonlarına dayandırılmaktadır. Selüloz 200°C'de bozunmaya başlar, amorf kısımlar parçalanıp, formik ve asetik asit meydana gelir. Bu durum sertlikte azalmalara neden olur (Sundqvist 2004).

Üç farklı meşcereden temin edilip, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtılma tabii tutulmuş dişbudak test ve kontrol örneklerinin, enine, teğet ve radyal kesit sertlik değerlerine ait istatistiksel değerlendirme sonuçları sırası ile Çizelge 3.63-65'te, ÇVA sonuçları ise Çizelge 3.66'da verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, ısıtılma tabii tutulmamış kontrol örneklerinde en yüksek ortalama enine kesit sertlik değerleri doğal ve 3x2,5 m'lerde tespit edilmiş olup 4x4 m ile aralarında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde farklı bulunmuştur. Farklı sıcaklıklarda ısıtılma tabii tutulmuş odun örneklerinde ise sıcaklığın 120°C'den 210°C'ye çıkarıldığı her üç ısıtılma süresinde de doğal meşcereye ait odun örneklerinin enine kesit sertlik değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Genel itibari ile 3x2,5 m ve 4x4 m dikim aralıklarına ait enine sertlik değerleri bakımından istatistiksel olarak fark olmayıp, doğal meşcere ile karşılaştırıldığında ise belli oranlarda azalmalar olduğu söylenebilir. Bütün ısıtılma işlem uygulamaları göz önüne alındığında 210°C'de 9 saatlik uygulamada enine kesit sertlik değerleri bakımından üç meşcere arasında istatistiksel olarak fark var iken, 120 ve 190°C'de 9 saatlik ısıtılma işlem uygulamalarında ise her üç meşcere arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır (Çizelge 3.63).

Muamele görmemiş kontrol örneklerine ait teğet kesit sertlik değerlerine bakıldığında, enine kesitte olduğu gibi en yüksek sertlik değerleri doğal meşcerede elde edilmiş olup, bunu sırası ile aralarında istatistiksel olarak fark bulunmayan 3x2,5 m ve 4x4 m takip etmiştir. ısıtılma uğratılmış test örneklerinde, tüm ısıtılma sıcaklık ve süre uygulamalarında en yüksek teğet kesit sertlik değeri, kontrol örneklerine benzer şekilde doğal meşcerede tespit edilmiş olup, istatistiksel olarak diğer iki meşcereden farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Artan ısıtılma sıcaklık ve süresine bağlı olarak doğal meşcereye ait azalmalar 210°C'de 6 ve 9 saatlik uygulamalarda belirgin hale gelir iken, 3x2,5 m ve 4x4 m'de ise 210°C'de 3, 6 ve 9 saatlik uygulamalarda ortaya çıkmıştır. Priadi ve Hızıroğlu (2013) çeşitli ağaç türlerine 130 ve 200°C sıcaklıklarda ısıtılma işlem uyguladıkları çalışmalarında, tüm test örneklere ait teğet kesit Janka sertlik değerleri hücre duvarının bozunması nedeni ile olumsuz etkilenmiştir.

**Çizelge 3.63.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait enine kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	Kontrol	105,86	<i>ab*</i>	8,59	90,39	116,22	105,86	<i>ab*</i>	8,59	90,39	116,22	105,86	<i>ab*</i>	8,59	90,39	116,22
		102,27	<i>bcde</i>	8,46	83,93	111,38	102,27	<i>bcde</i>	8,46	83,93	111,38	102,27	<i>bcde</i>	8,46	83,93	111,38
		95,40	<i>fgh</i>	7,61	83,72	106,24	95,40	<i>fgh</i>	7,61	83,72	106,24	95,40	<i>fgh</i>	7,61	83,72	106,24
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	120	103,42	<i>abcd</i>	7,79	88,92	114,05	101,22	<i>bcdef</i>	8,44	90,74	113,02	97,69	<i>defgh</i>	6,84	86,80	111,08
		92,91	<i>ghij</i>	8,74	79,45	102,55	95,35	<i>fgh</i>	7,11	81,60	110,72	96,25	<i>efgh</i>	8,47	82,29	109,37
		92,06	<i>hijk</i>	7,83	82,00	102,21	86,12	<i>lm</i>	6,46	73,74	97,96	94,96	<i>ghi</i>	7,54	79,57	106,60
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	160	108,95	<i>a</i>	7,83	96,72	124,68	97,17	<i>efgh</i>	8,61	84,75	108,63	95,98	<i>fgh</i>	9,71	81,15	111,21
		101,36	<i>bcdef</i>	8,10	89,08	112,15	88,46	<i>jkl</i>	7,17	77,79	104,43	89,12	<i>ijkl</i>	8,98	71,56	102,48
		98,62	<i>cdefg</i>	7,15	85,64	110,87	87,08	<i>kl</i>	6,40	76,74	106,43	84,46	<i>lmn</i>	8,53	72,51	101,88
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	190	104,50	<i>abc</i>	9,83	86,24	118,71	105,02	<i>ab</i>	8,86	93,03	120,99	97,32	<i>defgh</i>	7,55	87,34	113,50
		97,48	<i>defgh</i>	8,17	83,59	115,43	97,45	<i>defgh</i>	8,44	79,86	111,00	96,21	<i>efgh</i>	8,49	85,66	110,99
		94,01	<i>ghij</i>	9,26	82,81	107,77	94,77	<i>ghi</i>	7,12	82,86	105,60	94,27	<i>ghij</i>	9,12	80,57	112,59
Doğal 3x2,5 m 4x4 m	210	104,18	<i>abc</i>	8,50	88,89	116,06	86,91	<i>kl</i>	9,15	73,19	100,56	89,14	<i>ijkl</i>	10,06	73,58	104,33
		84,71	<i>lmn</i>	7,04	73,66	95,01	76,16	<i>op</i>	9,21	60,30	87,46	79,96	<i>no</i>	7,99	63,17	92,17
		81,21	<i>mno</i>	9,09	67,95	95,72	71,27	<i>p</i>	6,00	62,13	79,57	72,97	<i>p</i>	6,35	58,34	82,99
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		23,60/0,000														

\*Sütunda ve satırda aynı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0,05). **HG:** Homojenlik grubu.

**Çizelge 3.64.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait teğet kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal	Kontrol	70,88	<i>bc</i>	3,70	65,72	75,90	70,88	<i>bc</i>	3,70	65,72	75,90	70,88	<i>bc</i>	3,70	65,72	75,90
3x2,5 m		59,09	<i>ijk</i>	3,50	52,30	65,13	59,09	<i>ijk</i>	3,50	52,30	65,13	59,09	<i>ijk</i>	3,50	52,30	65,13
4x4 m		56,52	<i>klm</i>	4,28	51,19	62,93	56,52	<i>klm</i>	4,28	51,19	62,93	56,52	<i>klm</i>	4,28	51,19	62,93
Doğal	120	71,92	<i>b</i>	5,31	64,63	80,96	66,57	<i>de</i>	4,61	61,18	76,34	68,99	<i>bcd</i>	3,28	63,50	75,68
3x2,5 m		59,75	<i>ijk</i>	4,93	51,23	66,89	59,41	<i>ijk</i>	3,69	52,07	65,61	62,41	<i>ghi</i>	3,67	56,30	67,82
4x4 m		58,29	<i>jkl</i>	4,55	49,13	65,82	53,74	<i>mn</i>	3,02	48,28	58,58	56,64	<i>klm</i>	3,84	47,50	62,60
Doğal	160	76,63	<i>a</i>	4,68	67,54	85,69	66,04	<i>def</i>	4,79	59,39	75,79	67,38	<i>de</i>	6,58	56,38	78,27
3x2,5 m		68,09	<i>cde</i>	6,14	58,43	76,85	55,34	<i>lmn</i>	4,19	49,80	62,06	56,32	<i>klm</i>	4,76	46,01	63,02
4x4 m		62,99	<i>fgh</i>	2,70	57,59	68,39	53,62	<i>mn</i>	3,41	48,70	62,55	49,24	<i>o</i>	4,70	44,08	58,45
Doğal	190	67,68	<i>cde</i>	6,31	57,72	79,84	67,78	<i>cde</i>	5,04	59,50	75,69	65,11	<i>efg</i>	6,96	53,51	75,12
3x2,5 m		63,40	<i>fgh</i>	5,47	52,58	70,69	59,30	<i>ijk</i>	5,81	46,98	67,53	57,75	<i>kl</i>	5,74	47,31	65,39
4x4 m		59,56	<i>ijk</i>	4,37	54,02	64,91	56,61	<i>klm</i>	5,34	44,94	64,39	56,77	<i>klm</i>	4,99	47,88	63,63
Doğal	210	67,46	<i>de</i>	6,17	53,60	76,16	61,66	<i>hij</i>	5,51	50,80	72,24	58,99	<i>ijk</i>	5,71	49,17	68,03
3x2,5 m		52,60	<i>n</i>	4,83	46,46	62,91	48,33	<i>op</i>	3,68	41,15	53,49	46,44	<i>opr</i>	3,79	37,49	51,96
4x4 m		46,05	<i>pr</i>	4,02	39,63	52,70	42,41	<i>s</i>	3,74	36,51	47,48	44,17	<i>rs</i>	3,76	37,74	50,24
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		57,25/0,000														



**Çizelge 3.65.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dişbudak odununa ait radyal kesit sertlik değerleri (N/mm<sup>2</sup>).

Bölge	Sıcaklık (°C)	3 saat					6 saat					9 saat				
		x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.	x	HG	s	Min.	Mak.
Doğal	Kontrol	66,63	<i>bc</i>	3,87	61,77	73,59	66,63	<i>bc</i>	3,87	61,77	73,59	66,63	<i>bc</i>	3,87	61,77	73,59
3x2,5 m		60,41	<i>fgh</i>	4,64	51,54	64,82	60,41	<i>fgh</i>	4,64	51,54	64,82	60,41	<i>fgh</i>	4,64	51,54	64,82
4x4 m		54,69	<i>jklm</i>	3,81	49,69	59,98	54,69	<i>jklm</i>	3,81	49,69	59,98	54,69	<i>jklm</i>	3,81	49,69	59,98
Doğal	120	65,81	<i>bcd</i>	4,92	58,51	73,88	63,94	<i>cde</i>	3,92	58,15	69,25	66,42	<i>bcd</i>	3,59	58,53	72,35
3x2,5 m		56,39	<i>ijkl</i>	3,70	50,27	62,61	54,37	<i>jklm</i>	4,55	46,59	65,17	57,67	<i>hij</i>	4,22	51,34	65,07
4x4 m		55,89	<i>jkl</i>	4,13	47,62	63,45	51,25	<i>no</i>	2,85	45,84	55,67	54,89	<i>jklm</i>	3,23	47,29	59,73
Doğal	160	73,25	<i>a</i>	4,57	62,46	79,12	59,12	<i>ghi</i>	4,19	51,44	65,44	63,33	<i>def</i>	5,45	55,69	71,66
3x2,5 m		64,93	<i>bcd</i>	4,34	57,97	71,74	50,73	<i>o</i>	3,96	44,78	59,21	52,07	<i>mno</i>	4,69	41,87	58,37
4x4 m		61,33	<i>efg</i>	3,60	53,75	66,76	50,24	<i>o</i>	3,33	44,72	58,66	45,89	<i>p</i>	4,04	40,77	53,98
Doğal	190	67,68	<i>b</i>	6,31	57,72	79,84	64,09	<i>cde</i>	5,49	54,69	74,11	59,85	<i>gh</i>	6,80	48,02	71,60
3x2,5 m		60,11	<i>gh</i>	4,28	51,66	67,10	57,63	<i>hij</i>	4,93	47,92	65,75	54,45	<i>jklm</i>	5,01	44,59	62,84
4x4 m		57,47	<i>hijk</i>	4,55	50,98	63,54	54,55	<i>jklm</i>	5,74	41,42	63,63	54,22	<i>klmn</i>	4,58	45,20	61,21
Doğal	210	63,66	<i>cde</i>	5,97	49,55	71,50	55,70	<i>jkl</i>	5,29	46,13	64,06	53,89	<i>lmn</i>	5,51	46,64	62,67
3x2,5 m		49,55	<i>o</i>	4,51	44,49	61,54	45,18	<i>pr</i>	3,66	37,09	49,95	42,28	<i>rs</i>	3,63	33,66	50,21
4x4 m		43,49	<i>prs</i>	3,88	37,45	50,17	38,86	<i>t</i>	3,11	33,16	42,73	41,49	<i>st</i>	3,85	34,68	47,78
<b>F- Oranı/ P-Değeri</b>		59,14/0,000														

**Çizelge 3.66.** Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından alınan dışbudak odununda enine, teğet ve radyal kesit sertlik değerlerine ait ÇVA ( $p<0,05$ ).

Kesit	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Oranı	P-Değeri
<b>Enine</b>	Meşçere (A)	20922	2	10461	156,0	0,000
	Sıcaklık (B)	18053	3	6018	89,74	0,000
	Süre (C)	19178	3	6393	95,33	0,000
	AxB	1564	6	260,7	3,887	0,001
	AxC	1681	6	280,2	4,178	0,000
	BxC	11252	9	1250	18,65	0,000
	AxBxC	1718	18	95,47	1,424	0,112 <sup>ÖD</sup>
	Hata	61156	912	67,06		
	Toplam	135525	959			
<b>Teğet</b>	Meşçere (A)	33528	2	16764	789,1	0,000
	Sıcaklık (B)	9616	3	3205	150,9	0,000
	Süre (C)	5993	3	1998	94,04	0,000
	AxB	1103	6	183,9	8,656	0,000
	AxC	149,0	6	24,84	1,169	0,321 <sup>ÖD</sup>
	BxC	5590	9	621,1	29,24	0,000
	AxBxC	1179	18	65,483	3,082	0,000
	Hata	19374	912	21,24		
	Toplam	76531	959			
<b>Radyal</b>	Meşçere (A)	25007	2	12503	632,8	0,000
	Sıcaklık (B)	10601	3	3534	178,8	0,000
	Süre (C)	9980	3	3327	168,4	0,000
	AxB	792,0	6	132,0	6,681	0,000
	AxC	391,8	6	65,29	3,305	0,003
	BxC	6981	9	775,7	39,26	0,000
	AxBxC	1171	18	65,03	3,291	0,000
	Hata	18019	912	19,76		
	Toplam	72941	959			

ÖD: Önemli değil.

Çizelge 3.66'ya göre, meşçere farklılığı, sıcaklık ve süre etkileşiminin (*ABC*) enine kesit sertlik değerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, ancak meşçere (*A*), sıcaklık (*B*), süre (*C*), *AB*, *AC* ve *BC* etkileşimlerinin %95 güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Meşçere farklılığı ve süre etkileşiminin, teğet kesit sertlik değerine etkisi istatistiksel olarak önemli olmadığı, ancak meşçere (*A*), sıcaklık (*B*), süre (*C*), *AB*, *BC* ve *ABC* etkileşimlerinin %95 güven düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Radyal kesit bakımından, tüm etkileşimlerin radyal kesit sertlik değerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ( $p<0,05$ ).

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1. KİMYASAL ÖZELLİKLER

Doğal ve farklı dikim aralığından (3x2,5 m ve 4x4 m) temin edilen dişbudak odunlarına ait hücre çeperi ana bileşenleri (holoselüloz,  $\alpha$ -selüloz ve lignin) arasında, %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak fark yoktur. En yüksek holoselüloz (%79,75) ve lignin (%22,21) oranları doğal meşcerede,  $\alpha$ -selüloz oranı (%51,72) ise 3x2,5 m'den temin edilen örneklerde elde edilmiştir (Çizelge 3.1).

Her üç meşcere dişbudak odununa ait kimyasal yapının ana bileşeni olan glukoz oranında, artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak 210°C'ye kadar önemli bir değişiklik meydana gelmemiş, ancak test örnekleri kontrol örneklerinden daha düşük bulunmuştur. Özellikle 210°C'de 3 saatlik ısı işlem uygulaması ile birlikte glukoz azalma oranlarında artışlar görülmüştür. Genel olarak en yüksek azalma oranları 4x4 m'ye ait örneklerde tespit edilmiştir. Her üç meşcerede de en yüksek azalma oranı, 210°C'de 9 saatlik ısı işlem muamelesi sonunda, sırası ile %18,45, %17,37 ve %24,45 olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.1).

Her üç meşcereye ait dişbudak odunlarının kontrol ve test örneklerine yapılan kimyasal analizler sonucunda, artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak ksilan birimlerinde önemli azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Ancak 3x2,5 m'ye ait ksilan azalma oranları 190°C'ye kadar, diğer meşcerelere göre daha ılımlı bir seyir izlemiştir. Doğal meşcere ile 3x2,5 m ve 4x4 m dikim aralığının tümünde en yüksek ksilan kaybı 210°C'de 9 saatlik varyasyonda sırası ile %59,17, %65,15 ve %63,2 olarak elde edilmiştir.

Doğal dişbudak kontrol örneklerine ait asitte çözünmeyen lignin (AIL) oranı %20,85 iken artan ısı işlem muamele şartlarına bağlı olarak AIL değerinde artışlar belirlenmiş olup, bu değer 210°C'de 6 saatlik uygulamada en yüksek değerine (%36,59) ulaşmıştır. Asitte çözünen lignin (ASL) miktarında ise uygulanan ısı işlem sonucu önemli bir

değişiklik meydana gelmemiş olup en yüksek ASL değeri (%3,51) 190°C’de 6 saatlik uygulamada tespit edilmiştir (Çizelge 3.3). Plantasyon (3x2,5 m) ormanı dışbudak kontrol örneklerinde tespit edilen AIL değeri %19,77 iken, 210°C’de 6 saatlik ısı işlem sonrası bu değer %30,67 olarak tespit edilmiştir. Artan ısı işlem şartlarında ASL içeriklerinde artışlar gözlenmiş olup, en yüksek ASL %4,56 ile 190°C’de 9 saatlik uygulamada elde edilmiştir (Çizelge 3.4). Doğal ve plantasyon (3x2,5 m) ormanlarına ait kontrol örneklerinden elde edilen AIL miktarları, tüm test örneklerine göre daha düşük bulunmuştur. Plantasyon (4x4 m) ormanından alınan örnekler için AIL değerleri, 210°C’nin dışındaki sıcaklıklarda kontrol örneklerine kıyasla önemli bir değişiklik belirlenmemiştir. ASL oranları ise artan ısı işlem şartlarına bağlı olarak kontrol örneklerine göre artış göstermiş olup, en yüksek ASL değeri 160°C’de 9 saatlik uygulamada %4,27 bulunmuştur (Çizelge 3.5).

Yapraklı ağaç hemiselülozu bileşenlerinden olan arabinan oranı diğer bileşenlere göre en düşük değerler vermiş olup, doğal dışbudak odunlarında %2,09 iken 120°C’de 6 saatlik ısı işlem uygulamasından sonra analizlerde tespit edilememiştir. Plantasyon (3x2,5 m) ormanından alınan dışbudak örneklerine ait kontrol örneklerinde, arabinan %1,5 civarında iken, doğal meşcerede olduğu gibi artan ısı işlem uygulaması ile (160°C’de 6 saat) tamamen uçucu bileşikler haline gelmiştir. Plantasyon (4x4 m) ormanı kontrol örneklerinde, doğal ve 3x2,5 m dikim aralığından temin edilen dışbudak odunlarından farklı olarak HPLC analizlerinde arabinan birimleri tespit edilememiştir.

## **4.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLER**

### **4.2.1. Ağırlık Kaybı**

Isıl işlem sıcaklık ve süresindeki artışa bağlı olarak üç meşcereden temin edilen dışbudak örneklerine ait ağırlık kaybı değerleri de artmıştır. Düşük ısı işlem sıcaklıklarında (120 ve 160°C) ağırlık kayıpları %1,5’in altında kalmasına rağmen, sıcaklığın 190°C’ye yükseltilmesi ile kayıplardaki artışlar önemli bulunmuştur. Tüm meşcerelerde en yüksek ağırlık kayıpları, en yüksek ısı işlem uygulaması olan 210°C’de ve 4x4 m’de tespit edilmiştir (%16,96). Daha önceki çalışmalarda elde edilen ağırlık kaybı oranlarını, bu çalışma sonuçları ile paralellik göstermiştir.

#### 4.2.2. Hava Kuruşu Yoğunluk

Doğal ve plantasyon ormanlarından temin edilen dişbudak örneklerinin, muamele görmüş ve görmemiş kontrol örneklerine ait hava kuruşu yoğunluk değerleri izelge 3.17’de verilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre 3x2,5 m ve 4x4 m dikim aralıklarına ait kontrol örneklerinin yoğunluk değerleri arasında istatistiksel olarak fark olmayıp, doğal meşcereden farklı bulunmuşlardır. Ancak doğal meşcereye ait kontrol örneklerinin yoğunluk değerleri (0,773 gr/cm<sup>3</sup>) diğer meşcerelerden daha yüksek bulunmuştur.

Doğal dişbudak test örneklerine ait hava kuruşu yoğunluk değerleri, tüm varyasyonlarda kontrol örneklerinde daha düşük tespit edilmiştir. Bu meşcerede yoğunluk değerlerindeki azalmalar 190°C’de 6 saatlik uygulamadan sonra ortaya çıkmıştır. Test örneklerine ait en yüksek yoğunluk değeri 120°C’de 3 saatlik uygulamada (0,770 gr/cm<sup>3</sup>), en düşük yoğunluk değeri ise 210°C’de 9 saatlik varyasyonda elde edilmiştir (0,667 gr/cm<sup>3</sup>). Bu uygulamalarda elde edilen ortalama yoğunluk azalma oranları sırası ile %2,03 ve %10,54 olarak bulunmuştur.

Plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dişbudak kontrol örneklerine ait hava kuruşu yoğunluk değerleri 0,735 gr/cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak yoğunluk azalma oranlarında artışlar görülmüştür. En yüksek yoğunluk azalma oranı 210°C’de 6 saatlik uygulamada elde edilmiştir (%10,45). Diğer plantasyon (4x4 m) ormanından alınan kontrol örneklerinde ortalama hava kuruşu yoğunluk değeri 0,708 gr/cm<sup>3</sup> olup, bu yoğunluk değeri diğer iki meşcerede olduğu gibi test örneklerinden yüksek bulunmuştur. Bu meşcerede hava kuruşu yoğunluk değerlerindeki azalmalar 190°C’de 3 saatlik uygulama ile belirgin bir hal almıştır. Düşük sıcaklıklardaki (120 ve 160°C) yoğunluk kayıp oranları %5’in altında gerçekleşmiştir. En yüksek azalma oranları, diğer plantasyon örneklerinde olduğu gibi 210°C’de 6 saatlik uygulamada tespit edilmiştir (%17,61). Bu değer aynı zamanda üç meşcere arasındaki en yüksek azalma oranını ifade etmektedir.

#### 4.2.3. Denge Rutubet Miktarı (DRM)

Tüm meşcerelere ait dışbudak örneklerinin denge rutubet miktarı (DRM) değerleri, artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak azalmıştır. Muamele görmemiş kontrol örneklerinin ortalama DRM değerleri meşcerelere göre istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir. Doğal meşcere test örneklerinde DRM en yüksek olan uygulama, sıcaklık ve sürenin en düşük uygulandığı 120°C’de 3 saatlik varyasyon olmuştur (11,65). Kontrol örneklerine kıyasla bu varyasyonda elde edilen DRM azalma oranı %2,16 bulunmuştur. DRM değerlerine ait azalma oranlarındaki yükseliş 160°C’de 9 saatlik uygulama ile birlikte (%25,05) açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. En düşük DRM değerleri ise, ısı işlem uygulamasının en yüksek olduğu 210°C sıcaklıktaki varyasyonlarda (sırası ile %48,1, %49,7 ve %46,3) elde edilmiştir. Kontrol örneklerine ait DRM değeri %11,91 olarak belirlenmiştir.

3x2,5 m ve 4x4 m’deki en yüksek DRM değerleri doğal meşcerede olduğu gibi en düşük ısı işlem uygulamasında (120°C’de 3 saat) sırası ile %11,72 ve 11,67 olarak tespit edilmiştir. En düşük DRM değerleri ise 210°C’de 6 saat ısıleme maruz bırakılan test örneklerinde elde edilmiştir (%5,94 ve %5,91). Söz konusu varyasyona ait DRM azalma oranları sırası ile %50,95 ve %50,52 olarak bulunmuştur. Her iki meşcereye ait kontrol örneklerinin DRM değerleri %12,11 ve %11,95 olarak tespit edilmiştir.

#### 4.2.4. Su Alma Oranı, Su İtici Etkinlik ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik

Test ve kontrol örneklerinin su alma oranları (SAO) artan suda bekleme süresine (SBS) bağlı olarak her üç meşcerede de artış göstermiştir. En yüksek SAO’ları, en düşük SBS’lerinde gerçekleşmiştir. Genel olarak bakıldığında, tüm SBS’leri için farklı sıcaklık gruplarına ait test örneklerinin SAO’ları, kontrol örneklerine ait SAO’ları ile kıyaslandığında, bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

Tüm deneme alanlarında, her bir sıcaklık uygulaması için, en yüksek SİE değerleri en düşük SBS’lerinde (2, 4 ve 8 saat) elde edilmiştir. Özellikle 24 saat ve sonrasında SBS’nin artışına bağlı olarak, SİE değerlerinde azalmalar görülmüştür. Üç meşcerede de en yüksek su itici etkinlik (SİE) değerleri tüm SBS’lerde 9 saatlik ısı işlem

uygulamalarında elde edilmiştir. Ayrıca ısı işlem sıcaklığı arttıkça SİE değerlerinde genel bir artış görülmektedir. En düşük SİE değerleri 120°C’de görülür iken en yüksek değerler ise 210°C’de tespit edilmiştir. Meşcereler açısından bakıldığında en yüksek SİE değeri 3x2,5 m’den, 210°C’de 9 saatlik ısı işlem uygulamasının 24 saatlik SBS’nde elde edilmiştir (%43,15).

Doğal ve plantasyon ormanlarına ait dışbudak örneklerinden elde edilen genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri birbirine benzer eğilimler sergilemiştir. Her üç meşcereye ait örneklerde, ısı işlem sıcaklık ve süresinin artışına bağlı olarak GET değerlerinde önemli artışlar tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda elde edilen GET değerleri doğal ve 3x2,5 m dikim aralığında %20 civarında, 4x4 m’de ise %15 olduğu halde sıcaklığın 210°C’ye çıkması ile GET değerleri sırası ile %58,36, %61,54 ve %50,35’e ulaşmıştır. SİE değerlerinde olduğu gibi en yüksek GET değerleri 3x2,5 m’de tespit edilmiştir. Sıcaklığın artması ile daha hidrofobik (suyu sevmeyen, su itici) bir yapı kazanan dışbudak test örneklerine ait GET değerleri, literatür değerleri ile uyumluluk göstermiştir.

### **4.3. MEKANİK ÖZELLİKLER**

#### **4.3.1. Liflere Paralel Basınç Direnci**

Doğal ve 3x2,5 m dikim aralığına ait kontrol örnekleri karşılaştırıldığında, artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak test örneklerine ait liflere paralel basınç direnci değerlerinde istatistiksel olarak önemli azalmalar tespit edilmiştir. Bu azalmalar özellikle 210°C’de belirgin bir hal almıştır. Test örneklerine ait en yüksek liflere paralel basınç direnci değerleri (55,9 ve 57,5 N/mm<sup>2</sup>) 190°C’de 3 saatlik varyasyonda tespit edilmiş olup, kontrol örnekleri ile aralarında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde fark yoktur.

4x4 m dikim aralığında diğer meşcerelere göre daha düşük liflere paralel basınç direnci değerleri elde edilmiştir. Test örneklerine ait en yüksek basınç direnci değeri 120°C’de 3 saatlik varyasyonda hesaplanmıştır. Bu meşcerede de sıcaklık artışı ortalama basınç direncini olumsuz etkilemiştir. En düşük değerler 200°C’de 6 saatlik varyasyondan elde

edilmiştir (35,7 N/mm<sup>2</sup>). Söz konusu varyasyona ait liflere paralel basınç direnci azalma oranı ise %33,48 olarak tespit edilmiştir. Bu azalma oranı, diğer meşcerelerden (doğal ve 3x2,5 m) daha yüksek bulunmuştur. Yapılan bazı araştırmalar, bu tez çalışmasına benzer şekilde artan sıcaklık ve süre ile birlikte liflere paralel basınç direncinin azaldığını ifade edilmektedir. Meşcereler arasında en düşük azalma oranı ise doğal meşcerede gerçekleşmiştir.

#### **4.3.2. Eğilme Direnci**

Plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanları kontrol örneklerine ait eğilme direnci değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz iken doğal meşcere ile aralarındaki fark ise önemli bulunmuştur. Kontrol örneklerine ait en yüksek eğilme direnci değeri ise doğal meşcereye ait dışbudak örneklerinde bulunmuştur (126,9 N/mm<sup>2</sup>).

Her üç meşcerede de artan ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak eğilme direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmalar 120°C’de sınırlı olmasına rağmen, özellikle 190°C ve 3 saatlik ısı işlem sonrasında çok belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. En yüksek eğilme direnci azalma oranları, en yüksek ısı işlem uygulaması olan 210°C’de elde edilmiştir. Bu varyasyonda elde edilen en yüksek eğilme direnci azalma oranları meşcerelere göre sırası ile %59,2, %59,1 ve %56,3 olup, değerler arasında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde fark yoktur.

#### **4.3.3. Elastikiyet Modülü**

Doğal meşcerede 120°C’de, 3x2,5 m’de 160 ve 190°C’de ve 4x4 m’de ise 120 ve 160°C’de 6 saat ısı işlem uygulanmış test örneklerinin elastikiyet modülü değerleri kontrol örneklerinden bir miktar (<%5) yüksek bulunmuştur. Genel olarak üç meşcerede de 210°C’ye kadar ısı işlem sıcaklık ve süresinin artışı ile elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen azalmalar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Su buharı atmosferi ortamında elastikiyet modülü değerlerinde, 200°C’nin altında önemli bir değişiklik olmadığına dair bulgular farklı çalışmalarda belirtilmiştir.

Isıl işlem sıcaklığının 210°C’ye çıkması ile elastikiyet modülü değerlerinde önemli azalmalar tespit edilmiştir. Üç meşcerede de en yüksek azalma oranı 210°C’de 6 saatlik



varyasyonda sırası ile %18,20, %18,53 ve %20,54 olarak bulunmuştur. 210°C’de 9 saat süreli varyasyonda elde edilen elastikiyet modülü azalma oranının 6 saat süreli uygulamaya kıyasla daha düşük bulunması, uzayan ısı işlem süresinin elastikiyet modülündeki azalma oranını düşürdüğünü ortaya koymuştur.

#### **4.3.4. Janka Sertlik Değeri**

Doğal meşcereden temin edilen dişbudak kontrol örneklerine kıyasla test örneklerine ait enine, teğet ve radyal kesit sertlik değerlerindeki azalmalar, 210°C’ye kadar doğrusal olmayan bir değişim göstermiştir. Sıcaklığın 210°C’ye çıkması ile her üç kesitte de en yüksek sertlik kayıpları 6 ve 9 saatlik varyasyonlarda elde edilmiştir. Enine kesit sertlik değerlerinde 160°C’de, teğet kesitte 120 ve 160°C’de ve radyal kesitte ise 160 ve 190°C’de 3 saatlik varyasyonlarda kontrol örneklerine kıyasla sertlik değerlerinde küçük artışlar tespit edilmiştir.

3x2,5 m’ye ait enine kesit sertlik değerleri, uygulanan tüm varyasyonlarda kontrol örneklerinden düşük çıkmıştır. Ancak bu azalmalar ısı işlem sıcaklık ve süresi ile doğru orantılı olmamıştır. En düşük enine kesit sertlik değeri 210°C’de 6 saatlik uygulamada elde edilmiştir (76,16 N/mm<sup>2</sup>). Dişbudak odunu teğet ve radyal kesit sertlik değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Özellikle teğet kesit sertlik değerlerinde sıcaklık ve sürenin artışına bağlı olarak belli varyasyonlardaki sertlik değerleri kontrol örneklerinin üzerinde çıkmıştır. 160°C’de 3 saatlik varyasyonda artış oranı %15,2 olmuştur. Sıcaklığın 210°C’ye çıkması teğet ve radyal kesit sertlik değerlerinde önemli azalmalara sebep olmuştur.

4x4 m dişbudak test örneklerine ait enine, teğet ve radyal kesit sertlik değerlerinde 210°C’ye kadar önemli azalmalar gözlenmemiştir. Özellikle teğet ve radyal kesit sertlik değerleri, 160°C’de 9 saatlik varyasyonlar hariç genellikle artış göstermişlerdir. Ancak 210°C’de 3, 6 ve 9 saatlik uygulamalarda her üç sertlik değerinde de belirgin azalmalar meydana gelmiştir. Her üç kesitte de en yüksek sertlik azalma oranları 210°C’de 6 saatlik varyasyonda sırası ile %25,3, %25 ve %28,9 olarak elde edilmiştir.

Tez çalışmasında, ülkemizde doğal ve plantasyon ormanlarında yetiştirilen dişbudak odununun teknolojik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi araştırılmıştır. Böylece elde

edilen sonuçların ısıtma işlem uygulamalarına önemli bir kaynak oluşturması hedeflenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlara göre aşağıda belirtilen önerilerde bulunulabilir.

Genel olarak bakıldığında, plantasyon (3x2,5 m) ormanından temin edilen dışbudak odununun ısıtma işlem sonucu teknolojik özelliklerinde meydana gelen azalma oranları diğer dikim aralığına (4x4 m) göre daha sınırlı kalmıştır. Ayrıca 3x2,5 m dikim aralığına ait kontrol örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, 4x4 m dikim aralığına göre daha yüksek bulunmuştur. Bu nedenle dışbudak ağacının plantasyonla yetiştirilmesi durumunda, geniş dikim aralıkları yerine daha dar dikim aralıklarının (3x2,5 m) tercih edilmesi yerinde olacaktır.

Isıtma işlem uygulaması, her üç meşcereden temin edilen dışbudak odunlarının boyutsal stabilitesini (genişlemeyi önleyici etkinlik değerlerini) artıran sıcaklık ve süreye bağlı olarak önemli derecede artırmıştır. Bu değer 3x2,5 m dikim aralığında yetiştirilen dışbudak odunları için en yüksek %61,5 olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla boyutsal stabilizasyonun önemli olduğu kullanım alanlarında (kapı, pencere, döşeme, banyo, sauna, deck, dış cephe kaplaması vb) ısıtma işlem görmüş dışbudak odunlarının değerlendirilmesi tavsiye edilebilir.

Uygulanan ısıtma işlem sıcaklık (120, 160, 190 ve 210°C) ve sürelerine (3, 6 ve 9 saat) bağlı olarak, tespit edilen fiziksel özelliklerinin önemli derecede iyileştiği, mekanik özelliklerinin ise özellikle 190°C ve daha yüksek sıcaklıklardaki uzun ısıtma işlem (6-9 saat) sürelerinde olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle çalışma kapsamında kritik ısıtma işlem sıcaklığının 190°C ve sürenin ise 3 saatlik uygulama olduğu ortaya çıkmaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda tez kapsamında elde edilen veriler yardımı ile sayısal optimizasyon ve modelleme yöntemleri kullanılarak en uygun ısıtma işlem koşulları tahmin edilebilir.

Doğal ve plantasyon (3x2,5 m ve 4x4 m) ormanlarından temin edilen dışbudak odunlarının eğilme ve basınç direnci değerlerinde, artan ısıtma işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak azalmalar tespit edilmiştir. Azalmalar özellikle 210°C'deki uygulamalarda şiddetli bir şekilde ortaya çıkmıştır. Yapılan eğilme testleri sırasında örneklerdeki

kırılmalar ani ve kırılma yüzeyleri düz bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda ve uzun süre ısıl işlem görmüş ağaç malzeme, yük taşıyıcı yapı elemanlarında kullanımı uygun olmayabilir.

Günümüzde ABD ve Avrupa'da ısıl işlem uygulaması üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Ancak ülkemizde ticari olarak sadece bir adet ısıl işlem teknolojisi kullanan fabrika bulunmaktadır. Isıl işlemin teknolojisinin, çevre kirliliğine yol açmaması, geri dönüşüm problemlerinin olmaması, uygulamanın kolay olması nedeni ile kimyasal maddelerle odun koruma yöntemlerine alternatif olarak ülkemizde geliştirilmesi gereklidir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların belirtilen amaç doğrultusunda önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Isıl işlem uygulamasında herhangi bir kimyasal maddenin kullanılmaması ve zehirli atıkların oluşmaması ekolojik dengeye zarar vermemesi açısından önemlidir. Ayrıca tez kapsamında çalışılan plantasyon ormanlarının kurulmasının teşviki sürdürülebilir ormancılık faaliyetleri bakımından önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Hızlı büyüyen ağaç türleri (dişbudak, akça ağaç, ıhlamur, kızıl ağaç, söğüt, kavak, kiraz vb.) zayıf gelişen öz odununa ve daha yüksek oranda genç oduna sahiptirler. Büyümenin hızlanması, yıllık halkaların genişlemesine ve yoğunluğun düşmesine sebep olur. Bu durum, odunun boyutsal kararlılığının ve biyolojik zararlılara karşı sağlamlığının düşük olmasına neden olur. Ancak bu türler Türkiye'de doğal olarak yetişmekte, birim alandan elde edilen yüksek hammadde miktarı ve daha kısa idare süresine sahiptirler. Dişbudak gibi hızlı gelişen diğer ağaç türlerine ısıl işlem uygulamaları ile katma değer kazandırılıp, günümüzde bazı uygulamalar için yaygın olarak kullanılan tropik ağaç türleri ile rekabet edebilir bir duruma getirilebilirler.

Dişbudak odunları doğal dayanıklılık sınıflamasına göre, az dayanıklı gruba girmekte olup, doğal dayanım süresi 5 yılın altındadır. Yani dişbudak odununun mantar ve böceklerle karşı doğal dayanımı düşüktür. Bu nedenle dişbudağın kullanım ömrünün artırılması için koruma önlemlerinin alınması gerektiği belirtilmektedir. İleriki çalışmalarda ısıl işlem görmüş dişbudak örneklerini mantar, böcek ve termit tahribatına uğratarak, doğal dayanım özelliklerinin ne derecede iyileştiği araştırılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Akgül M., Korkut S., The effect of heat treatment on some chemical properties and colour in *Scots pine* and *Uludağ Fir* wood, *International Journal of Physical*, 7 (21) (2012) 2854-2859.
- Akyıldız M.H., Ateş S., Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in Turkey, *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4 (6) (2008) 660-665.
- Akyıldız M.H., Ateş S., Özdemir H., Technological and chemical properties of heat-treated Anatolian black pine wood, *African Journal of Biotechnology*, 8 (11) (2009) 2565-2572.
- Alen R., Kotilainen R., Zaman A., Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225°C, *Wood Science and Technology*, 36 (2002) 163-171.
- Anonim, Finnish thermowood association, *ThermoWood Handbook*, Helsinki, Finlandiya, (2003a).
- Anonim, Adapazarı meteoroloji istasyonu iklim verileri, *Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Arşivi*, Ankara (2003b).
- Anonim, Ash species in Europe: Biological characteristics and practical guidelines for sustainable use, *Fraxigen*, Oxford Forestry Institute, University of Oxford, UK, (2005).
- Anonim, Ormancılık, Dokuzuncu beş yıllık kalkınma planı, *Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, DPT Yayın No: 2712/665, Ankara, (2007).
- Anonim, [http://www.tappi.org/content/pdf/standards/numeric\\_index\\_tms.pdf](http://www.tappi.org/content/pdf/standards/numeric_index_tms.pdf), (Erişim Tarihi: 30 Ekim 2013).
- Anşin R., Özkan Z.C., *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*, 2. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, (1997).

- As N., Akbulut T., Odunun fiziksel özelliklerini iyileştiren işlemler ve mekanik özellikler üzerine olan etkisi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 39 (3) (1989) 98-112.
- Atay İ., Tali türlerimizden dişbudağın önemi ve silvikültürel özellikleri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 34 (3) (1984) 17-32.
- Ateş S., Akyıldız M.H., Özdemir H., Effects of heat treatment on Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) wood, *BioResources*, 4 (3) (2009) 1032-1043.
- Aydemir D., Göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, (2007).
- Aydemir D., Gündüz G., Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11 (15) (2009) 71-81.
- Aydemir D., Gündüz G., Altuntaş E., Ertaş M., Şahin H.T., Alma M.H., Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and Uludag fir wood, *BioResources*, 6 (2) (2011) 1308-1321.
- Bak M., Németh R., Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus × Euramericana* cv. Pannónia) wood, *BioResources*, 7 (4) (2012) 5128-5137.
- Bakar B.F.A. Hızıroğlu S., Paridah M.T., Properties of some thermally modified wood species, *Materials and Design*, 43 (2013) 348–355.
- Bal B.C., Amonyaklı bakır quat (ACQ) emprenye tuzu ile emprenye edilen sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, (2006).
- Baştuğ İ., Isıl işleme maruz bırakılan lamine ağaç malzemenin bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, (2010).
- Beall F.C., Thermogravimetric analysis of wood lignin and hemicelluloses, *Wood and Fiber*, 1 (3) (1969) 215-226.

- Bekhta P., Niemz P., Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, *Holzforschung*, 57 (5) (2003) 539-546.
- Bektaş İ., Kızılçam odununun teknolojik özellikleri ve yörelere göre değişimi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, (1997).
- Bengtsson C., Jermer J., Brem F., Bending strength of heat-treated spruce and pine timber, *The International Research Group on Wood Preservation*, Document No IRG/WP 02-40242, (2002).
- Bhuiyan T.R., Hirai N., Study of crystalline behavior of heat-treated wood cellulose during treatments in water, *Journal of Wood Science*, 51 (1) (2005) 42-47.
- Boonstra M.J., Tjeerdsma B.F., Chemical analysis of heat treated softwoods, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (3) (2006) 204-211.
- Boonstra M.J., Rijdsdijk J.F., Sander C., Kegel E., Tjeerdsma B.F., Militz M., van Acker J., Stevens M., Microstructural and physical aspects of heat treated wood, part 1. Softwoods, *Maderas Ciencia y Tecnología*, 8 (3) (2006a) 193-208.
- Boonstra M.J., Rijdsdijk J.F., Sander C., Kegel E., Tjeerdsma B., Militz H., Van Acker J., Stevens M., Microstructural and physical aspects of heat treated wood, Part II. Hardwoods, *Maderas Ciencia y Tecnología*, 8 (3) (2006b) 209-218.
- Boonstra M.J., Van Acker J., Pizzi A., Anatomical and molecular reasons for property changes of wood after full-scale industrial heat treatment, *The Third European Conference on Wood Modification*, 15-16<sup>th</sup> October, UK, (2007) 343-358.
- Boonstra M., A two-stage thermal modification of wood, *Ph.D. Thesis*, Soil and Forest management, Henry Poincaré University, Nancy-France, (2008).
- Borysiuk P., Mamiński M., Grzeńkiewicz M., Parzuchowski P., Mazurek A., Thermally modified wood as raw material for particleboard manufacture, *The Third European Conference on Wood Modification*, 15-16<sup>th</sup> October, UK, (2007) 227-230.
- Bourgeois J., Janin G., Guyonnet R., Measuring colour: A method of studying and optimising the chemical transformations of thermally-treated wood, *Holzforschung*, 45 (5) (1991) 377-382.

- Bozkurt A. Y., *Ağaç Teknolojisi*, III. Baskı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No: 380, İstanbul, (1986).
- Bozkurt A.Y., Erdin N., *Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, İstanbul, (1989a).
- Bozkurt A.Y., Erdin N., Ağaç malzeme kalitesi ve silvikültürel tedbirler, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 39 (3) (1989b) 1-13.
- Bozkurt A.Y., Göker Y., *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 436, İstanbul, (1996).
- Bozkurt Y. A., Erdin N., *Odun Anatomisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No:4263/466, İstanbul, (2000).
- Cao Y., Lu J., Huang R., Zhao X., Jiang J., Effect of steam-heat treatment on mechanical properties of Chinese fir, *BioResources*, 7 (1) (2012) 1123-1133.
- Chang C.I. Keith C.T., Properties of heat-darkened wood, II. Mechanical properties and gluability, *Eastern Forest Products Laboratory Report*, No. OPX214E, Canada, (1978) 1-19.
- Chirkova J., Andersons B., Andersone I., Militz H., Water sorption properties of thermos-modified wood, *2nd European Conference on Wood Modification*, 6-7 October, Göttingen-Germany, (2005).
- Çalıova Z., Kızılağaç ve Doğu Ladini odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, (2011).
- Çiçek E., Adapazarı-Süleymaniye subasar ormanında meşcere kuruluşları ve gerekli silvikültürel önlemler, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, (2002).
- Çiçek E., Yılmaz M., The importance of *Fraxinus angustifolia* subsp. oxyacarpa as a fast growing tree for Turkey, *IUFRO Meeting on Management of Fast Growing Plantations*, Izmit-Turkey, (2002) 192-202.
- Çiçek E., Subasar ormanların özellikleri ve Türkiye'nin subasar ormanları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 52 (2) (2004) 107-114.

- Çiçek N., Çiçek E., Bilir N., Dar yapraklı dişbudak'ta (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) bazı tohum ve fidecik özellikleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, (1) (2005) 17-24.
- Çiçek E., Yılmaz F., Yılmaz M., Yılmaz S., Dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) tıraşlama alanında diri örtünün belirlenmesi ve kültür bakımı açısından değerlendirilmesi, *Orman Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 1-2-3 (2007) 25-28.
- Davis P.H., *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, Edinburgh University Press, (1965) 1-10.
- Deniz İ., *Odun Kimyası*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü ders notları, Trabzon, (2013) 175.
- Dirol D., Guyonnet R., The improvement of wood durability by Retification process, *International Research Group on Wood Preservation*, IRG/WP 93- 40015, (1993).
- Dizman E., Kimyasal modifikasyonun kızılâğaç ve ladin yonga levhalarında fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklere etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2005).
- do Amaral Franco J., *Flora Europaea (Fraxinus)*, Editors: Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A., University Press, Cambridge, 3 (1972) 53-54.
- Dubey M.K., Improvements in stability, durability and mechanical properties of *radiata pine* wood after heat-treatment in a vegetable oil. Chapter 5 oil heat-treatment of thermo-mechanically compressed wood, *Ph.D. Thesis*, University of Canterbury (2010).
- Dündar T., Sarıçamda değişik silvikültürel müdahalelerin odunun teknolojik özellikleri üzerine etkisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi, (2005).
- Edlund M.L., *Beständighet hos Miljöanpassat Träskydd*: SP Sveriges Provningsoch Forskningsinstitut, (2003).
- Elyıldırım Y. K., Gürgen yapraklı kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop) odunu'nun bazı teknolojik özellikleri üzerine ısı işlemin etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Düzce Üniversitesi, (2008).



- Englund F., Nussbaum R.M., Monoterpenes in Scots pine and Norway spruce and their emission during kiln drying, *Holzforschung*, 54 (5) (2000) 449-456.
- Epmeier H., Bengtsson C., Westin M., Effect of acetylation and heat treatment on dimensional stability and MOE of spruce timber, *In: Proceedings for the first conference of the European Society For Wood Mechanics*, April 19-21, Lausanne, Switzerland, (2001).
- Epmeier H., Westin M., Rapp A.O., Nilsson T., Comparison of properties of wood modified by 8 different methods durability, mechanical and physical properties, *The First European Conference on Wood Modification*, Ghent-Belgium, (2003).
- Esteves B., Velez Marques A., Domingos I., Pereira H., Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood, *Wood Science Technology*, 41 (3) (2007a) 193-207.
- Esteves B., Domingos I., Pereira H., Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200°C, *Forest Products Journal*, 57 (1/2) (2007b) 47-52.
- Esteves B., Domingos I., Pereira H., Pine wood modification by heat treatment in air, *BioResources*, 3 (1) (2008a) 142-154.
- Esteves B., Graça J., Pereira H., Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood, *Holzforschung*, 62 (3) (2008b) 344-351.
- Esteves B., Pereira H., Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources*, 4 (1) (2009) 370-404.
- Fengel D., Wegener G., Wood chemistry, ultrastructure, reactio, Walter de Gruyter, New York, (1984).
- Fengel D., Wegener G., *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, Walter De Gruyter, Berlin-Germany, (1989).
- Follrich J., Muller U., Gindl W., Effects of thermal modification on the adhesion between spruce wood (*Picea abies* Karst.) and a thermoplastic polymer, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (5) (2006) 373-376.

- Funaoka M., Kako T., Abe I., Condensation of lignin during heating of wood, *Wood Science and Technology*, 24 (1990) 277-288.
- Gerardin P., Petric M., Petrisans M., Lambert J., Evolution of wood surface free energy after heat treatment, *Polymer Degradation and Stability*, 92 (4) (2007) 653-657.
- Ghalehno M.D., Nazerian M., Changes in the physical and mechanical properties of Iranian hornbeam wood (*Carpinus betulus*) with heat treatment, *European Journal of Scientific Research*, 51 (4) (2011) 490-498.
- González-Peña M.M., Hale M.D.C., The relationship between mechanical performance and chemical changes in thermally modified wood, *The Third European Conference on Wood Modification*, 15-16<sup>th</sup> October, UK, (2007) 169-172.
- Gosselink R., Krosse A., Van der Putten J., Van der Kolk J., Klerk-Engels B., Dam J., Wood preservation by low-temperature carbonisation, *Industrial Crops and Products*, 19 (1) (2004) 3–12.
- Gündüz G., Korkut S., Sevim Korkut D., The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyanı Black Pine (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *Pallasiana* var. *Pallasiana*) wood, *Bioresource Technology*, 99 (7) (2008) 2275-2280.
- Gündüz G., Aydemir D., Some physical properties of heat-treated hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood, *Drying Technology*, 27 (5) (2009) 714-720.
- Güler C., Akbulut T., Çöpür Y., Kara Ö., Dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) plantasyonlarındaki dikim aralıklarının, odunun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması, *TÜBİTAK-TOVAG Sonuç Raporu*, Rapor No: 107O537, Ankara, (2009).
- Güler C., Şahin H.İ., Çiçek E., Farklı dikim aralıklarında yetişen dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) odunlarının bazı anatomik ve morfolojik özellikleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (1) (2012) 35-40.
- Güller B., Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood, *African Journal of Biotechnology*, 11 (9) (2012) 2204-2209.

- Gürsu İ., *Süleymaniye ormanı sivri meyveli dişbudakları (Fraxinus oxycarpa Willd.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri ve değerlendirme imkânları hakkında araştırmalar*, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No:47, Ankara, (1971).
- Hakkou M., Petrissans M., Zoulalian A., Gerardin P., Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis, *Polymer Degradation and Stability*, 89 (1) (2005) 1-5.
- Hapla F., Oliver-Villanueva J.V., Gonzales-Molina J.M., Effect of silvicultural management on wood quality and timber utilisation of *Cedrus atlantica* in the Mediterranean Area, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 58 (1-2) (2000) 1-8.
- Haygreen J.G., Bowyer J.L., *Silvicultural Practices and Wood Quality*, Forest Products and Wood Science, An Introduction, Iowa State University Press/Ames, (1996).
- Hill C.A.S., *Wood Modification: Chemical Thermal and Other Processes*, John Wiley & Sons Pres, Germany, (2006).
- Homan W., Tjeerdsma B., Beckers E., Joessen A., Structural and other properties of modified wood, *Congress WCTE*, Whistler, Canada, (2000).
- Hu G., Heitmann J., Rojas O., Feedstock pretreatment strategies for producing ethanol from wood, bark, and forest residues, *BioResources*, (2008) 270-293.
- İnoue M., Norimoto M., Otsuka Y., Yamada T., Surface compression of coniferous wood lumber II, *Mokuzai Gakkaishi*, 37 (3) (1991) 227-233.
- İnoue M., Norimoto M., Tanahashi, M., Rowell R., Steam or heat fixation of compressed wood, *Wood and Fiber Science*, 25 (3) (1993) 224-235.
- Jamsa S., Viitaniemi P., Heat treatment of wood-better durability without chemicals, In: *Proceedings of special seminar held in Antibes, France*, (2001).
- Johansson D., Moren T., The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (2006) 104-110.
- Johansson D., Heat treatment of solid wood; effects on absorption, strenght and colour, *Ph.D. Thesis*, Lulea University of Technology, (2008).

- Kamdem D.P., Pizzi, A., Guyonnet R., Jermannaud A., Durability of heat treated wood, *International Research Group on Wood Preservation 30*, Rosenheim, 6-11 June, Germany, (1999).
- Kamdem D.P., Pizzi A., Triboulot M.C., Heat-treated timber: Potential toxic byproducts presence and extent of wood cell wall degradation, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 58 (4) (2000) 253-257.
- Kamdem D.P., Pizzi A., Jermannaud A., Durability of heat-treated wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60 (1) (2002) 1-6.
- Kapucu F., Yavuz H., Gül A.U., Dişbudak meşcerelerinde hacım, bonitet endeks ve normal hâsılat tablosunun düzenlenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Araştırma Fonu Başkanlığı, *Sonuç Raporu*, Proje no: 96.113.001.4, Trabzon, (1999).
- Kartal S.N., Hwang W.J., Imamura Y., Water absorption of boron-treated and heat-modified wood, *Journal of Wood Science*, 53 (2007) 454-457.
- Kartal S.N., Hwang W.J., Imamura Y., Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties: Chemical and strength properties of wood, *Journal of Materials Processing Technology*, 198 (1-3) (2008) 234-240.
- Karakaş G., Ahlat (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde ısı işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, (2008).
- Kaygın B., Gündüz G., Aydemir D., Some physical properties of heat-treated paulownia (*Paulownia elongata*) wood, *Drying Technology*, 27 (2009) 89-93.
- Kırcı H., Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia*) odununun kağıt endüstrisinde değerlendirilme olanakları, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1987.
- Kim G., Yun K., Kim J., Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood, *Material und Organismen*, 32 (2) (1998) 101-108.
- Kim D.Y., Nishiyama Y., Wada M., Kuga S., Okano T., Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood, *Holzforschung*, 55 (5) (2001) 521-524.

- Kocaefe D., Younsi R., Poncsak S., Kocaefe Y., Comparison of different models for the high-temperature heat-treatment of wood, *International Journal of Thermal Sciences*, 46 (7) (2007a) 707-716.
- Kocaefe D., Chaudry B., Poncsak S., Bouazara M., Pichette A., Thermogravimetric study of high temperature treatment of aspen: effect of treatment parameters on weight loss and mechanical properties, *Journal of Materials Science*, 42 (3) (2007b) 854–866.
- Kocaefe D., Poncsak S., Tang J., Thermogravimetric analysis of North American jack pine, *The Third European Conference on Wood Modification*, 15-16<sup>th</sup> October, UK, (2007c) 157-160.
- Kocaefe D., Poncsak S., Bölük Y., Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources* 3 (2) (2008a) 517-537.
- Kocaefe D., Shi J.L., Yang D.Q., Bouazara M., Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and aspen, *Forest Products Journal*, 58 (6) (2008b) 88-93.
- Kollmann F., *Technologie des holzes und der holzwerkstoffe*, Springer, Berlin, (1936).
- Kosik M., Micko M., Domansky R., Autoxidation of beech wood and its components, *Wood Science*, 1 (3) (1969) 167-171.
- Kotilainen R., Chemical changes in wood during heating at 150-260°C, *Ph.D. Thesis*, Jyväskylä University, Finland, (2000).
- Kubojima Y., Okano T., Ohta M., Bending strength and toughness of heat treated wood, *Journal of Wood Science*, 46 (2000) 8-15.
- Kubojima Y., Tonosaki M., Yoshihara H., Young's modulus obtained by flexural vibration test of a wooden beam with inhomogeneity of density, *Journal of Wood Science*. 52 (1) (2006) 20-24.
- Kutbay H.G., Kılınç M., Kandemir A., Phytosociological and ecological structure of *Fraxinus angustifolia* subsp. *oxycarpa* forests in the Central Black Sea Region, *Turkish Journal of Botany*, 22 (1998) 157-162.

- Lei H.A., Gartner B.L., Milota M.R., Effect of growth rate on the anatomy, specific gravity, and bending properties of wood from 7-year-old Red alder (*Alnus rubra*), *Canadian Journal of Forest Reserach*, 27 (1) (1997) 80-85.
- Li X.J., Cai Z.Y., Mou Q.Y., Wu Y.Q., Liu Y., Effects of heat treatment on some physical properties of douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) wood, *Advanced Materials Research*, 197-198 (2011) 90-95.
- Macdonald E., Hubert J., A review of the effects of silviculture on timber quality of sitka spruce, *Forestry*, 75 (2) (2002) 107-138.
- Malan F.S., Hoon M., Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*, *South African Forestry Journal*, (1992) 13-20.
- Mangalam A., Oyarce C.D.B., McDonald A.G., Shook S., Rapid thermal modification of wood by electroheating, *The Third European Conference on Wood Modification*, 15-16<sup>th</sup> October, UK, (2007) 263-266.
- Manninen A.M., Pasanen P., Holopainen J.K., Comparing the atmospheric emissions between air-dried and heat-treated Scots pine wood, *Atmospheric Enviornment*, 36 (11) (2002) 1763-1768.
- Matović A., Characteristics of the anatomical elements of the wood of *Fraxinus excelsior* and *F. angustifolia* ssp. *pannonica*, *Drevarsky Vyskum*, 22 (1977) 213-226.
- Mayes D., Oksanen O., *ThermoWood Handbook*, Finnforest, Finland, (2002).
- Mazela B., Zakrzewski R., Grzeskowiak W., Cofta G., Bartkowiak M., Preliminary research on the biological resistance of thermaly modified wood, In: *Abstracts of the First European Conference on Wood Modification*, Ghent, Belgium, (2003).
- Mburu F., Dumarçay S., Bocquet J. F., Petrissans M. Gerardin P., Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood, *Polymer Degradation and Stability*, 93 (2) (2008) 401-405.
- Merev N., *Odun Anatomisi*, Cilt I B, Doğu Karadeniz bölgesindeki angiospermae taksonlarının odun anatomisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, Genel yayın No: 189, Trabzon, (1998).

- Merev N., *Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, Genel yayın No: 210, Trabzon, (2003).
- Metsa-Kortelainen S., Antikainen T., Viitainiemi P., The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170°C, 190°C, 210°C and 230°C, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (3) (2006) 192-197.
- Metsa-Kortelainen S., Viitanen H., Decay resistance of sapwood and heartwood of untreated and thermally modified scots pine and norway spruce compared with some other wood species, *Wood Material Science and Engineering*, 4 (3-4) (2009) 105-114.
- Metsa-Kortelainen S., Viitanen H., Effect of fungal exposure on the strength of thermally modified Norway spruce and Scots pine, *Wood Material Science and Engineering*, 5 (1) (2010) 13-23.
- Miklečić J., Jirous-Rajković V., Antonović A., Spanić N., Discolouration of thermally modified wood during simulated indoor sunlight exposure, *BioResources*, 6 (1) (2011) 434-446.
- Militz H., Tjeerdsma B., Heat treatment of wood by the Plato-process: *Proceedings of Seminar, Production and Development of Heat Treated Wood in Europe*, November 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo, (2000).
- Militz H., Heat treatment technologies in europe: scientific background and technological state-of-art, in: *Proceedings of Conference on Enhancing the durability of lumber and engineered wood products*, Forest Products Society, Madison, US, (2002).
- Mitchell P., Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen or oxygen, *Wood and Fiber Science*, 20 (3) (1988) 320-333.
- Mitsui K., Changes in color by spruce by repetitive treatment of light-irradiation and heat treatment, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (3) (2006) 243-244.
- Moberg L., Variation in knot size of *Pinus sylvestris* is in two initial spacing trials, *Silva Fennica*, 33 (2) (1999) 131-144.

- Morsig N., Densification of wood-the influence of hiygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to the grain, *Institut for Barende Konstruktioner Materialer*, Technical University of Denmark, Series R, 79 (2000) 138.
- Nakano T., Miyazaki J., Surface fractal dimensionality and hygroscopicity for heated wood, *Holzforschung*, 57 (2003) 289-294.
- Navi P., Girardet F., Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood, *Holzorschung*, 54 (2000) 287-293.
- Niemz P., Hofmann T., Rétfalvi T., Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood, *Maderas Ciencia y Tecnologia*, 12 (2) (2010) 69-78.
- Nuopponen M., Vuorinen T., Jamsa S., Viitaniemi P., The effects of a heat treatment on the behaviour of extractives in softwood studies by FTIR spectroscopic methods, *Wood Science and Technology*, 37 (2) (2003) 109-115.
- Nuopponen M., Vuorinen T., Jamsa S., Viitaniemi P., Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance raman spectroscopies, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 24 (2004) 13-26.
- Nunes L., Nobre T., Rapp A., Thermally modified wood in choice tests with subterranean termites, *COST E37*, Reinbeck, (2004).
- Obataya E., Tanaka F., Norimoto M., Tomita B., Hygroscopicity of heat-treated wood I. Effects of after-treatments on the hygroscopicity of heat-treated wood, *Journal of the Japan Wood Research Society*, 46 (2) (2000) 77-87.
- Odabaşı T., Çalışkan A., Bozkuş F., *Silvikültür Tekniği (Silvikültür II)*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No. 4459, O.F. Yayın No. 475, İstanbul, (2004).
- Örs Y., Keskin H., *Ağaç Malzeme Bilgisi*, Atlas Yayınevi, Ankara, (2001).
- Pamay B., *Demirköy-İğneada Longos Ormanlarının Silvikültürel Analizi ve Verimli Hale Getirilmesi İçin Alınması Gereken Silvikültürel Tedbirler Üzerine Araştırmalar*, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 451/43, İstanbul, (1967).



- Patzelt M., Emsenhuber G., Stingl R., Colour measurement as means of quality control of thermally treated wood, *Proceedings of the First European Conference on Wood Modification*, 3-4 April, Ghent-Belgium, (2003).
- Petrissans M., Geradin P., El-Bakali I., Seraj M., Wettability of heat-treated wood, *Holzforschung*, 57 (3) (2003) 301-307.
- Pliura A., Heuertz M., *EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use for Common Ash*, International Plant Genetic Resources Institute, Rome-Italy, (2003).
- Poncsak S., Kocaefe D., Bouazara M., Pichette A., Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*), *Wood Science and Technology*, 40 (8) (2006) 647-663.
- Priadi T., Hızıroğlu S., Characterization of heat treated wood species, *Materials and Design*, 49 (2013) 575-582.
- Rapp A.O., Sailer M., Heat treatment in Germany, *Proceedings of Seminar, Production and Development of Heat Treated Wood in Europe*, November 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo, (2000).
- Rapp A.O., Sailer M., Westin M., Innovative Holzvergütung-neue Einsatzbereiche für Holz, *In: Proceedings of the Dreiländer-Holztagung*, Luzern-Switzerland, (2000).
- Rapp A.O., Sailer, M., *Review on Heat Treatments of Wood*, European thematic network for wood modification, Germany, (2001).
- Repellin V., Guyonnet R., Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition, *Holzforschung*, 59 (1) (2005) 28-34.
- Saatçioğlu F., *Silvikültür I, Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın no. 2187, (1976).
- Sailer M., Rapp A.O., Leithoff H., Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment, *The International Research Group on Wood Preservation*, IRG/WP 00-40162, (2000).

- Sanderman W., Augustin H., Chemical investigations on the thermal decomposition of wood, Part III: Chemical investigation on the course of decomposition, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 22 (10) (1964) 377-386.
- Santos J.A., Mechanical behavior of eucalyptus wood, *Wood Science and Technology*, 34 (2000) 39-43.
- Seborg R.M., Millet M., Stamm A.J., Heat-stabilized compressed wood, staypack, *Mechanical Engineering*, 67 (1) (1945) 25-31.
- Sefil Y., ThermoWood yöntemiyle ısıtılmış işleme uygulanmış göknar ve kayın odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi (2010).
- Serneck M., Kamke F. A., Glasser W. G., Comparative analysis of inactivated wood surface, *Holzforschung*, 58 (1) (2004) 22-31.
- Serneck M., Boonstra M., Pizzi A., Despres A., Gerardin P., Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 66 (3) (2008) 173-180.
- Shi J., Kocaefe D., Zhang J., Mechanical behaviour of Quebec wood species heat treated using thermowood process, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65 (4) (2007) 255-259.
- Sivonen H., Maunu S.L., Sundholm F., Jämsä S., Viitaniemi P., Magnetic resonance studies of thermally modified wood, *Holzforschung*, 56 (6) (2002) 648-654.
- Sluiter A., Hames B., Ruiz R., Scarlata C., Sluiter J., Templeton D., Crocker D., Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass, *Technical report NRELL/TP-510-42618*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, (2008).
- Stamm A., Burr H., Kline A., Staybwood a heat stabilized wood, *Industrial and Engineering Chemistry*, 38 (6) (1946) 630-634.
- Stamm A.J., *Wood and Cellulose Science*, Ronald Press, New York-USA, (1964).
- Sundqvist B., Colour changes and acid formation in wood during heating, *Doctoral Thesis*, Luleå Tekniska Universitet, (2004).

- Sundqvist B., Westermark U., Eriksson G., Degradation of cellulose during hydrothermal treatment of birch wood (*Betula pubescens* Ehrh.), *Cellulose Chemistry and Technology*, 40 (3-4) (2006) 217-221.
- Suttie E., Thompson J.H.R., Opportunites for UK grown timber: wood modification state of the art review, *DTI Contruction Industry Directorate and Forestry Commission Project Report*, (2001), 203-343.
- Syrjanen T., Kangas E., Heat treated timber in Finland, *International Research Group on Wood Preservation*, IRG/WP 00-40158, 14-19 May, Hawaii-USA, (2000).
- Syrjanen T., Jamsa S., Viitaniemi P., Heat treatment of wood in Finland, *Proceedings of Seminar, Production and Development of Heat Treated Wood in Europe*, November 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo, (2000).
- Şahin Kol H., Özbay G., Altun S., Shear strength of heat-treated Tali (*Erythrophleum ivorense*) and Iroko (*Chlorophora excelsa*) woods, bonded with various adhesives, *Bioresources*, 4 (4) (2009) 1545-1554.
- Şahin Kol H., Sefil Y., The thermal conductivity of fir and beech wood heat treated at 170, 180, 190, 200 and 212°C, *Journal of Applied Polymer Science*, 121 (2011) 2473-2480.
- Şirin G., Ak dut (*Morus alba* L. ) ağacının bazı anatomik ve kimyasal özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, (2006).
- Tank T., *Türkiye kayın ve gürgen türlerinin nötral sülfid yarı kimyasal (NSSC) metodu ile değerlendirilmesi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No. 2362/231, İstanbul, (1978).
- Tilki F., Çicek E., Effects of stratification, temperature and storage on germination in three provenances of *Fraxinus angustifolia* subsp. *oxycarpa*, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, (2005) 323-330.
- Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Militz H., Thermal modification of non-durable wood species, II. Improved wood properties of thermally treated wood, *International Research Group on Wood Preservation*, IRG/WP 98-40124, (1998a).

- Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Tekely P., Militz H., Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 56 (3) (1998b) 149-153.
- Tjeerdsma B., Militz H., Chemical changes in hydroheat wood: FTIR analysis of combined hydroheat and dry heat-treated wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63 (2) (2005) 102-111.
- Tomak E.D., Yıldız Ü.C., Odunun kimyasal modifikasyonu, *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 20-22 Mayıs, Cilt: IV (2010) 1681-1690.
- Tomak E.D., Viitanen H., Yıldız Ü.C., Hughes M., The combined effects of boron and oil heat treatment on the properties of beech and Scots pine wood. Part 2: Water absorption, compression strength, color changes, and decay resistance, *Journal of Material Science*, 46 (3) (2011) 608-615.
- TSE CEN/TS 15679, Isıl işleme değiştirilmiş kereste (TMT)-Tarifler ve karakteristik özellikleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2011).
- TS 2470, Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- TS 2471, Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- TS 2472, Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- TS 2474, Odunun statik eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- TS 2478, Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1978).
- TS 2479, Odunun statik sertliğinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- TS 2595, Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1977).

- TS 4084, Odunda radyal ve teğet doğrultuda şişmenin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1983).
- TS 4176, Odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin tayini için homojen meşcerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1984).
- Tuğtekin E., Cennet ağacı (*Ailanthus altissima* Mill. Swingle) odununu kağıt endüstrisinde değerlendirme olanakları, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (1993).
- Tuong V.M., Li J., Effect of heat treatment on the change in color and dimensional stability of Acacia hybrid wood, *Bioresources*, 5 (2) (2010) 1257-1267.
- Tümen İ., Aydemir D., Gündüz G., Üner B., Çetin H., Changes in the chemical structure of thermally treated wood, *Bioresources*, 5 (3) (2010) 1936-1944.
- Ünsal Ö., Korkut S., Atik C., The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood, *Maderas Ciencia y Tecnología*, 5 (2) (2003) 145-152.
- Ünsal Ö., Ayrilmis N., Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood, *Journal of Wood Science*, 51 (4) (2005) 405-409.
- Vernois M., Heat treatment in France, *Proceedings of Seminar, Production and development of heat treated wood in Europe*, November 2000, Helsinki, Stockholm, Oslo, (2000).
- Viitanen H.A., Jamsa S., Paajanen L.M., Nurmi A.J., Viitaniemi P., The effect of heat treatment on the properties of spruce, *International Research Group on Wood Preservation*, IRG/WP 94-40032, Nusa Dua, Bali-Indonesia, (1994).
- Viitaniemi P., Puun modifioinit lämpökäsittelyllä, *Woodworking (Puuntyöstö)*, (1996) 13-15.
- Viitaniemi P., Jamsa S., Viitanen H., Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products, *US Patent*, Patent Number: 5678324, (1997).

- Vila C., Francisco J.L., Santos V., Parajo J.C., Effects of hydrothermal processing on the cellulosic fraction of *Eucalyptus globulus* wood, *Holzforschung*, 67 (1) (2012) 33-40.
- Vindeisen E., Bachle H., Zimmer B., Wegener G., Relations between chemical changes and mechanical properties of thermally treated wood, *Holzforschung*, 63 (6) (2009) 773-778.
- Vukas N., Horman I., Hajdarević S., Heat treated wood, *14th International Research/Expert Conference, Trends in the development of machinery and associated technology (TMT), Mediterranean Cruise, 11-18 September, (2010)* 121-124.
- Wang J., Cooper P., Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63 (6) (2005) 417-422.
- Welzbacher C.R., Rapp A.O., Comparison of thermally modified wood originating from four industrial scale processes-durability, *International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 02-40229, Stockholm-Sweden, (2002)*.
- Westermarck U., Samuelsson B., Lundqvist K., Homolytic cleavage of the  $\beta$ - ether bond in phenolic  $\beta$ -O-4 structures in wood lignin and guaiacylglycerol- $\beta$ - guaiacyl ether, *Research on Chemical Intermediates*, 21 (3-5) (1995) 343-352.
- Wikberg H., Maunu S.L., Characterisation of thermally modified hard-and softwoods by  $^{13}\text{C}$  CPMAS NMR, *Carbohydrate Polymers*, 58 (4) (2004) 461-466.
- Wilkes J., The influence of rate of growth on the density and heartwood extractives content of eucalypt species, *Wood Science and Technology*, 18 (2) (1984) 113-120.
- Winandy, J. E., Lebow P.K., Modeling strength loss in wood by chemical composition, Part I, An individual component model for southern pine, *Wood and Fiber Science*, 33 (2) (2001) 239-254.
- Wise E.L., Karl H.L., Cellulose and hemicellulose in pulp and paper science and technology, Vol.1, Edited By C. Earl Libby, Mc Graw Hill Book Co., New York. (1962).

- Yaltırık F., Türkiye'de doğal yetişen dişbudak (*Fraxinus L.*) taksonları, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 21 (1) (1971) 143-158.
- Yaltırık F., *Türkiye'deki Doğal Oleaceae Taksonlarının Sistematik Revizyonu*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No. 2404, (1978) 31-54.
- Yıldız S., Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, (2002).
- Yıldız S., Odunda ısıtma işlem uygulaması, *Ahşap Teknik Dergisi-7*, (2005) 6-10.
- Yıldız S., Gezer E.D., Yıldız U.C., Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat, *Building and Environment*, 41 (12) (2006) 1762-1766.
- Yıldız S., Gumuskaya E., The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood, *Building and Environment*, 42 (1) (2007) 62-67.
- Yıldız Ü.C., Odun modifikasyonu, *Ahşap Teknik Dergisi*, 3 (2004) 72-79.
- Zaman A., Alen R., Kotilainen R., Heat behavior of *Pinus sylvestris* and *Betula pendula* at 200-230°C, *Wood and Fiber Science*, 32 (2) (2000) 138-143.
- Zdravko P., Nebojsa T., Danka G., Compressive strength and hardness of thermally modified sessile oak wood, *Prerada drveta*, 6 (21-22) (2008) 14-20.

## ÖZGEÇMİŞ

### *Kişisel Bilgiler*

Soyadı, adı : ŞAHİN, Halil İbrahim  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 15.03.1979 / ARSİN  
Telefon : 0 (380) 542 11 37  
Faks : 0 (380) 542 11 36  
e-mail : halilibrahimsahin@duzce.edu.tr

### *Eğitim*

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi / O. E. M. Bölümü	2006
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi / O. E. M. Bölümü	2002
Lise	Affan Kitapçıoğlu Lisesi / TRABZON	1996

### *İş Deneyimi*

Yıl	Yer	Görev
2007-Halen	Düzce Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2006-2007	TÜİK	Geçici Memur (4-C)

### **Yabancı Dil**

İngilizce



## Yayınlar

1. Gerengi H., Schaefer K., **Şahin H.İ.**, Corrosion-inhibiting effect of mimosa extract on brass-MM55 corrosion in 0,5M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> acidic media, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18 (6) (2012) 2204-2210.
2. Gerengi H., **Şahin H.İ.**, Schinopsis lorentzii extract as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 1M HCl solution, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51 (2) (2012) 780-787.
3. Gerengi H., Akçay Ç., Güler C., **Şahin H.İ.**, Orman ürünleri endüstrisinde kullanılan fenol ve melamin formaldehit tutkallarının paslanmaz çelik (AISI 316L) korozyonuna etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (2) (2012) 155-161.
4. Güler C., **Şahin H.İ.**, Çiçek E., Farklı dikim aralıklarında yetişen dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) odunlarının bazı anatomik ve morfolojik özellikleri, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (1) (2012) 35-40.
5. Gerengi H., Bilgiç H., **Şahin H.İ.**, Ekolojik inhibitör olarak fındikkabuğu, nar ve karalahananın % 5'lik NaCl çözeltisindeki çinko levha korozyonuna etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 6 (2) (2010) 10-22.
6. Güler C., **Şahin H.İ.**, Çiçek E., Hercai karaağacı (*Ulmus leavis* Pall.) odununun bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 6 (1) (2010) 1-11.
7. Gerengi H., **Şahin H.İ.**, Schaefer K., Şahin M., Güler C., Investigation of the effect of molasses on the corrosion of stainless steel in acidic media by Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method, 2<sup>nd</sup> International non-wood products symposium, 8-10 September, Isparta, Turkey, (2011).
8. Güler C., **Şahin H.İ.**, Şen S., Morphological and impregnability properties of narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) wood taken from plantations with different spacings, *The 40<sup>th</sup> Annual Meeting International Research Group on Wood Protection (IRG 40)*, IRG/WP 09-40475, 24-28 May, Beijing, China, (2009).

9. Tozluoğlu A., **Şahin H.İ.**, Bekar İ., Tarımsal atık bileşenlerinden kimyasal ve enerji üretiminde faydalanma, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye, (2009).
10. Gedik T., Aydın A., Yıldırım İ., **Şahin H.İ.**, Türkiye'deki kağıt üreticilerinin mevcut sorunları ve çözüm önerileri, *Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler*, 17-19 Ekim, İstanbul, (2007).
11. Deniz İ., Eroğlu M., Yaşar A., Öz M., **Şahin H.İ.**, Reçine kelebeği (*Dioryctria sylvestrella*) tahribatıyla oluşan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) reçinesinin uçucu bileşenleri, *I. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1-4 Kasım, Trabzon, (2006).
12. **Şahin H. İ.**, Akdağ E., Atık kağıtlardan kompozit levha üretimi, *VI. Ulusal Orman Fakülteleri Öğrenci Kongresi*, 8-9 Mayıs, Düzce, (2008).
13. Şen S., Deniz İ., **Şahin H.İ.**, Sepi maddesi eldesinde önemli odun dışı ürünlerimiz, üretimleri ve kullanımları ile ilgili sorunlar ve çözüm önerileri, *I. Çevre ve Ormanlık Şurası*, Bildiriler Kitabı, Antalya, (2005).
14. Deniz İ., Şen S., **Şahin H.İ.**, Reçine üretiminde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, *I. Çevre ve Ormanlık Şurası*, Bildiriler Kitabı, Antalya, (2005).
15. Deniz İ., Yaylı N., Kırcı H., Yaşar A., Ersoy E.K., **Şahin H.İ.**, Doğu ladini (*Picea orientalis* L.) dip kütük ve köklerinden ekstraksiyon yöntemiyle reçine üretimi, *Ladin Sempozyumu*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 20-22 Ekim, Trabzon, (2005).
16. Deniz İ., Tutuş A., Ateş S., **Şahin H.İ.**, Kraft ve modifiye kraft yöntemlerinin ladin (*Picea orientalis* L.) odunu hamur özellikleri üzerine etkisi, *Ladin Sempozyumu*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 20-22 Ekim, Trabzon, (2005).
17. **Şahin H.İ.**, Arıcan F. Öz M., Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.)'dan asit-pasta tekniği ile reçine üretimi, *V. Orman Fakülteleri Öğrenci Kongresi*, 29 Nisan-01 Mayıs 2004, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 2. Cilt- Orman Endüstri Mühendisliği, (2004) 109-113.