

**FARKLI YÖNTEMLERLE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ AĞAÇ
MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

SELÇUK BAYRAKTAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞAÇ İŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HÜSEYİN PELİT**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANS ÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI YÖNTEMLERLE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ AĞAÇ
MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Selçuk BAYRAKTAR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hüseyin PELİT
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hüseyin PELİT (Danışman)
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat DÖNGEL
Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KORKMAZ
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 20/06/2023

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.

20 Haziran 2023

Selçuk BAYRAKTAR

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Hüseyin PELİT'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Erol KOÇ arkadaşına, katkılarından dolayı tez jürisindeki hocalarım Doç. Dr. Nihat DÖNGEL ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KORKMAZ'a ve bu süreçte benimle beraber yorulan sevgili eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

20 Haziran 2023

Selçuk BAYRAKTAR



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	XI
SİMGELER	XII
1. GİRİŞ.....	10
2. GENEL BİLGİLER	12
2.1. AĞAÇ MALZEME GENEL ÖZELLİKLERİ.....	12
2.1.1. Ağaç Malzemenin Fiziksel Özellikleri.....	12
2.1.1.1. Odun-Su İlişkileri.....	12
2.1.1.2. Ağırlık – Hacim İlişkileri	15
2.1.1.3. Termik Genleşme	15
2.1.1.4. Isı İletkenliği	16
2.1.1.5. Ahşabın Sertlik Özelliği	16
2.1.1.6. Ahşapta Renk ve Parlaklık	16
2.1.2. Ağaç Malzemenin Kimyasal Özellikleri.....	16
2.1.2.1. Selüloz.....	17
2.1.2.2. Hemiselüloz.....	18
2.1.2.3. Lignin.....	18
2.1.2.4. Ekstraktif Maddeler	18
2.1.3. Ağaç Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	18
2.1.3.1. Basınç Direnci	19
2.1.3.2. Çekme Dayanımı	20
2.1.3.3. Eğilme Direnci.....	20
2.1.3.4. Makaslama Dayanımı	21
2.1.3.5. Yarıлма Direnci	22
2.1.3.6. Elastikiyet Modülü	23
2.2. ISIL İŞLEM.....	24
2.2.1. Isıl İşlemin Ağaç Malzeme Özellikleri Üzerine Etkileri	24
2.2.1.1. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi	25
2.2.1.2. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi	26
2.2.1.3. Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi.....	27
2.2.2. Isıl İşlem Yöntemleri.....	28
2.2.2.1. PlatoWood Yöntemi	29
2.2.2.2. Sıcak Yağ Yöntemi (Oil Heat Treatment - OHT).....	30
2.2.2.3. Fransız Retification (Retified Wood) Yöntemi	31
2.2.2.4. ThermoWood Yöntemi.....	31
2.3. AĞAÇ MALZEME.....	33
2.3.1. Avrupa kayını (<i>Fagus Sylvatica</i> L.)	33
2.3.2. Sarıçam (<i>Pinus sylvestris</i> L.).....	33
3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	35
4. MATERYAL VE METOD	40
4.1. MALZEME	40
4.1.1. Ağaç Malzeme.....	40
4.1.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	40

4.1.3. Isıl işlem Uygulamaları	42
4.1.4. Deney Örneklerinin Ölçülendirilmesi	44
4.2. DENEY METODU.....	45
4.2.1. Retensiyonun Belirlenmesi	45
4.2.2. Su Alma Oranı ve Boyutsal Değişimin Belirlenmesi.....	45
4.2.3. Yoğunluğun Belirlenmesi	46
4.2.4. Eğilme Direncinin Belirlenmesi	47
4.2.5. Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi	48
4.2.6. Janka Sertliğin Belirlenmesi	48
4.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi.....	50
5. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ.....	51
5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER	51
5.1.1. Retensiyon.....	51
5.1.2. Hava Kuru Yoğunluk.....	51
5.1.3. Su Alma Oranı.....	55
5.1.4. Hacimsel Şişme	59
5.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	63
5.2.1. Statik Eğilme Direnci.....	64
5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü	67
5.2.3. Janka Sertlik.....	72
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	76
6.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER	76
6.1.1. Hava Kuru Yoğunluk.....	76
6.1.2. Su Alma Oranı.....	77
6.1.3. Hacimsel Şişme	79
6.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	80
6.2.1. Statik Eğilme Direnci.....	80
6.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü	82
6.2.3. Janka Sertlik.....	83
7. KAYNAKLAR	86

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Ağaç uzunluğuna paralel lifli hücre yapısı [13].	12
Şekil 2.2. Hücre kesitinin görüntüsü (hücre lümeninde serbest su ve hücre duvarında bağlı su).	13
Şekil 2.3. Ahşaptaki rutubet oranı ve boyut değişimi [15].	14
Şekil 2.4. Ahşap malzemedeki nem ve mukavemet oranı [16].	14
Şekil 2.5. Ağaç malzemenin kimyasal bileşikleri [22].	17
Şekil 2.6. Ağaç malzeme liflere dik ve paralel basınç numunesi [26].	19
Şekil 2.7. Liflere paralel ve dik çekme dayanımı [14].	20
Şekil 2.8. Ünlversal test cihazı ile eğilme direnci testi [26].	21
Şekil 2.9. Ahşabın liflere paralel yönde makaslama dayanımı [14].	22
Şekil 2.10. Ahşap malzemedeki yarıllma dayanımı [14].	23
Şekil 2.11. Doğru kayını ahşap malzemesinde yapılan eğilme deneyinde zor-zorlama bağlantısı [14].	23
Şekil 2.12. Isıl işlem ve kurutma işlemi sonucunda ahşap malzemenin bileşiklerinde ortaya çıkan değişiklikler [36].	25
Şekil 2.13. Isıl işlem uygulanmış ahşabın reaksiyon mekanizması [39].	26
Şekil 2.14. Hemiselülozun hidroliz yoluyla daha az higroskopik olan furfural polimerlerine dönüşmesi [39].	27
Şekil 2.15. PlatoWood yöntemi işlem safhaları [48].	30
Şekil 2.16. Yağlı ısıll işlemi yönteminin şematik olarak gösterilmesi [49].	31
Şekil 2.17. Yağla ısıll muamele fırını [50].	31
Şekil 2.18. ThermoWood uygulama yönteminin şematiksel diyagramı [54].	33
Şekil 4.1. Taslak ölçülerinde kesilmiş deney örnekleri.	40
Şekil 4.2. Deney örneklerinin iklimlendirme kabininde bekletilmesi.	41
Şekil 4.3. Deney örneklerinin bezir yağı ile emprenye edilmesi.	41
Şekil 4.4. Deney örneklerinde emprenye sonrası ağırlık tartımı yapılması.	42
Şekil 4.5. Isıl işlem uygulamalarında kullanılan laboratuvar tipi fırın.	42
Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklardaki (a: 170 °C, b: 190 °C ve c: 210 °C) ısıll işlem prosesleri.	43
Şekil 4.7. Isıl işlemde önce ve sonra bazı örneklerin görünümüleri.	43
Şekil 4.8. Isıl işlem sonrası örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.	44
Şekil 4.9. Etüvde bekletme sonrası örneklerin ağırlık ve ölçülerinin belirlenmesi.	46
Şekil 4.10. Örneklerin distile su bulunan kaptaki bekletilmesi.	46
Şekil 4.11. İklimlendirme dolabında bekletilen örnekler.	47
Şekil 4.12. Eğilme testi öncesi ölçüm ve test uygulaması.	48
Şekil 4.13. Örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.	49
Şekil 4.14. Janka sertlik testi.	49
Şekil 5.1. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin hava kurusu yoğunluk değeri.	55
Şekil 5.2. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin su alma oranı değeri.	59
Şekil 5.3. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin hacimsel şişme değeri.	63
Şekil 5.4. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin eğilme direnci değeri.	67
Şekil 5.5. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin elastikiyet modülü değeri.	71
Şekil 5.6. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin Janka sertlik değeri.	75

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Farklı ağaç türlerinin taze haldeki rutubet değerleri.....	13
Çizelge 2.2. Ağaçların özgül ağırlıklarının sınıflandırılması [18].....	15
Çizelge 2.3. Ahşabın elementer yapısı [22].....	17
Çizelge 2.4. Farklı ağaç çeşitlerinin liflere paralel basınç direnci değerleri [27].....	20
Çizelge 2.5. Farklı ağaç türlerinin eğilme dayanımları [14].....	21
Çizelge 2.6. Farklı ağaç türlerinin makaslama dayanımları [14].....	22
Çizelge 2.7. Farklı ağaç türlerinin yarıma dayanımları [14].	23
Çizelge 2.8. Isıl işlem yöntemlerinin temel karakteristikleri [47].	29
Çizelge 4.1. Testler için hazırlanan örneklerin ölçü ve sayısı.	44
Çizelge 5.1. Ağaç malzemelerin retensiyon miktarları.....	51
Çizelge 5.2. Deney örneklerinin yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm ³).....	51
Çizelge 5.3. Örneklerin yoğunluk değerleri için ANOVA sonuçları.	52
Çizelge 5.4. Ağaç türüne ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).....	52
Çizelge 5.5. Isıl işlem yöntemine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).....	53
Çizelge 5.6. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).....	53
Çizelge 5.7. Ağaç türü-ısıtıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).	54
Çizelge 5.8. Ağaç türü-ısıtıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).	54
Çizelge 5.9. Isıl işlem yöntemi-ısıtıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm ³).	55
Çizelge 5.10. Deney örneklerinin su alma değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%). ...	56
Çizelge 5.11. Su alma oranı değerleri için ANOVA sonuçları.....	56
Çizelge 5.12. Ağaç türüne ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%)..	57
Çizelge 5.13. Isıl işlem yöntemine ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).....	57
Çizelge 5.14. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).....	57
Çizelge 5.15. Ağaç türü-ısıtıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	58
Çizelge 5.16. Ağaç türü-ısıtıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	58
Çizelge 5.17. Isıl işlem yöntemi-ısıtıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	59
Çizelge 5.18. Deney örneklerinin hacimsel şişme değerleri (%).	60
Çizelge 5.19. Hacimsel şişme değerleri için ANOVA sonuçları.....	60
Çizelge 5.20. Ağaç türüne ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).....	61
Çizelge 5.21. Isıl işlem yöntemine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).....	61
Çizelge 5.22. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).....	61

Çizelge 5.23. Ağaç türü-ısıtım işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	62
Çizelge 5.24. Ağaç türü-ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	62
Çizelge 5.25. Isıtım işlem sıcaklığı-ısıtım işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).	63
Çizelge 5.26. Deney örneklerinin eğilme direnci değerleri (N/mm^2).	64
Çizelge 5.27. Eğilme direnci değerleri için ANOVA sonuçları.	64
Çizelge 5.28. Ağaç türüne ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	65
Çizelge 5.29. Isıtım işlem yöntemine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	65
Çizelge 5.30. Isıtım işlem sıcaklığına ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	65
Çizelge 5.31. Ağaç türü-ısıtım işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	66
Çizelge 5.32. Ağaç türü-ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	66
Çizelge 5.33. Isıtım işlem yöntemi- ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	67
Çizelge 5.34. Deney örneklerinin elastikiyet modülü değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2).	68
Çizelge 5.35. Elastikiyet modülü değerleri için ANOVA sonuçları.	68
Çizelge 5.36. Ağaç türüne ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	69
Çizelge 5.37. Isıtım işlem yöntemine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	69
Çizelge 5.38. Isıtım işlem sıcaklığına ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	69
Çizelge 5.39. Ağaç türü-ısıtım işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	70
Çizelge 5.40. Ağaç türü-ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	70
Çizelge 5.41. Isıtım işlem yöntemi-ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm^2).	71
Çizelge 5.42. Deney örneklerinin sertlik değerleri ($N \cdot 10^2$).	72
Çizelge 5.43. Sertlik değerleri için ANOVA sonuçları.	72
Çizelge 5.44. Ağaç türüne ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).	73
Çizelge 5.45. Isıtım işlem yöntemine ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).	73
Çizelge 5.46. Isıtım işlem sıcaklığına ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).	73
Çizelge 5.47. Ağaç türü-ısıtım işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).	74
Çizelge 5.48. Ağaç türü-ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).	74
Çizelge 5.49. Isıtım işlem yöntemi-ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşime ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).	75

KISALTMALAR

ANOVA	Analysis of Variance
BD	Basınç Direnci
ED	Eğilme Direnci
EM	Elastikiyet Modülü
HG	Homojenlik Grubu
ISO	International Standart Organization
LCD	En Küçük Önemli Aralık
LDN	Lif Doygunluğu Noktası
MOE	Elastikiyet Modülü
MOR	Eğilme Direnci
Ns	Önemsiz
OHT	Oil Heat Treatment (Sıcak yağlı muamele)
SAO	Su Alma Oranı
St. S.	Standart Sapma
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü Euro Norm
UV	Ultraviyole
VTT	Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi

SİMGELER

C	Karbon
CH ₃	Metil grup
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural
C ₆ H ₆ O ₃	Hidroksimetilfurfural
F _{max}	Kırılma anındaki maksimum kuvvet
H	Hidrojen
L _r	Rutubetli Ölçü
L ₀	Tam kuru ölçü
L _s	Dayanak açıklığı
M ₀	Tam Kuru Ağırlık
M ₁₂	Hava Kurusu Ağırlık
M _{eö}	Emprenye öncesi ağırlık
M _{es}	Emprenye sonrası yaş ağırlık
MPa	Megapaskal
M _R	Suda bekletme sonrası rutubetli örnek ağırlığı
N	Newton
O	Oksijen
V ₀	Tam Kuru Hacim
V ₁₂	Hava Kurusu Hacmi
°C	Santigrat Derece
δ ₀	Tam Kuru Yoğunluk
δ ₁₂	Hava Kurusu Yoğunluk
α _g	Genişlik yönünde boyutsal artış yüzdesi
α _k	Kalınlık yönünde boyutsal artış yüzdesi
σ _b	Liflere paralel basınç direnci
σ _e	Eğilme Direnci
$\bar{x}$	Aritmetik Ortalama
Δ _F	Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkı

ÖZET

FARKLI YÖNTEMLERLE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ AĞAÇ MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Selçuk BAYRAKTAR

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin PELİT

Haziran 2023, 95 sayfa

Bu tez çalışmasında, farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklık koşullarında ısıtım işlemi uygulanmış ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sarıçam (*Pinus Silvestris* L.) ve Avrupa kayını (*Fagus Sylvatica* L.) odunlarından hazırlanmış olan örnekler, sıcak hava, yağlı işlem ve ThermoWood yöntemleri ile 170 °C, 190 °C ve 210 °C sıcaklıkta ayrı ayrı ısıtım işlemine tabi tutulmuştur. Isıtım işlemli ve kontrol grubu deney örneklerinde fiziksel özellikleri belirlemek amacıyla, hava kurusu yoğunluk (TS ISO 13061-2), su alma oranı ve boyutsal değişim (TS ISO 13061-15) testleri, mekanik özellikleri belirlemek için ise, statik eğilme direnci (TS ISO 13061-3), eğilmede elastikiyet modülü (TS ISO 13061-4) ve Janka sertlik (TS ISO 13061-12) testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, uygulanan ısıtım işlem yöntemleri ve sıcaklık seviyeleri ahşap örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini farklı şekilde etkilemiştir. Tüm yöntemler için, ahşap örneklerin su alma ve boyutsal değişim değerleri ısıtım işlem sonucu sıcaklık artışına da bağlı olarak azalmıştır. Özellikle yağlı ısıtım işlem uygulanan örneklerin higroskopisitesi büyük ölçüde azalmış ve boyutsal stabilitesi önemli derecede artmıştır. Ayrıca, yağlı ısıtım işlem yönteminde diğer iki yöntemin aksine yoğunluk değerleri artmıştır. Diğer taraftan sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin yoğunluk, sertlik ve mekanik direnç özellikleri tüm ısıtım yöntemlerinde sıcaklıktaki artış ile azalmıştır. Ancak, ThermoWood ve özellikle de yağlı ısıtım yöntemlerinde düşük sıcaklıkta (170 °C) ısıtım işlem sonrası mekanik direnç ve sertlik değerleri ısıtımsız örneklerle göre artış göstermiştir. Sıcak hava yöntemi ile karşılaştırıldığında, ThermoWood yönteminde genel olarak daha yüksek direnç ve sertlik değerleri belirlenmiştir. Ancak her iki ağaç türü için en başarılı sonuçlar yağlı ısıtım işlem yönteminde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Isıtım işlem sıcaklığı, Isıtım işlem yöntemi, Fiziksel ve Mekanik özellikler.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT-TREATED WOOD MATERIALS WITH DIFFERENT METHODS

Selçuk BAYRAKTAR

Düzce University
Postgraduate School of Education, Department of Wood
Products Industrial Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin PELİT

June 2023, 95 pages

In this thesis, some physical and mechanical properties of wood materials heat-treated by different methods and under different temperature conditions were investigated. Samples prepared from Scotch pine (*Pinus Silvestris* L.) and European beech (*Fagus Sylvatica* L.) woods were heat treated separately at 170 °C, 190 °C and 210 °C using hot air, oil treatment and ThermoWood methods. Air dry density (TS ISO 13061-2), water absorption rate and dimensional change (TS ISO 13061-15) tests were performed to determine the physical properties and static bending strength (TS ISO 13061-3), modulus of elasticity in bending (TS ISO 13061-4) and Janka hardness (TS ISO 13061-12) tests were performed to determine the mechanical properties of the heat treated and control group samples. According to the results of the study, the applied heat treatment methods and temperature levels affected the physical and mechanical properties of the wood samples differently. For all methods, the water absorption and dimensional change values of the wood samples decreased after heat treatment and also with increasing temperature. In particular, the hygroscopicity of the samples subjected to oil heat treatment was greatly reduced and the dimensional stability was significantly increased. In addition, the density values increased in the oil heat treatment method in contrast to the other two methods. On the other hand, the density, hardness and mechanical strength properties of Scotch pine and European beech samples decreased with temperature increase in all heat treatment methods. However, in ThermoWood and especially in oily heat treatment methods, the mechanical strength and hardness values increased after heat treatment at low temperature (170 °C) compared to the samples without heat treatment. Compared to the hot air method, generally higher strength and hardness values were determined in the ThermoWood method. However, the most successful results for both wood species were found in the oil heat treatment method.

Keywords: Wood materials, Heat treatment temperature, Heat treatment method, Physical and Mechanical properties.

1. GİRİŞ

Ağaç malzeme, tarih boyunca insanların ihtiyaçlarını birçok alanda karşılamış ve günümüzde de teknolojik gelişmelerle birlikte çok daha fazla kullanım alanına sahip endüstriyel bir malzeme haline gelmiştir. Yeni kullanım alanlarının ve insan nüfusunun artmasıyla ağaç malzemeye olan talepte artmakta ancak bu durum, orman mevcudu bakımından özellikle bazı ağaç türleri üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. Mevcut orman kaynaklarının daha verimli ve daha dengeli olarak kullanılması için, özellikle düşük dirence sahip ağaç türlerinde çeşitli modifikasyon işlemlerinin uygulanması önem arz etmektedir [1].

Geniş kullanım alanına sahip olan ahşap malzeme, doğal ve yenilenebilen bir hammaddedir. Mekaniksel, fiziksel ve kimyasal olarak yapısına müdahale edilebilen ve düşük yoğunluk değerlerine sahip olmasına rağmen direnci yüksek bir malzemedir. Ahşap malzemenin işlenmesinin kolay olması, elektrik, ısı ve ses izolasyonu, akustik özellikleri, desen ve renk uyumu, üst yüzey işlemlerine uygun olması, dekor açısından kaliteli olması gibi üstün özellikleri ahşap malzemeyi vazgeçilmez bir yapı malzemesi kılmaktadır [2], [3].

Ahşap malzeme, birçok üstün özelliğe sahip olmasının yanı sıra bazı olumsuz özellikler de barındırmaktadır. Ahşap malzeme organik bir materyal olduğundan çok çeşitli organizmalar (böcekler, termitler, bakteriler, mantarlar, deniz canlıları vb.) tarafından tahrip edilip bozunabilmekte, higroskopik ve anizotropik yapısından kaynaklı olarak bulunduğu ortamın sıcaklık ve bağıl nemine göre rutubet alışverişinde bulunması ahşap malzemede farklı şekil değişiklikleri yaşanmasına neden olmaktadır [3].

Ahşap malzemede arzu edilmeyen özellikleri ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için çeşitli modifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin boyutsal değişim, biyolojik bozunma gibi olumsuz özelliklerini iyileştirmek ve böylece hizmet ömrünü uzatmak amacıyla yapılan ve uygulaması devamlı olarak artış gösteren ahşap malzeme modifikasyon tekniklerinden birisi de ısı (termal) işlemlerdir [1].

Kimyasal madde kullanmaksızın 160 °C'den yüksek sıcaklıklarda ve kısıtlı bir oksijen ortamında ağaç malzemenin çeşitli özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan ısı işlem genel olarak kabul gören ve ticarileşmiş bir yöntemdir [4], [5]. Ağaç malzemede ısı işlem

uygulaması genel olarak iki amaca hizmet etmektedir. Bunlardan ilki mantar ve böcek gibi tahrip edici organizmalara karşı ağaç malzemenin biyolojik dayanıklılığını arttırmak, ikincisi ise denge rutubet miktarının (DRM) azaltılması sonucu çalışmasını en az düzeye getirerek malzemenin boyutsal kararlılığını iyileştirmektir [6]-[8]. Ayrıca, ısıtma işlemi ağaç malzemenin dış ortamlarda kullanıma uygun hale gelmesine, dekoratif özelliklerinin artırılmasına ve kullanım süresinin uzamasına olanak sağlamaktadır [9].

Ağaç malzemeye ısıtma işlemi uygulanması bilimsel açıdan ilk kez Almanya'da 1930'lu yıllarda Hansen ve Stamm tarafından gerçekleştirilmiştir. 1940'lı yıllarda Amerika'da White ve 1950'li yıllarda Almanya'da Rundel, Buro ve Bavendam bu konu ile ilgili araştırmalarda bulunmuşlardır. Schnoeder ve Kollman 1960'lı yıllarda elde ettikleri bilgileri yayınlamışlar ve bilimsel olarak daha çok kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır [10]. Bu çalışmalar yoğun olarak 1990'lı yıllardan sonra Fransa, Hollanda ve Finlandiya'da bilim insanları tarafından yapılmıştır. Bir çok önemli teorik ve bilimsel çalışmalar Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından yapılmıştır [11]. Günümüzde ticari olarak uygulanan farklı ısıtma yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar; Plato yöntemi (Hollanda), Retification ve Les Bois Perdure yöntemleri (Fransa), yağlı ısıtma işlemi (Almanya) ve ThermoWood (Finlandiya) yöntemidir.

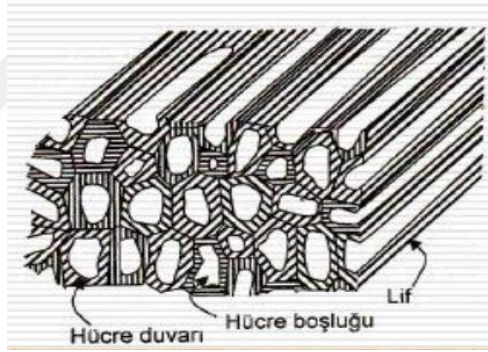
Bu tez çalışmasında, farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklıklarda ısıtma işlemi uygulanmış Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) ve sarıçam (*Pinus silvestris* L.) odunu örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ağaç malzemeler üç farklı ısıtma işlemi (ThermoWood, sıcak hava ve yağlı işlem) ve üç ayrı sıcaklıkta (170 °C, 190 °C ve 210 °C) işlem görmüştür. Uygulanan farklı yöntemlerin ve sıcaklık değerlerinin ahşap örneklerde bazı fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiş ve meydana gelen değişimler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. AĞAÇ MALZEME GENEL ÖZELLİKLERİ

Ağaç uzun ömürlü, her yıl boy ve çap artımı yapan, odunsu dokulara sahip bir bitki olup, boyu 5 m’den fazladır. Bir ağaç, kök, gövde ve taç kısımlarından oluşur. Gövde, köklerin topraktan aldığı su ve mineral tuzlarıyla beslenen ham besi suyunu yapraklara iletmektedir. Bu mineral tuzları arasında kalsiyum, potasyum, fosfor, kükürt, demir, magnezyum ve azot bulunur. Gövdenin odun kısmı, olumsuz iklim şartlarına ve yaralanmalara karşı koruma sağlayan kabukla kaplıdır. Kabuk, iç kabuk ve dış kabuk olarak iki bölümden oluşur [12].

Ağaçtan elde edilen ahşap malzeme, canlı bir organizmanın ürünü olup lifli, higroskopik, anizotrop ve heterojen bir yapıya sahiptir (Şekil 2.1) [13].



Şekil 2.1. Ağaç uzunluğuna paralel lifli hücre yapısı [13].

2.1.1. Ağaç Malzemenin Fiziksel Özellikleri

Odunun fiziksel özellikleri; ağırlık-hacim ilişkileri, odun-su ilişkileri, termik, akustik ve elektriksel özelliklerini kapsar [14].

2.1.1.1. Odun-Su İlişkileri

Odun, hücre çeperi içerisindeki miseller ve fibriller arası boşluklar ile hücre boşlukları (lümen) nedeniyle oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir. Higroskopik (nemçeker) bir özellikte olan odunun, iç yüzey alanı arttıkça nem çekme kapasiteleri de artar. Bu nedenle odun kurutma dolabı şartlarında tamamen kurutulmadığı sürece bünyesinde su barındırır. Hücre çeperlerinde tutulan suya hücreye bağlı su denirken, lümenlerde tutulan suya

serbest su denir [14].

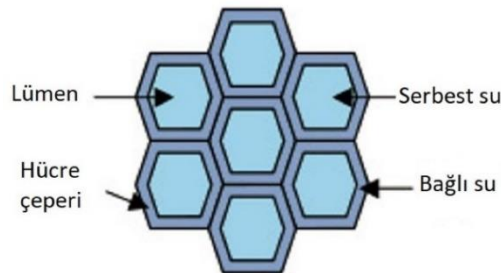
Kesimi yeni yapılan bir ağacın iç boşluk kısımlarında besi suyu ve az miktarda gaz bulunur. Bu durum, odunun taze halini oluşturur ve ağaç türlerine göre taze hal rutubeti %40 ile %120 aralığında değişmektedir [14]. Ahşap malzemenin temelini oluşturan selüloz ısıyı geçirmeyen bir bileşendir. Ancak ısıнын iletkenliği ahşabın nem oranına, cinsine ve lif yönüne göre değişiklikler sunmaktadır [19]. Ahşabın düşük ısı iletkenlik katsayısı sayesinde diğer malzemelerle kıyaslandığında daha az ısı iletir ve etkili bir yalıtım sağlar [20].

Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubet değerleri Çizelge 2.1’de listelenmiştir.

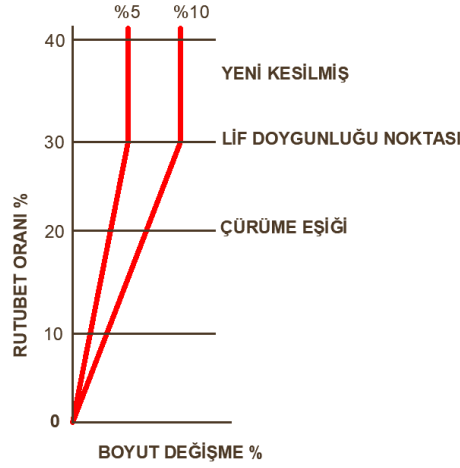
Çizelge 2.1. Farklı ağaç türlerinin taze haldeki rutubet değerleri.

Ağaç türü		Rutubet %	
		Diri odun	Öz odun
Geniş Yapraklı Ağaçlar	Doğu kayını	110	55
	Kavak	135	80
	Ihlamur	75	80
	Kestane	90	80
İğne Yapraklı Ağaçlar	Ladin	145	35
	Gökmar	165	40
	Çam	130	50

Yeni kesilmiş odun kurutulmaya bırakıldığında, öncelikle serbest su buharlaşır. Serbest suyun tamamen buharlaşıp ahşap malzemede sadece hücre çeperine bağlı su kaldığında, ahşabın rutubeti lif doygunluğu noktasına (LDN) ulaşır (Şekil 2.2). Ağaç türlerine bağlı olarak, LDN rutubeti genellikle %20 ile %35 arası değişen değerler almaktadır (Şekil 2.3). LDN (lif doygunluğu noktası) ortalama bir değer olarak %28 kabul edilmektedir [8].



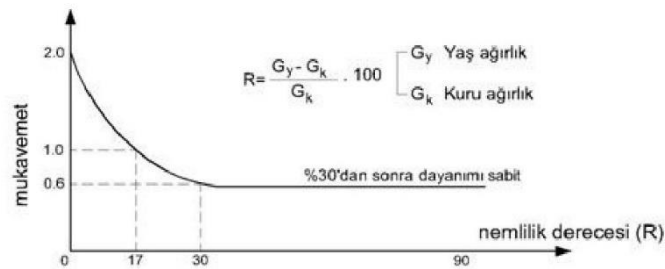
Şekil 2.2. Hücre kesitinin görüntüsü (hücre lümeninde serbest su ve hücre duvarında bağlı su).



Şekil 2.3. Ahşaptaki rutubet oranı ve boyut değişimi [15].

Ahşap malzemede bulunan nem miktarı ahşaba her yönden etki etmektedir. İstenilen düzeydeki bir nem oranı ahşaptaki çoğu değişkene direkt olarak etki edecektir. Nemlilik değeri artış gösteren bir ahşap malzemede mukavemette azalma olacaktır. Ancak nem oranının %30'u aşması sonrası mukavemette herhangi bir değişiklik olmayıp bu oran mukavemet yönünden sınır değer olarak kabul görmektedir (Şekil 2.4). Ahşabın yapısında ortaya çıkan hacimsel değişikliklerin sebebi olan rutubet, mekanik özelliklerde değişimlere neden olur ve ahşabın kullanım ömrünü büyük oranda azaltır. Özellikle tamamen kuru hal olarak kabul edilen %0 nem oranı ile lif doygunluğu noktası olarak kabul edilen %30 nem oranları arasında hacimsel farklılıklar görülmektedir. Ahşap malzemenin şişmesi ve daralması gibi oluşan durumların genel adı “odunun çalışması” olarak adlandırılmaktadır [16].

Ahşap malzemenin nem oranı yeni kesilen ağaçlarda %130 - %50 arasında değişirken, piyasada kuru kabul edilen ahşapta %22 - %18 ve fırında yapay olarak kurutulmuş olanlarda nem oranı ise genellikle %8'in altında değerlendirilebilir. Standart olarak %12 - %15 aralığındadır [17].



Şekil 2.4. Ahşap malzemedeki nem ve mukavemet oranı [16].

Ahşap malzemenin nem oranı yukarıda bulunan formül yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada G_k ; ahşabın kuru ağırlığını, G_y ; ahşabın yaş ağırlığını, R ; nemlilik derecesini göstermektedir [16].

2.1.1.2. Ağırlık – Hacim İlişkileri

Ahşap malzemenin yoğunluğu, ahşabın diğer fiziksel ve mekanik özellikleri ile kullanım imkânları hakkında fikir sağlayan bir faktördür. Örneğin, yüksek yoğunluklu ahşabın esnekliği, sertliği ve direnci düşük yoğunluklu ahşaptan daha yüksektir. Odunun hacmi ve ağırlığı, bünyesinde bulunan su oranına göre değişim sağlar. Ahşabın özgül kütlesi ya da yoğunluğunun hangi rutubet için verildiği belirlenmelidir. Hava kurusu yoğunluk ($\delta_{12} = m_{12} / V_{12}$), tam kuru yoğunluk ($\delta_0 = m_0 / V_0$) açıklamasında belirtildiği gibi yoğunluk oranının hangi rutubete sahip olduğu belirtilir [14].

Ahşap malzemenin nem oranıyla birim hacim ağırlığı arasında bir bağlantı vardır ve %15 nem oranına denk gelen birim hacim ağırlığı ahşap türüne bağlı olarak $0,1 \text{ t/m}^3$ ile $1,5 \text{ t/m}^3$ arasında değer almaktadır. Birim hacim ağırlığı yüksek olan ahşaplar genellikle daha yüksek mekanik direnç özelliklerine sahiptir ancak işlenmeleri zordur. Birim hacim ağırlığı düşük olan ahşaplar ise genellikle daha düşük direnç özelliklerine sahip olup işlenmeleri daha kolaydır [14]. Bazı ağaç türlerinin özgül ağırlıklarının sınıflandırılması Çizelge 2.2’de listelenmiştir.

Çizelge 2.2. Ağaçların özgül ağırlıklarının sınıflandırılması [18].

Sınıfı	Özgül ağırlığı (gr / cm ³)	Ağaç türleri
Çok hafif ahşap	0,43 gr/cm ³ ’e kadar olanlar	At kestanesi, Balsa, Akçaağaç, Ardıç çamı, Ihlamur, Ladin, Kavak, Kırmızı çam, Kırmızı gürgen, Köknar
Hafif ahşap	0,44 - 0,72 gr/cm ³ olanlar	Dışbudak, Çınar, Ceviz, Melez çamı, Tik, Kestane, Kızılağaç, Söğüt, Sedir, Karaağaç, Huş
Ağır ahşap	0,73 - 0,99 gr/cm ³ olanlar	Porsuk ağacı, Ak gürgen, Maun, Zeytin, Kiraz, Meşe, Akasya, Karaçam, Elma, Erik, Pelesenk, Armut
Çok ağır ahşap	1gr/cm ³ ’den fazla olanlar	Abanoz, Gül ağacı, Şimşir

2.1.1.3. Termik Genleşme

Tüm katı maddelerde olduğu gibi ahşap malzeme, ısının tesiri ile genleşme gösterir, soğuması durumunda ise büzülme sağlar. Higroskopik sınırlarda ahşabın su kaybına uğrayarak daralması veya genişlemesi dışında, ısı etkisiyle meydana gelen genleşme veya büzülme miktarları ihmal edilebilecek derecede düşüktür. Bununla birlikte, ahşabın ısı

etkisiyle hacmen genişmesinin küçük olması, yangın esnasında yapıların çatlama ve çökmesini engellediği için faydalı bir özellik sunar [14].

2.1.1.4. Isı İletkenliği

Ahşap malzemenin temelini oluşturan selüloz ısıyı geçirmeyen bir bileşendir. Ancak ısıнын iletkenliği ahşabın nem oranına, cinsine ve lif yönüne göre değişiklikler sunmaktadır [19]. Ahşabın düşük ısı iletkenlik katsayısı sayesinde diğer malzemelerle kıyaslandığında daha az ısı iletir ve etkili bir yalıtım sağlar [20].

2.1.1.5. Ahşabın Sertlik Özelliği

Ahşap malzemenin dayanıklılığı koruyucu işlemlere bağlı olmaksızın dış etkenlere karşı dayanıklı olmasıdır. İçeriğinde bulunan doğal antiseptik maddeler sebebiyle meşe, kestane, gürgen, çam dayanıklı ağaç türleridir. Doğu kayını, dişbudak, çınar, ıhlamur, kavak, söğüt az dayanıklıdır [21]. Ahşap malzemenin kesilmeye ve işlenmeye karşı göstermiş olduğu dirence sertlik denir. Sertlik değeri ahşabın nem miktarı, türü ve yapısal özelliklerinin yanı sıra özgül ağırlığı ile doğru orantılı olarak artış gösterir. Nem miktarı fazlaştıkça sertlik değeri düşmektedir. Tamamıyla kuru olan ahşap malzemenin sertlik değeri en fazla seviyededir [18].

2.1.1.6. Ahşapta Renk ve Parlaklık

Ahşap malzemelerin renkleri dış odun ve iç odunda farklılaşır. Bunun yanı sıra, birtakım ahşapların kuruma işlemi sonrası renklerinde değişiklik olabilir. Ağaçların renkleri, ağaçtan ağaca ve hatta aynı ağaç içerisinde bile farklılık gösterebilir. Parlaklık ağaç malzeme yüzeyinin ışığı yansıtma yeteneği ile ilişkilidir. İç odun dış oduna göre; öz kesit ise diğer kesitlere göre daha fazla parlaklık gösterir [21].

2.1.2. Ağaç Malzemenin Kimyasal Özellikleri

Ahşabın elementer bileşimi asıl olarak C, H ve O'den meydana gelmekte, çok az oranlarda (< %1) N ve kül bulunmaktadır [14].

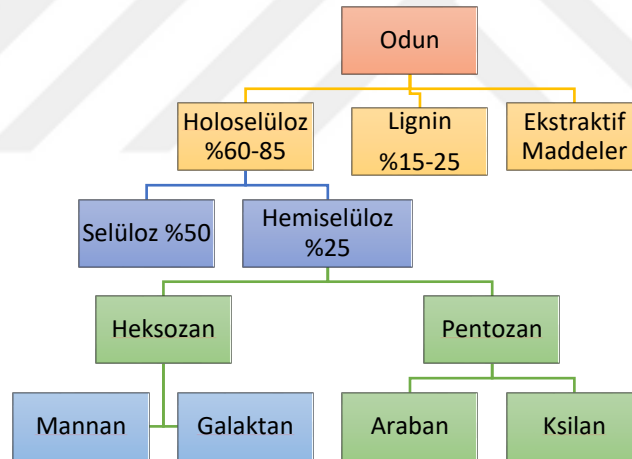
Ahşabın kimyasal yapısını selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktif maddeler oluşturur. Polisakkaritlerden olan selüloz ve hemiselüloz holoselüloz olarak adlandırılır. Holoselüloz'un kuru ahşabın ağırlığına katılım oranı genellikle %60 – %85 arasındadır ve bunun yaklaşık %40 - %50' si selüloz, %20 - %30' u ise hemiselüloz içerir. Lignin değeri ise genellikle %20 - %30 civarındadır. Bu durumlara ek olarak ahşap malzemede

hücre çeperine ve hücre lümenine nüfuz etmiş reçineler, uçucu yağlar, tanenler, sakız, nişasta, lateks ile boya ve renkli maddeleri içeren çok sayıda organik ve inorganik maddeler bulunur. Ekstraktif maddeler, odunun içinde bulunan yan bileşiklere verilen isimdir [14]. Genel anlamda odunun elementer yapısı Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Ahşabın elementer yapısı [22].

Element	Değer
Karbon (C)	%50
Oksijen (O)	%43
Hidrojen (H)	%6
Azot (N)	%0,2
Kül Maddeleri (Ca, Mg, Na, Fe, P)	%0,8

Ahşabın hücre çeperi C, H ve O’nin çeşitli kombinasyonlarda bir araya gelmesiyle oluşan selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmakta olup, az oranda pektin de içermektedir. Ahşabın esas yapısını oluşturan bileşikler (Şekil 2.5)’de verilmiştir [22].



Şekil 2.5. Ağaç malzemenin kimyasal bileşikleri [22].

2.1.2.1. Selüloz

Selüloz hücre duvarının ana katkı maddesidir. Ahşap malzeme içerisinde %40 - 45 arasında bir orana sahiptir. Ahşapta mekanik özelliklerden eğilme ve çekmeye karşı mukavemet veren madde selülozdur [23].

Isıl işlem sonucu "150 °C’nin üzerinde" (OH⁻) grupları arasında eter bağları oluşur. Ahşap malzemenin sertlik ve direnç özellikleri %20 - 30 azalır. Diğer taraftan ısı işlem sıcaklığı; 270 °C > t > 200 °C iken selüloz lif yapısını kaybeder [14].

2.1.2.2. Hemiselüloz

Hemiselüloz, odunun hücre çeperinde bulunan ve polisakkaritlerin %35-50'sini ve toplam kuru ağırlığın %20-30'unu oluşturan polyoslar olarak adlandırılan bileşiklerdir. İğne yapraklı ağaçlara kıyasla yapraklı ağaçlarda hemiselüloz oranı daha yüksektir. Hemiselülozların hücre çeperinden uzaklaşması, odunun daha az su emerek daha istikrarlı bir yapı oluşturmaya neden olur. Polimerizasyon derecesi düşük olan hemiselülozlar, yüksek sıcaklıkta ayrışarak basit hidrokarbonlar ve organik maddelere ayrışır [14].

2.1.2.3. Lignin

Lignin, karmaşık bir polimer olan üç boyutlu fenilpropan birimlerinden meydana gelen, yüksek molekül ağırlıklı bir yapıdır. Hücre çeperi katmanına ve hücreler arasına ligninin nüfuz etmesi sonucu odunlaşma oluşur. Lignin basınca karşı, selüloz ise çekme ve eğilmeye karşı direnç gösteren maddelerdir. Lignin maddesi geniş yapraklı ağaçlarda %20 - %30, iğne yapraklı ağaçlarda %26 - %32 oranında bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık sonrası ligninde yumuşama olup esnekliği artmaktadır. Diğer taraftan soğuma sağlandığında tekrar sertleşme gösteren termoplastik bir maddedir [14].

Lignin selüloz fibrilleri içinde %14 - %23 oranında bulunmaktadır. Ağacın basınca karşı direncini, dik durmasını sağlayan lignin gevrek bir maddedir. Su emilimi düşük olup rengi kahverengimsi beyazdır [23].

2.1.2.4. Ekstraktif Maddeler

Odun hücre çeperinin esas bileşikleri dışında hücre çeperi ya da lümenine yerleşen maddelerdir. Ahşabın alkol, eter veya aseton, sıcak veya soğuk su ile çözülebilmeleri sebebiyle bu maddeler ekstraktif maddeler olarak tanımlanmaktadır. Fakat bazılarının çözülmesi oldukça zordur. En önemlileri reçineler ve polifenol gibi organik bileşiklerdir. Bunlar; boyalı ve fenollü maddeler, sepi maddeleri, nişasta ve yağlar, eterik yağlar ve reçineler gibi organik bileşiklerdir [14].

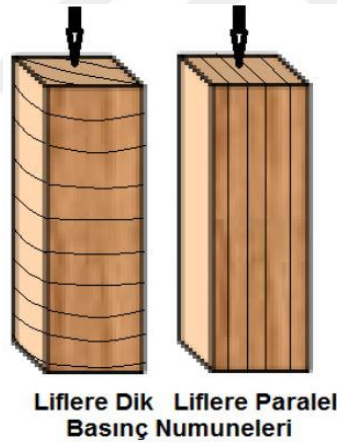
2.1.3. Ağaç Malzemenin Mekanik Özellikleri

Ahşap, heterojen ve anizotropik bir malzeme olduğundan dolayı su içeriğine bağlı olarak genişleyebilen ve büzülebilen bir yapıya sahiptir. Bu içeriğin fonksiyonu olarak mekanik özellikleri de değişen bir malzemedir. Bu nedenle mekanik özelliklerini incelemek zordur. Mekanik özellikleri; liflerin yönüne, nem miktarına, yoğunluğuna ve yıllık halkaların genişliğine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebilir [13].

Ağaç malzemenin mekanik özellikleri, onun dış etkenlere karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Anizotropik özellik barındıran ahşabın; radyal (özden kabuğa doğru uzanan), liflere paralel ve teğet (yıllık halkalara paralel uzanan) olmak üzere üç değişik yönü bulunur. Ağaç malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri anizotrop yapıdan etkilenmektedir. Bu durum, ahşap malzemenin elastikiyet ve direnç özelliklerinin yönleriyle ilişkili olduğunu gösterir. Elastikiyet modülü, liflere paralel yönde en yüksek değere sahip iken, radyal yönde düşük, teğet yönde ise en düşük seviyededir [24].

2.1.3.1. Basınç Direnci

Ahşap malzemenin liflerine paralel ve dik açıda uygulanan kuvvetlerin, ahşap malzemeye uyguladığı basınca karşı ahşabın gösterdiği dirence basınç direnci denir. TS 647'ye göre basınç direnci; ahşap malzemenin liflere paralel yöndeki değerlerine göre belirlenmektedir. Kuvvetin liflere dik ve liflere paralel yönde uygulanması Şekil 2.6'da görülmektedir. Ahşabın liflerine dik açıda uygulanan basınç kuvveti en düşük iken, liflere paralel yönde ise ahşap kolon gibi çalışacağından ezilme ve burkulmaya karşı bir hayli direnç gösterecektir [25].



Şekil 2.6. Ağaç malzeme liflere dik ve paralel basınç numunesi [26].

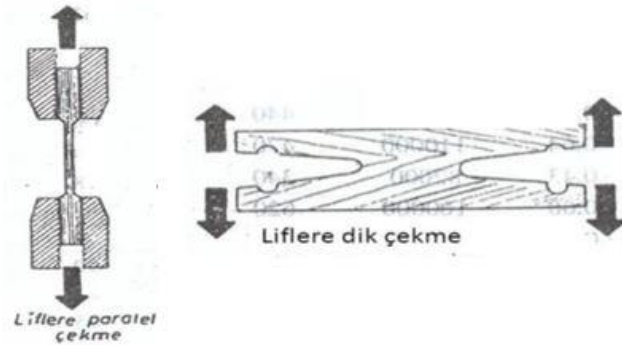
Bütün ağaç türlerinde yoğunluk arttıkça basınç direnci de artar. Odunun rutubeti arttıkça, higroskopik sınırlar içerisinde basınç direncinin azaldığı görülür. Farklı ağaç çeşitlerinin liflere paralel basınç değerleri (Çizelge 2.4)'de verilmiştir [27].

Çizelge 2.4. Farklı ağaç çeşitlerinin liflere paralel basınç direnci değerleri [27].

Ağaç çeşidi	Liflere paralel basınç direnci (kp/cm ²)
Doğu kayını	620
Dışbudak	520
Ceviz	890
Çam	550
Ladin	500
Akçağaç	720
Meşe	650
Akasya	730

2.1.3.2. Çekme Dayanımı

Ahşap malzemenin, zıt yönlerde etki ederek liflerini koparmaya çalışan iki kuvvete karşı gösterdiği direnç kabiliyetidir. Liflere paralel yöndeki çekme direnci, ahşabın diğer direnç özellikleri arasında en yüksek değeri vermektedir. Çekme direncine etki eden etmenler; ahşap malzemenin yoğunluk değerleri artış gösterdiğinde çekme direncinde de artış gözlenir. Yoğunluk, statik direnç özellikleri arasında, en çok basınç ve çekme direncini etkiler [14]. Liflere paralel ve liflere dik yönde çekme kuvveti uygulaması Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7. Liflere paralel ve dik çekme dayanımı [14].

2.1.3.3. Eğilme Direnci

Kiriş olarak mesnetlenmiş bir ahşap malzemeye her iki açıdan liflere dik yönde tesir eden bir kuvvetin ahşabı eğmeye çalışması ve ahşabın bu kuvvete göstermiş olduğu tepki eğilme direnci olarak adlandırılır. Eğilme direnci, ahşap malzemedeki rutubet miktarıyla ilişkilidir. %3 - %5 oranındaki rutubetlerde ağaç malzeme en fazla dirence sahip iken, her %1’lik rutubet miktarı artışı sonucu ağaç malzemenin eğilme direnci %4 oranında düşüş

göstermektedir [28].



Şekil 2.8. Üniversal test cihazı ile eğilme direnci testi [26].

Eğilme direncini etkileyen faktörler şunlardır;

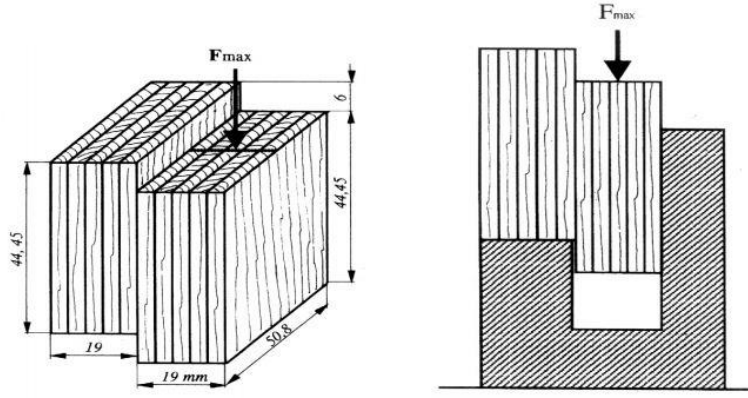
- Ahşabın yoğunluğu arttıkça eğilme direnci de artar.
- Ahşap malzemenin nem değeri higroskopik sınırlar içerisinde %1 artış gösterirken, eğilme direnci %4 düşer.
- Ahşap malzemenin eğilme dayanımı, liflerin gidiş yönü eksenine ile boyuna eksenine arasındaki açının (0°- 90°) artmasıyla azalır [14].

Çizelge 2.5. Farklı ağaç türlerinin eğilme dayanımları [14].

Ağaç türü		σ_E (kg/cm ²)
İğne Yapraklı Ağaçlar	Douglas	790
	Melez	990
	Çam	1000
	Ladin	780
Geniş Yapraklı Ağaçlar	Akasya	1360
	Meşe	1100
	Dişbudak	1200
	Doğu kayını	1230
	Kavak	600

2.1.3.4. Makaslama Dayanımı

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi ahşabın iki bitişik kesitini bir düzlemde birbirinden zıt tarafa doğru ayırmaya çalışan kuvvetlere karşı gösterdiği dayanımdır. Bu dayanım, TS ISO 13061-8’e göre belirlenmektedir. Bu kuvvet ahşap malzemenin yapısına dik, eğik ve paralel yönlerde bağlı olarak tesir etmektedir [14].



Şekil 2.9. Ahşabın liflere paralel yönde makaslama dayanımı [14].

Makaslama direncini etkileyen etkenler;

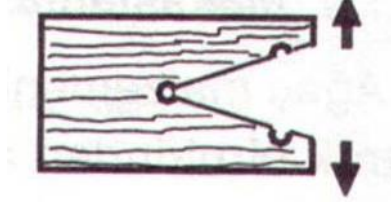
- Ahşabın yoğunluğu arttıkça makaslama direnci artar.
- Makaslama direnci, kuvvetin uygulandığı yön ile liflerin yönelimi arasındaki açının artmasıyla birlikte azalır.
- Ahşabın rutubetinin higroskopik sınırlar içinde %1 yükselmesi, makaslama direncinin %3 azalmasına neden olur.

Çizelge 2.6. Farklı ağaç türlerinin makaslama dayanımları [14].

Ağaç türü		$\sigma_m(\text{kg/cm}^2)$
İğne Yapraklı Ağaçlar	Douglas	79
	Melez	90
	Çam	100
	Ladin	67
Geniş Yapraklı Ağaçlar	Akasya	128
	Meşe	110
	Dişbudak	128
	Doğu kayını	150
	Kavak	65

2.1.3.5. Yarılma Direnci

Ahşabı yarmak için kullanılan kama türündeki cisimlerin etkisine karşı, ahşabın gösterdiği tepki gücüne ahşabın yarılma direnci denir [14]. Çizelge 2.7’de ahşap malzeme türüne göre yarılma direnci özellikleri verilmiştir. Özellikle Doğu kayını, çınar ve meşe gibi ağaçların yarılma direnci yüksektir [18].



Şekil 2.10. Ahşap malzemedeki yarılma dayanımı [14].

Yarılma direncini etkileyen etkenler

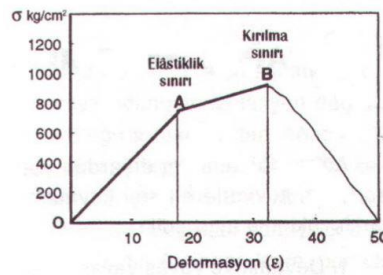
- Ahşabın yoğunluğu arttıkça yarılma direnci artış gösterir.
- Ahşap malzemenin rutubeti %12 - %17 oranlarında olduğunda yarılma direnci en fazla değeri almaktadır [27].

Çizelge 2.7. Farklı ağaç türlerinin yarılma dayanımları [14].

Yarılma özelliği	Ağaç türü
Çok kolay yarılan	Gökmar, ladin, veymut çamı, douglasie
Kolay yarılan	Ceviz, kestane, kızılbaş, meşe, çam, söğüt, atkeşanesi, ıhlamur, melez
Güç yarılan	Beyaz meşe, akbaş, elma, erik, dişbudak, armut, çınar
Çok güç yarılan	Akasya, karabaş, huş, şimşir, karaçam, gürgen
Yarılmayan	Üvez, kılcık, pelesenk, abanoz

2.1.3.6. Elastikiyet Modülü

Dış kuvvetin etkisi ile şekil değiştiren bir cismin, kuvvet ortadan kalktığında ilk halini alabilme özelliğidir. Katı maddeler belirli bir sınıra kadar, etki eden dış kuvvetin ortamdan ayrılması sonucu ilk halini alabilir. Bu nokta elastik sınır olarak adlandırılır. Şekil 2.11’de Doğu kayını ahşabında uygulanan eğilme deneyinde zor-zorlama bağlantısı gözlenmektedir [14].



Şekil 2.11. Doğu kayını ahşap malzemesinde yapılan eğilme deneyinde zor-zorlama bağlantısı [14].

Elastikiyet modülü, elastik sınırlar içindeki gerilme ile biçim değiştirme (eğilme, kısalma, uzama) arasındaki oranı ifade eder. Ahşap, TS ISO 13061-4 standardına göre elastikiyet modülü belirlenen orta derecede elastik bir yapı malzemesidir. Bu özellik, ahşap türlerine bağlı olarak belirli sınırlar içinde farklılık gösterebilir [29].

- Yoğunluk arttıkça elastikiyet modülü değeri artış gösterir.
- Elastikiyet modülü değeri, lif doygunluk noktasına kadar artan su miktarıyla azalır.
- Ahşap malzemenin sıcaklığı arttıkça elastikiyet modülü değerinde azalma görülür [22].

2.2. ISIL İŞLEM

Isıl işlem, ağaç malzeme modifikasyonunda etkili bir yöntem olarak dikkate alınmaktadır. Stamm'ın bu konuda yaptığı çalışmalar, ısıl işlem kuramının ilk adımları olarak kabul edilir. Ancak ısıl işlemin sistematik olarak araştırılması ve endüstriyel öneminin artması son zamanlarda olmuştur [9].

Ağacın kimyasal bileşenlerinde kalıcı değişikliklere neden olan bir işlem olan ısıl işlem, ağacın moleküler yapısını değiştiren bir uygulamadır. Bu uygulama, yaklaşık 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ağaç malzemenin ısı ile muamele edilmesini içerir [30], [31]. Isıl işlemde; sıcaklık önemli bir etken olmakla birlikte, ağaç türü, rutubet miktarı, işlem atmosferi, ısıl işlem süresi, basınç ve ısı dağılımının eşitliği gibi faktörlerin; elde edilen sonuca doğrudan etkisi bulunmaktadır. Isıl işlemde alt sıcaklık sınırı genellikle 100 °C olarak kabul edilir ve ahşabın termal bozunması bu sıcaklıkta başlar. 200 °C'nin üstünde yapısal zarar, ahşap bileşenlerinin tamamen dönüşümü ve gaz fazındaki bozunma ürünlerinin ortaya çıkması gibi olaylar meydana gelir. Ahşabın piroliz ve yanma süreci, 270 °C'nin üzerinde başlar [32].

Ahşap malzemeye ısıl işlem uygulamak temelde iki amaca yönelik yapılmaktadır. Bunlardan ilki böcek ve mantarlar gibi tahrip edici organizmalar karşısında ahşabın biyolojik dayanıklılığını arttırmak, ikinci ise denge rutubet miktarı (DRM) azaltılarak boyutsal stabilite kazandırmaktır [6], [7].

2.2.1. Isıl İşlemin Ağaç Malzeme Özellikleri Üzerine Etkileri

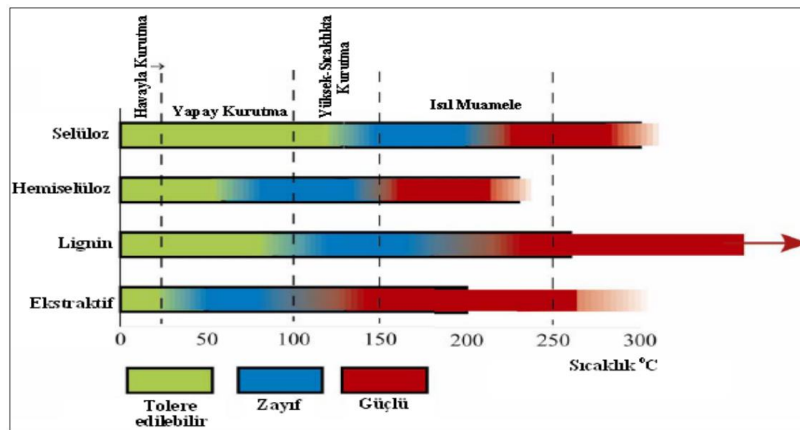
Isıl işlem uygulaması, ahşabın moleküler yapısında değişiklik sağlayarak performansını arttırmaktadır. Bu işlemle birlikte ortaya çıkan potansiyel özellikler düşük denge rutubet içeriği, artan termal izolasyon yeteneği, mantar ve böceklerle karşı biyolojik direnç,

daralma ve genişlemedeki azalma ile artan boyutsal kararlılık, dış hava koşullarına karşı dayanıklılıkta artma, dekoratif renk farklılığı, boya adezyonu artışı ve kullanım süresinin uzamasıdır. Bunlara ilave olarak ısıtma işlem uygulaması, kalite seviyesi düşük olan ağaç türlerine yeni pazar olanakları oluşturarak, bu türlerin kendilerinden daha üstün özellikli türler karşısında rekabet edebilmesini sağlamakta ve orman kaynaklarının sürdürülebilirliğine destek olmaktadır. Odunda yapısal değişimlerin, doğa ve insan sağlığına zarar veren kimyasallara ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilebilmesi açısından ısıtma işlem empenyeye karşı doğal bir alternatif oluşturmaktadır [9], [33], [34].

2.2.1.1. Isıtma İşlemi Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Isıtma işlem ile muamele süresince ağaç malzemede meydana gelen kimyasal değişimin tam olarak anlaşılabilmesi için ahşabın kimyasal yapısının iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Ahşabın ana bileşeni olan lignin, selüloz ve hemiselüloz ısıtma işlem süresince yapıları gereği farklı şekilde bozunmaya uğrayarak ahşaptan buharlaşarak uzaklaşmaktadır [9].

Yüksek sıcaklıkta ısıtma işlem aşamasında hemiselülozların, öteki bileşenlerden daha çok bozunduğu belirlenmiştir. Sıcaklığın 180 °C'nin üzerinde olduğu durumlarda, sıklıkla polisakkaritlerin kaybı gözlenir [35]. Ahşap malzemede hücre çeperi ana bileşenleri ve ekstraktif maddelerinin ısı etkisiyle oluşan değişimler (Şekil 2.12)'de gösterilmiştir.

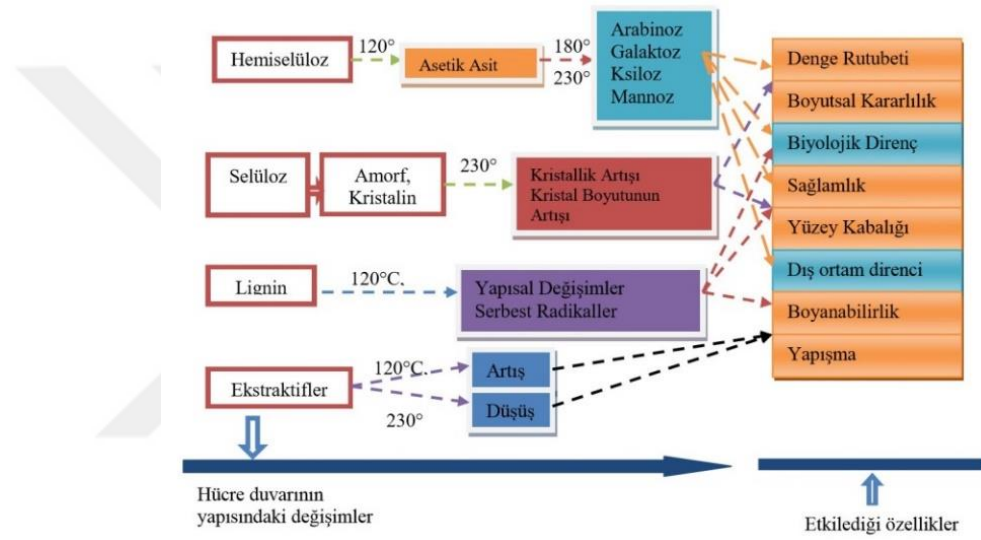


Şekil 2.12. Isıtma işlem ve kurutma işlemi sonucunda ahşap malzemenin bileşimlerinde ortaya çıkan değişiklikler [36].

Selüloz ahşabın tam kuru ağırlığının %40 - 45'ini oluşturur. Selüloz düz kristalimsi yapısı nedeniyle ahşabın direncinden sorumludur. Yapısında bulunan kovalent bağlar nedeniyle çekme gerilmelerine karşı direnç gösterir [37].

Hemiselülozlar ısıtma işlemi süresince depolimerize olmaktadır. Hemiselülozun bozunmasına sebep olan 2 önemli etken ısıtma işlemi süresi ve sıcaklığıdır. Sıcaklık ve sürenin artmasıyla, yan bileşenlerden galaktoz ve arabinoz ayrılırken, ana bileşenlerin bozunması olarak ksiloz, glikoz ve mannoz izlenir. Hemiselülozun hidrolize olması sonucu boyutsal kararlılık artmakta ve denge rutubet miktarı azaltmaktadır [9].

Ahşap bileşenleri içerisinde ısıya karşı en dirençli olan bileşen lignindir. Ancak sıcaklık 200 °C'yi aştığında, lignin kütlelerinde azalma meydana gelir ve β -aril-eter bağları kırılmaya başlar [9], [38]. Ağaç malzemenin ısıtma işlemi sonucu reaksiyon mekanizması Şekil 2.13'de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Isıl işlem uygulanmış ahşabın reaksiyon mekanizması [39].

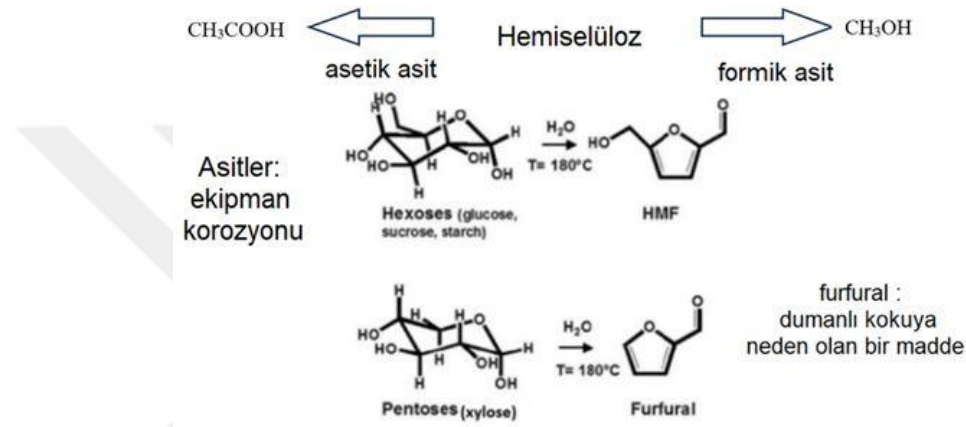
Ekstraktif maddeler, ahşap malzemedeki %5'ten az miktarda bulunmaktadır. Ahşap bünyesinde bulunan yağlar, fenollü bileşikler, vakslar ve terpenler gibi ekstraktif maddeler, bulunma oranı olarak ahşap türüne göre farklılık gösterir. Isıl işlem uygulaması aşamasında kolay bir şekilde uçucu özellik kazanıp ahşap malzemeden ayrılarak havaya karışırlar [6].

2.2.1.2. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin higroskopiklik (su alma) özelliği azalır ve bu azalma ahşabın boyutsal stabilitesinde artış sağlar. Uygulamanın etkisi, işlem süresi ve koşulları (rutubet düzeyi ve dağılımı, oksijen varlığı, sıcaklık, malzeme boyutları vb.) ile birlikte değişebilmektedir [40]- [42]. Ahşap malzemedeki ısıtma işlemi sonrası su adsorpsiyonu önemli derecede azalır. Isıl işlem, ağaç malzemedeki higroskopik özellikleri ve maksimum

bağlı su oranını azaltması nedeniyle, direnç özellikleri üzerinde olumlu bir etki sağlamaktadır [9], [43].

Isıl işlem uygulama süresince ahşapta kütle ve dolayısıyla özgül ağırlık belirgin bir şekilde değişmektedir. Isıl işlem uygulamasının ardından ahşap yoğunluğunda meydana gelen azalmaların ana sebepleri; ısıl işlem sürecinde hemiselüloz ve diğer ahşap bileşenlerinin bozunarak uçucu maddelere dönüşmesi (Şekil 2.14), ekstraktif maddelerin buharlaşması ve ahşabın daha az higroskopik olması sonucunda denge rutubet miktarının düşmesidir [9], [31].



Şekil 2.14. Hemiselülozun hidroliz yoluyla daha az higroskopik olan furfural polimerlerine dönüşmesi [39].

2.2.1.3. Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlem uygulaması sonrası ahşabın iç kısmında ve yüzeyde ortaya çıkan çatlama ve yarıma ahşabın direncinde ciddi sorunlara yol açmakta ve mekaniksel özellikler olumsuz etkilenmektedir. Yüksek sıcaklıklarda işlem gören ahşap malzemede kütle kayıpları yaşanmaktadır. Kütlenin düşüşü sonrası mekaniksel özellikler de olumsuz olarak etkilenmektedir [7].

Eğilme direncinde yaşanan kayıplarda ısıl işlem aşamasında selüloz ve ligninin bozunması veya depolimerizasyonu yerine, hemiselülozun modifikasyonu ve bozunması temel olarak kabul edilmektedir. Eğilme direncindeki azalmaların miktarı ısıl işlem sıcaklık ve süresiyle ilişkili olarak artmaktadır [9].

Isıl işlem uygulaması sonrası sertlik ve liflere paralel basınç direnci değerleri artış göstermesine karşın makaslama direnci azalır. Liflere paralel çekme direnci ve şok direncinde belirgin bir azalma gerçekleşir. Eğilme testi sırasında elastikiyet modülünde

artış görülmektedir [9]. Ahşap malzemede ısı işlem sonrası; sıcaklık ve sürenin etkisiyle kütle kayıplarında artış gözlenirken, sertlik ve direnç özelliklerinde düşüş yaşanmaktadır [32], [44].

Eğilme direncindeki azalma genellikle 200 °C'nin üzerinde başlar ve yaklaşık %35 - %50 oranında kayıplara neden olur. Hatta 100 °C ve üstündeki bazı sıcaklıklarda %10'a varan artışlar olabilmektedir. Bu nedenle, ısıyla işlem gören ahşabın elastikiyet modülünde değişiklik olması her zaman sıcaklığın önemli olduğu anlamına gelmez. Ahşap malzemede budak olması durumunda, ısıyla işlem gören ahşabın eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri; işlem görmemiş ahşaba göre çok daha düşüktür. Isıl işlem görmüş ahşabın eğilme direncinde %40'tan daha yüksek bir düşüş olduğu gözlenmiştir, özellikle kusurlu bölgelerde bu düşüş daha belirgindir. Yapılan çalışmalarda, ahşap termal olarak düşük sıcaklıklarda ve kısa zaman periyotlarında işlem gördüğünde, elastikiyet modül değerinde küçük bir artış (%2 - %5 arası) olduğu tespit edilmiştir. Ancak sıcaklık ve işlem süresinin artış göstermesi sonucu elastikiyet modülünde %20 - %30 arasında azalma gözlenmiştir [7].

2.2.2. Isıl İşlem Yöntemleri

Ahşaba ısı işlem uygulamasında önemli bazı eksikliklerin giderilmesi ile bu kısımda uygulanan bilimsel çalışmalar desteklenmiş, Avrupa sektöründe genel kabulü ispatlanmış çok sayıda ısı işlem yöntemi geliştirilmiştir. Bunlar; ahşabın ısıtılmasında buhar tercih edilen Finlandiya (ThermoWood) metodu, Hollanda'da sıcak hava ve buharın beraber kullanım gördüğü PlatoWood metodu, Fransa'da (Rectification) inert gaz kullanılan metod ve sıcak yağ kullanımı olan Alman (OHT) metodudur. Kullanılan bu ısı işlem yöntemleri, düşük oksijen içeriği olan ortamlarda 200 °C'nin altında ve üstünde değişik sürelerde ısı işlem uygulamasında yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Bu ısı işlem metotları, çevreye ve insan sağlığına zarar veren kimyasal maddelerin kullanımına ihtiyaç duymadan ahşap malzemenin boyutsal kararlılığını ve biyolojik dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir [45], [46]. Isıl işlem metotlarının karakteristikleri Çizelge 2.8'da belirtilmiştir.

Çizelge 2.8. Isıl işlem yöntemlerinin temel karakteristikleri [47].

Isıl işlem metotları	Ortam	Rutubet durumu	Sıcaklık (°C)	Uygulama	Ülke
Oil Heat Treatment	Sıcak yağ	Hava kurusu veya yaklaşık %6	180-220	1.Isıtma ve kurutma 2.Isıl işlem 3.Soğutma	Almanya
ThermoWood	Buhar	Taze veya Hava kurusu ağaç malzeme	150-240	1. Yüksek sıcaklıkta kurutma aşaması 2.Isıl işlem 3.Soğutma ve kondisyonlama	Finlandiya
PlatoWood	Buhar ve hava	Taze veya Hava kurusu ağaç malzeme	170-190	1.Ön kurutma 2.Hidrotermoliz 3.Kurutma 4.Isıl işlem 5.Denkleştirme ve soğutma	Hollanda
Bois Perdure	Buhar	Taze ağaç malzeme	200-240	1 basamak	Fransa
Retification	N2	Hava kurusu ağaç malzeme	200-240	1 basamak	Fransa

2.2.2.1. PlatoWood Yöntemi

Ruyter (1989) tarafından patenti alınmış olan PlatoWood yöntemi, taze durumdaki ahşap için beş aşamada, hava kurusu durumdaki ahşap için dört aşamada uygulanmaktadır. Hava kurusu haldeki ahşap tercih edildiğinde birinci aşamada hidrotermoliz aşaması uygulanır. Hidrotermoliz aşamasında ahşap malzeme su içeren ortamda ve yüksek atmosfer basıncı altında 150 °C – 180 °C sıcaklıkta işlem görmektedir. İkinci aşamada 3-5 gün süren klasik kurutma metoduyla ahşap malzemenin nem oranı %8 - %10 seviyesine düşürülür. Üçüncü aşamada yaklaşık 16 saat süre zarfında 150 °C – 190 °C sıcaklıklarda ısıtılarak ahşabın nem oranı %1'e kadar düşürülür. Son aşamada ağaç malzemeye 2-3 günlük denkleştirme süreci uygulanır. Kondisyonlama işlemi sonrası ahşap malzeme %4 - %6 nem oranına ulaşır. Taze haldeki ağaç malzeme için PlatoWood yönteminde hidrotermoliz işlemi uygulanmadan önce, ön kurutma işlemi klasik kurutma metodu ile gerçekleştirilir [48]. PlatoWood yönteminin işlem safhaları Şekil 2.15'te gösterilmiştir.

olup, Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (The Technical Research Centre of Finland=Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT)) firmasında geliştirilmiştir. Bu metot, ahşap malzemelerin mümkün olduğu kadar oksijensiz bir ortamda buhar korumasında ısıtıldığı, yüksek sıcaklıklar arasında (180 °C - 250 °C) gerçekleştirilmektedir [45], [49], [53]. ThermoWood yönteminin aşamaları aşağıda verilmiştir.

1.Aşama: Yüksek sıcaklıkta kurutma periyodu

Isıl işlem uygulamasında en fazla zaman alan periyottur. Bu periyot ayrıca yüksek sıcaklıkta kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Kurutma aşamasının başlangıcında ahşap malzeme kuru veya nemli olabilir. Başarılı bir kurutma sürecinde iç çatlakların oluşmaması büyük önem taşır. Su buharının bulunduğu yüksek sıcaklık ortamında kurutma işlemi gerçekleştirilirken sıcaklık artırılır. Öncelikle ahşabın sıcaklığı hızla 100 °C'ye çıkarılır, ardından yavaş yavaş 130 °C'ye kadar yükseltilir. Ahşap malzemede ortaya çıkabilecek çatlakları önlemek için ortama su buharı uygulanır. Rutubet oranı neredeyse sıfıra düşürülür [11], [54].

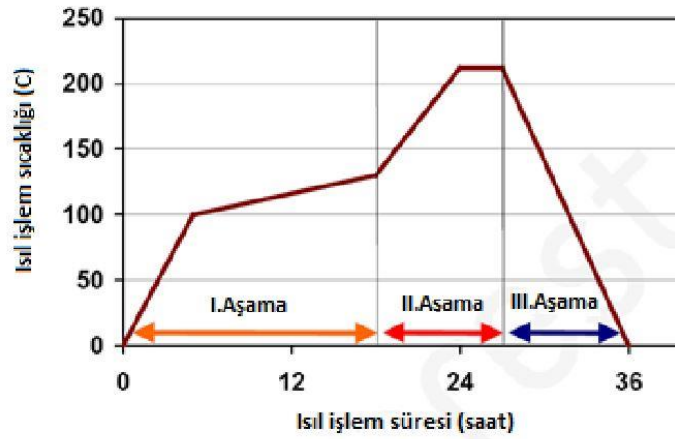
2.Aşama: ThermoWood periyodu

Bu aşama aynı zamanda yoğun ısıtma işlemi olarak da adlandırılır. Fırın içerisindeki sıcaklık, son kullanım amacına bağlı olarak 185 °C - 230 °C'ye kadar artırılır. Hedeflenen sıcaklığa ulaşıldığında, fırın sıcaklığı sabit tutulur. Bu süre genellikle ortalama 2-3 saat kadar sürer. Yanmayı önlemek için kullanılan su buharı veya gaz, hem ahşabın korunmasına hem de ahşapta ortaya çıkan kimyasal değişimlere etki eder [11], [54].

3.Aşama: Soğutma ve kondisyonlama periyodu

Son aşamada su buharı veya su spreyi kullanılarak ahşabın sıcaklığı 50 °C - 60 °C'ye kadar düşürülür. Ahşabın rutubet oranı, kondisyonlama ve yeniden rutubetlendirmeye yaklaşık %4 oranına ulaştırılır. Isı yükseltildiğinde ya da düşürüldüğünde, iç ve dış yüzey çatlamlarının önüne geçmek ve kontrol edebilmek amacıyla farklı bir uyum yöntemi tercih edilir. Uyum değerleri ahşap çeşitleri ve boyutları (kalınlık, genişlik) dikkate alınarak düzenlenmektedir. Hammaddede temininde yeni kesimi yapılmış (yaş) ya da fırın kurusu ahşap tercih edilebilir. Şayet işlem yeni kesimi yapılmış ahşapla başlarsa, ahşap çok yüksek ısıda kurutma metoduyla kurutulabilir. Bu işlem, her ağaç türü için en iyi şekilde uygulanmalıdır. Kondisyonlama süresi, uygulama sıcaklığına ve kerestenin durumuna göre 2-5 saat sürede uygulanabilir [11], [54]. Şekil 2.18'de ThermoWood

uygulama yönteminin şematik olarak diyagramı belirtilmiştir.



Şekil 2.18. ThermoWood uygulama yönteminin şematiksel diyagramı [54].

2.3. AĞAÇ MALZEME

2.3.1. Avrupa kayını (*Fagus Sylvatica* L.)

Avrupa'da en önemli ağaç türlerinden olan ve yaygın kullanıma sahip olan Avrupa kayını geniş yapraklı ağaç türlerinden biridir. Avrupa kayını (*Fagus Sylvatica* L.), genellikle 30-40 m.'ye kadar boylanabilen, yaprak döken büyük bir ağaçtır. Doğal menzili güney İskandinavya'dan Sicilya'ya, batıda İspanya'dan doğuda kuzeybatı Türkiye'ye kadar uzanır. Ağaç genellikle gümüş-gri kabuğu ile tek gövdelidir. Yaklaşık 250 bilinen kullanımı ile Avrupa'da en çok kullanılan ağaç türlerinden biridir. Avrupa kayını, ince damarlı, budaksız ve sert ahşaptır. Soluk krem rengine ve iyi işlenebilirliğe sahiptir. Aşınma direnci, sağlamlığı ve mükemmel bükülme yetenekleri onu tekne yapımı, döşeme, merdiven, mobilya, müzik aletleri (piyano blokları), kontrplak, paneller, kaplama ve kâseler, tabaklar ve tahta kaşıklar gibi pişirme gereçleri için ideal kılar [55], [56]. Ayrıca kağıt hamuru için kullanılır ve nispeten yüksek enerji potansiyeli nedeniyle ateş odunu ve odun kömürü için baltalık odun olarak kullanılabilir [56]-[58].

2.3.2. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)

Avrupa ve Asya'da oldukça geniş bir alana yayılan sarıçam, mevcut çam türleri arasında en yaygın olanıdır. Yayılış alanı yaklaşık olarak 14700 km uzunluğunda ve 3700 km enindedir. Sarıçam ağaçları 20-40 m boyutları arasında büyür ve ülkemizde yaklaşık bir milyon hektarlık bir alanda saf veya karışık şekilde yayılış gösterir. Ardahan, Kuzeydoğu

Anadolu, Sarıkamış, Posof, Oltu civarlarında ekseriyetle saf, Yanlızçam Dağları'nda saf veya göknar ve ladin gibi diğer ağaç türleri ile karışık olarak geniş ormanlar oluşturur. Karadeniz Bölgesi'nde Artvin, Of, Gümüşhane, Amasya, Sürmene, Rize, Sinop, Abant ve Giresun çevresinde yaygın bir şekilde bulunur. Sarıçam, Türkiye'nin toplam orman alanının %5,5'ini oluşturmaktadır [59].

Renk olarak, sarımsı veya kırmızımsı beyaz renkte olup, öz odun bölümü açık tonlarda kırmızımsı kahve renklerde. Sarıçamın yıllık halka sınırları net ve hafif dalgalıdır. Teğet ve radyal kesitleri parlaktır ve geniş reçine kanalları içerir. Ayrıca işlenmesi kolay bir ağaç çeşididir [14].

Sarıçam iyi kaliteli, budaksız gövde odunları oluşturması ve kolay işlenebilir olması nedeni ile orman ürünleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özellikleri ile ekonomik açıdan ülkemiz için oldukça önemli bir ağaç türüdür. Kolay işlenme özelliğinde olup parlak ve düzgün bir yüzey verir. Boya, cila ve tutkalı kolaylıkla emer ve çivi tutma özelliği yüksektir. Sarıçam odunu; mobilya üretimi, oymacılık, ambalaj sanayi, yapı malzemeleri, pencereler, kapılar ve yer döşemeleri gibi çeşitli kullanım alanlarına sahiptir [29]. Ayrıca, lif levha, yonga levha, kontrplak, kağıt üretimi, plastik ve selofan yapımında da sarıçam odunundan yararlanılmaktadır [59].

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Ladin ahşabında boyutsal kararlılık, renk değişimi ve mekanik özellikler üzerine yüksek sıcaklığın etkisinin belirlenmesi amacıyla; değişik bağıl nem şartlarında (%50, %65, %80 ve %95) kondisyonlanmış ahşap örnekler, 200 °C sıcaklıkta 2, 4, 8, 10 ve 24 saat ve ayrıca 100 °C ve 150 °C sıcaklıkta 24 saat süre ile ısıtım işlemi uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, ısıtım işlemi sonrası ahşap örneklerin eğilme direncinde %44 - %50 ve elastikiyet modülünde %4 - %9 arasında azalma olduğu, örneklerde boyutsal kararlılığın artış gösterdiği ve ahşap renginin koyulaştığı bildirilmiştir [60].

Gürgen (*Carpinus betulus* L.) ve göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ahşaplarının bazı mekanik, fiziksel ve teknolojik özelliklerine ısıtım işlemi etkisinin incelendiği çalışmada; ahşap örnekler atmosferik koşullarda 3 ayrı sıcaklık (170 °C, 190 °C ve 210 °C) ve 3 farklı sürede (4 saat, 8 saat ve 12 saat) işlem görmüştür. Isıtım işlemi uygulamalarının, örneklerde renk değişimi ve denge rutubeti gibi fiziksel özelliklere etkisinin olumlu olduğu, sıcaklık ve sürenin artmasıyla teknolojik ve mekanik özelliklerde azalmaların olduğu ifade edilmiştir [11].

İhlamur, karakavak ve Uludağ göknarı ahşaplarının mekanik özellikleri üzerine termomekanik yoğunlaştırma ve ısıtım işleminin etkisinin belirlenmesine yönelik çalışmada, ahşap örnekler 100 °C ve 140 °C’de %25 ve %50 sıkıştırma oranlarında yoğunlaştırmaya tabi tutulmuştur. Daha sonra örnekler 185 °C ve 212 °C hedef sıcaklıklarda 2 saat süresince ısıtım son-işlem görmüştür. Tüm yoğunlaştırılmış örneklerde eğilme direnci (MOR), liflere paralel basınç direnci ve elastikiyet modülü (MOE) değerlerinin sıkıştırma oranı ve yoğunluk artışına bağlı olarak arttığı, dirençteki artışın en çok kavak örneklerde en az ise ihlamur örneklerde olduğu belirlenmiştir. Isıtım son-işleminde sıcaklık artışına bağlı olarak örneklerde mekanik direncin düştüğü ancak, özellikle %50 sıkıştırma ile yoğunlaştırılmış ve ısıtım son-işlem uygulanmış ahşap örneklerde direnç değerlerinin (MOR hariç) kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek sonuçlandığı belirtilmiştir [61].

Doğu ladini ve Doğu kayını ahşaplarının mekanik, teknolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerine ısıtım işlemi uygulamalarının etkisinin araştırıldığı çalışmada; ahşap deney örnekleri dört değişik sıcaklık (130 °C, 150 °C, 180 °C ve 200 °C) ve üç ayrı sürede (2, 6 ve 10 saat) normal atmosferik ortamda işlem görmüştür. Çalışma sonuçlarına göre; ısıtım

işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisinin, özellikle boyutsal kararlılık açısından tatmin edici olduğu, teknolojik ve mekanik özelliklerde sıcaklık ve süre artışı ile genellikle azalmaların olduğu, kimyasal özellikler açısından ise, ısıl işlemde en çok etkilenen bileşenin hemiselüloz olduğu tespit edilmiştir [32].

Farklı atmosfer şartlarında ahşabın boyutsal stabilitesi ve lignoselülozik malzemelerin su emilimi sınırlarının belirlenmesi amacıyla 180 °C ile 250 °C arasında ahşap deney parçalarına ısıl işlem uygulanmıştır. Yüksek sıcaklıkta ısıl işlemler ile su emilimi düşmüş ve değişime uğrayan ahşap malzemenin mekanik özelliklerinde de kayda değer miktarlarda azalma gözlenmiştir. Ayrıca ahşap parçalara uygulanan sıcaklığın 200 °C üzerine yükselmesiyle kopma veya kırılmanın daha kolay olduğu bununla beraber boyutsal stabilitenin artış gösterdiği ve önemli miktarlarda kütle düşüşlerinin olduğu belirtilmiştir [49].

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ahşabının fiziksel özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışma sonuçlarına göre; her iki ahşap çeşidinde de ısıl işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak hava kurusu ve tam kuru yoğunluğunun düştüğü ancak diğer taraftan genişleme oranının azaldığı ve ısıl işlemin boyutsal kararlılık üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [62].

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ahşabının bazı teknolojik özellikleri üzerinde ısıl işlemin etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada; deney örnekleri 2, 6 ve 10 saat süre ile 120 °C , 150 °C ve 180 °C sıcaklıkta ısıl işlem görmüştür. Yapılan çalışmanın sonucunda, 120 °C'de 2 saatlik ısıl işlem uygulamasının en az direnç kaybına neden olduğu, 180 °C'de 10 saatlik ısıl işlem uygulamasının ise en fazla direnç kaybına yol açtığı belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak direnç değerlerinin değiştiği ve ticari değeri düşük türlerin farklı ısıl işlem yöntemlerinin kullanılması ile daha fazla kullanım alanında değerlendirilebileceği ifade edilmiştir [63].

Sarıçam örneklerin 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat süre zarfında ısıl işlem gördüğü çalışmada; ahşap örnekler üzerinde basınç direnci (BD), eğilme direnci (ED), eğilmede elastikiyet modülü (EM), ağırlık kaybı, hacimsel şişme ve toplam renk değişimi (ΔE^*) değerleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ısıl işlem uygulaması sonrası sarıçam ahşabının ED ve EM değerlerinin azaldığı, BD değerinin yükseldiği belirtilmiştir. Isıl işlem sonrası, sarıçam ahşabında hacimsel şişmenin yaklaşık olarak

%50 azaldığı, ahşabın renginde koyulaşma olup, ısıtım işlem sıcaklık ve süresinin artmasıyla bu özelliklerdeki değişiminde artış gösterdiği belirlenmiştir [46].

Okaliptüs grandis ahşabının fiziksel ve mekanik özelliklerine farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtım işlem uygulamasının etkilerinin araştırıldığı çalışmada, ahşap örnekler 180 °C, 200 °C, 220 °C ve 240 °C’de 4 ve 8 saat süre ile işlem görmüştür. Isıtım işlemli ve kontrol örneklerinde mekanik özellikler statik testler uygulanarak, fiziksel özellikler ise ağırlık kaybı ve şişme testleriyle belirlenmiştir. Eğilme direncinde en düşük değerin, 240 °C’de 8 saatlik işlemde gözlemlendiği, elastikiyet modülünün sıcaklık ve süre artışı ile azaldığı ve hacimsel şişmenin, işlemsiz örneklerle göre %6,8 ile %55,21 değerleri arasında azaldığı, aynı şekilde radyal ve teğet yöndeki boyutsal stabilitede artışın olduğu bildirilmiştir [64].

Toros göknarı odununun 160 °C, 180 °C, 200 °C ve 220 °C sıcaklıkta bitkisel yağ ile ısıtım işlem uygulandığı çalışmada, deney örnekleri üzerinde denge rutubeti miktarı, yoğunluk, ağırlık artışı, lif doygunluk noktası, radyal yönde şişme, teğet yönde şişme ve hacimsel şişme gibi bazı fiziksel özellikler ile genişleme yüzdeleri ve ağırlık artışı arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, sıcaklık artışıyla birlikte fiziksel özelliklerin ve ağırlık artışının düşüş gösterdiği tespit edilmiştir [65].

Sarıçam odunu 150 °C, 170 °C ve 190 °C’de 4, 6 ve 8 saat süre ile ısıtım işlem görmüş ve bazı özelliklerinde ortaya çıkan değişimler incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, ısıtım işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak en fazla etkilenen özelliğin eğilme direnci olduğu, işlem şartları ağırlaştıkça eğilme direncinin düştüğü ve basınç direncinin arttığı ifade edilmiştir [46].

Yüksek sıcaklıklarda ısıtım işlem uygulanan ağaç malzemenin su absorpsiyon özelliğinde azalma görüldüğü ve aynı zamanda ahşabın çürümeye karşı biyolojik direncinin artış gösterdiği ifade edilmiştir [66].

Isıtım işlem uygulaması ile yoğunlukta azalmaların yaşandığı ve Uludağ göknarı ahşabının, sarıçam ahşabına kıyasla daha büyük bir yoğunluk azalması gösterdiği tespit edilmiştir. Isıtım işlem sonucu, ahşaptaki suyun uzaklaştırılması, ana bileşenlerin bozunması, ekstraktif maddelerin uzaklaşması ve kimyasal değişimlerin meydana gelmesinin kütle kayıplarının nedenleri arasında gösterilebileceği belirtilmiştir [67].

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), karakavak (*Populus nigra* L.) ve sapsız meşe (*Quercus petraea* L.) odunlarından hazırlanmış lamine ahşap malzemeler ThermoWood metoduyla 185 °C ve 212 °C’de 2 saat süreyle ısıtım işlem

görmüştür. Isıl işlem gören ahşapların tam kuru ve hava kurusu yoğunluk değerlerinde azalmaların oluştuğu bununla birlikte %40 oranında boyutsal kararlılığının gerçekleştiği bildirilmiştir. Sıcaklık artışıyla birlikte sertlikte ve mekanik özelliklerde direnç kaybının meydana geldiği ayrıca, yanma testlerinde ısıtılmış örneklerin kontrol örneklerine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [45].

Yağlı ısıtılmış işlem görmüş ağaç malzemedeki renk değişiminin, sıcak hava ile ısıtılmış işlem görmüş ahşap malzemeye göre daha fazla olduğu, yağlı ısıtılmış işlem sırasında ağaç malzemenin yağı emdiği ve yağın yüksek kaynama noktası nedeniyle de ağaç malzemenin daha yüksek sıcaklıklara maruz kalabileceği belirtilmiştir [68].

Hurma yağı ve sıcak hava ile uygulanan ısıtılmış işlemin, *Paulownia tomentosa* ve *Pinus koraiensis*'in fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, ahşap örnekler 180 °C, 200 °C ve 220 °C'de 1, 2 ve 3 saat süresince ısıtılmış işlem görmüştür. Yağlı ısıtılmış işlem sonrası yoğunlukta önemli bir artışın olduğu ancak, sıcak hava ile ısıtılmış işlem sonrası yoğunluğun azaldığı, yağlı ısıtılmış işlem görmüş örneklerin aşınma direnci testinde daha düşük hacimsel kayıp ve ağırlık kaybı sergilediği, her iki yöntemde ahşap örneklerin basınç direncinin işlem sıcaklığı ve süresindeki artış ile kademeli olarak azaldığı, yağlı ısıtılmış işlemde *Paulownia tomentosa*'nın aksine *Pinus koraiensis* odunu örneklerinde sertliğin arttığı ancak, sıcak hava yönteminde her iki ağaç türü için sertliğin azaldığı ve sonuç olarak, sıcak hava ısıtılmış işlemine göre yağlı ısıtılmış işlemin ahşap özelliklerini iyileştirmek için daha etkili bir yöntem olduğu bildirilmiştir [69].

Yağlı ısıtılmış işlem görmüş ahşap örneklerin, sıcak hava ile ısıtılmış işlem görmüş örneklerle kıyasla yüzey aşınma testinde çok daha düşük ağırlık kaybı gösterdiği ve bunun nedeni olarak, yağlı ısıtılmış işlem görmüş ahşap örneklerin yüzeyinde yağ bulunmasının yüzeyi daha kaygan hale getirmesi ve aşınma sürecini azaltması olabileceği ayrıca, yağın genellikle daha yüksek oranda linolenic asit içerdiğinden hızlı kuruma eğilimi gösterdiği ve yağlı ısıtılmış işlemden sonra ahşabın yüzeyinde sertleşebileceği belirtilmiştir [70].

Linolenic asidin, yağlı ısıtılmış işlem görmüş ağaç malzemenin yüzeyini dış müdahalelere karşı koruyabilen bir bariyer olabileceği ve bu nedenle, ağaç malzemedeki yağlı ısıtılmış işlemin sıcak hava ile ısıtılmış işlemden daha az ağırlık kaybına neden olduğu ancak, yağlı ısıtılmış işlem uygulanmış ahşabın, işlem görmemiş ahşaba kıyasla aşınmada daha yüksek ağırlık kaybı sergilediği belirtilmiştir [71].

Doğu kayını örneklerin fiziksel özellikleri üzerine sıcak yağ ve sıcak hava ile ısıtılmış işlemin

etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, örnekler 160 °C, 190 °C ve 220 °C'de iki saat süre ile ısıtılarak uygulanmıştır. Daha sonra örneklerde kütle değişimi, yoğunluk, şişme, denge rutubet miktarı, lif doygunluğu noktası gibi çeşitli özellikler belirlenmiştir. Sonuçlara göre, yağlı ısıtılmanın sıcak hava ısıtılmasına göre Doğu kayını ağacının fiziksel özelliklerini daha fazla etkilediği bildirilmiştir [72].

Karaçam odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine azot gazı, vakum ve hava atmosferlerinde yapılan ısıtılma işlemlerinin etkisinin araştırıldığı çalışmada, ahşap örneklerin tam kuru yoğunluk, ağırlık kaybı, denge rutubeti yüzdesi, su alma yüzdeleri ve genişleme yüzdeleri incelenmiştir. Yapılan analizlere göre, sıcaklığın yükselmesiyle birlikte ağırlık kaybının fazlaştığı, genişleme ve su almanın azaldığı görülmüştür. Ayrıca, hava atmosferinde uygulanan ısıtılma işlemleri sonuçlarıyla mukayese edildiğinde, azot gazı atmosferinde uygulanan ısıtılma işleminde ağırlık kaybının daha az olduğu belirlenmiştir [73].

Bezir yağıyla 160 °C ile 210 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıtılma işlemi gören Pinus radiata odunu örneklerinde, homojen ve koyu bir renk değişimi gözlemlendiği, aynı zamanda boyutsal stabilitede %60, mantar çürüklüğüne karşı dayanımda ise %36 değerinde bir iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir [74].



4. MATERYAL VE METOD

4.1. MALZEME

4.1.1. Ağaç Malzeme

Sunulan tez çalışmasında, geniş yapraklı ağaç türü olarak Avrupa kayını (*Fagus Sylvatica* L.), iğne yapraklı ağaç türü olarak sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) kullanılmıştır. Ağaç türlerinin seçilmesinde, sektörde yaygın olarak kullanılmaları etkili olmuştur. Lata ölçülerindeki ağaçlar, Düzce ilinde bir orman ürünleri işletmesinden tesadüfi örneklem seçimine göre ve hava kurusu durumda temin edilmiştir. Ağaç malzemelerin çürüksüz, sağlam ve büyüme kusuru içermemesine dikkat edilmiştir.

4.1.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Ağaç malzemeler, TS ISO 3129’da belirtilen esaslara göre 25×25×350 mm (radyal yön × teğet yön × boyuna yön) taslak ölçülerde diri odun kısımlarından yeterince kesilmiştir (Şekil 4.1) [75]. Daha sonra, yağlı ısıtma yönteminde kullanılacak ahşap örnekler ayrılmış ve diğer yöntemler için kullanılacak örnekler, ısıtma uygulamaları öncesi TS ISO 13061-1’de belirtilen esaslara göre sıcaklığı 20±2 °C’ye ve bağıl nemi %65±3’e ayarlı iklimlendirme cihazında (Şekil 4.2) sabit bir kütleye ulaşana kadar bekletilmiştir [76].



Şekil 4.1. Taslak ölçülerinde kesilmiş deney örnekleri.



Şekil 4.2. Deney örneklerinin iklimlendirme kabininde bekletilmesi.

Yağlı ısıtılma işlem yönteminde kullanılacak ahşap örnekler, yarım yağ halindeki İngiliz nevi bezir yağı kullanılarak emprenye edilmiştir. Ahşap örnekler emprenye öncesi, etüv fırında 60 °C sıcaklıkta 48 saat bekletilmiş ve ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Bezir yağı ise ağırlıkça %25 oranında sentetik tiner ile inceltirilmiştir. Emprenye işlemi kapalı bir tank düzenekte dolu hücre metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Ahşap örnekler öncelikle bir kap içerisine konulmuş ve kapla birlikte emprenye tankına yerleştirilmiştir. Ardından, 760 mmHg seviyesinde (-1,03 bar) bir vakum işlemi 30 dk. süresince devam ettirilerek ahşap örneklerin içerisindeki hava çıkarılmıştır. Vakum etkisi devam ederken, örneklerin bulunduğu kap içerisine emprenye çözeltisi bir hortum aparatıyla doldurulmuştur (Şekil 4.3). Daha sonra, 30 dk. süresince 8 bar basınç uygulanmış ve emprenye süreci tamamlanmıştır [77].



Şekil 4.3. Deney örneklerinin bezir yağı ile emprenye edilmesi.

Emprenye sonrası, örneklerin yüzeyindeki fazla emprenye çözeltisi silinmiş ve beklenmeden $\pm 0,01$ g. duyarlılıkla ağırlık tartımları yapılarak yağ ağırlıkları tespit edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Deney örneklerinde empenye sonrası ağırlık tartımı yapılması.

4.1.3. Isıl işlem Uygulamaları

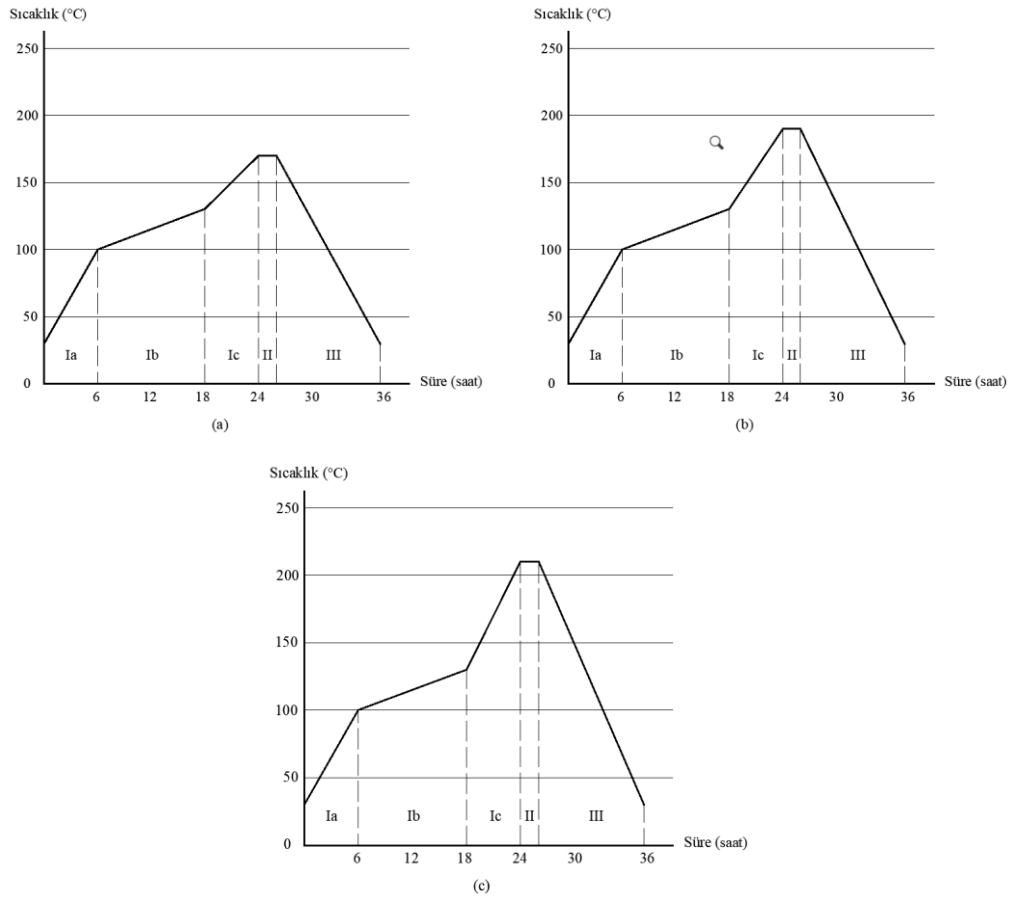
Hazırlanan deney örneklerine ısıtıl işlem uygulamaları, özel olarak üretilmiş, tam otomatik ve sıcak su buharı kontrolü yapılabilen laboratuvar tipi bir fırında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Isıl işlem uygulamalarında kullanılan laboratuvar tipi fırın.

Isıl işlemler üç farklı yöntem (sıcak hava, yağlı işlem ve ThermoWood yöntemleri) uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Tüm yöntemler için, ahşap örneklere üç farklı hedef sıcaklıklarında (170, 190 ve 210 °C) ısıtıl işlemler uygulanmıştır. Her üç yöntemde, hedef sıcaklıklarındaki ısıtıl işlemin süresi 2 saat sürmüştür ve ısıtıl işlemin toplam süresi ise 36 saat sürmüştür. Böylece, ısıtıl işlem proseslerinde yaşanan süre ve sıcaklık farklılıkları ortadan kaldırılmış ve uygulanan ısıtıl işlem yöntemlerinin ağaç malzemeler üzerindeki etkisinin

daha net görülebilmesi sağlanmıştır. Her üç yöntem için, deney örneklerine farklı sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlem prosesleri Şekil 4.6’da grafiksel şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı sıcaklıklardaki (a: 170 °C, b: 190 °C ve c: 210 °C) ısıl işlem prosesleri.

ThermoWood yöntemi, ThermoWood Handbook (2003)’de tanımlanan prosedürlere göre su buharı koruması altında gerçekleştirilmiştir [39]. Yağlı işlem ve sıcak hava yöntemlerinde ise deney örneklerine, hedef sıcaklıklar ve süreler için atmosferik basınç altında ısıl işlemler uygulanmıştır.



Şekil 4.7. Isıl işlem öncesi ve sonrası bazı örneklerin görünüşleri.

Isıl işlem uygulamalarından sonra ahşap örnekler düzgünce istiflenerek 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 3$ bağıl nem koşullarında sabit bir kütleye ulaşana kadar tutulmuştur (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Isıl işlem sonrası örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.

4.1.4. Deney Örneklerinin Ölçülendirilmesi

Kontrol ve işlem görmüş deney örnekleri fiziksel ve mekanik testler için daire testere ve planya-kalınlık makineleri ile ilgili test standartları dikkate alınarak ölçülendirilmiştir. Çalışma kapsamındaki her bir test için örnek sayıları ve örnek ölçüleri Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Testler için hazırlanan örneklerin ölçü ve sayısı.

Testler	Deney örneği ölçüleri (mm)			Deney örneği sayısı
	Uzunluk (lifler yönü)	Genişlik (teğet yön)	Kalınlık (radyal yön)	
Hava kurusu yoğunluk	30	20	20	180
Boyutsal değişim ve su alma oranı	30	20	20	180
Eğilmede elastikiyet modülü ve statik eğilme direnci	325	20	20	180
Janka sertlik (radyal ve teğet yön)	50	20	20	360

Seçilmiş testlerdeki kontrol (ısıtılmış) ve ısıtılmış gruplarda her bir değişken için (tekerrür) 9 tekrarlı ($n = 9$) olmak üzere Çizelge 4.1’de verilen sayılarda deney örnekleri hazırlanmıştır.

4.2. DENEY METODU

4.2.1. Retensiyonun Belirlenmesi

Emprenye sonrası deney örneklerinin retensiyon oranları (Eşitlik 4.1)'e göre hesaplanmıştır.

$$R = \frac{G \times C}{V} \times 10 \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

R : Retensiyon miktarını (kg/m³)

G : M_{es} - M_{0eö} (emprenye sonrası ağırlık - emprenye öncesi tam kuru ağırlık) (g)

C : Emprenye çözeltisi konsantrasyonunu (%)

V : Deney örneği hacmini (cm³) belirtmektedir.

4.2.2. Su Alma Oranı ve Boyutsal Değişimin Belirlenmesi

Deney örneklerinin su alma ve hacimsel şişme değerleri ISO 13061-15 standardı esaslarına göre belirlenmiştir [78]. Öncelikle, örnekler etüvde 103±2 °C'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiştir (Şekil 4.9). Ardından örneklerin ağırlıkları ve hacmi (uzunluk, genişlik ve kalınlık ölçüleri) ±0,01 mm hassasiyetinde belirlenmiştir. Örnekler daha sonra, 20±2 °C sıcaklığında distile suyun bulunduğu bir kap içerisine bırakılmış ve tamamen su içerisinde kalmaları sağlanmıştır (Şekil 4.10). Örnekler değişmez ağırlığa ulaşınca kadar suda bekletilmiştir. Ardından, su içerisinden alınan örneklerin yüzeylerindeki fazla su, havlu yardımıyla alınmış ve ahşap örneklerde ağırlıklar ve ölçüler tekrar ±0,01 duyarlılıkla belirlenmiştir. Örneklerin su alma oranı (SAO) ve hacimsel şişme oranı (HŞO) sırası ile Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3'e göre belirlenmiştir.

$$SAO = \left(\frac{M_R - M_0}{M_0} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

$$HŞO = \left(\frac{V_R - V_0}{V_0} \right) \times 100 \quad (4.3)$$

Eşitliklerde;

SAO : Su alma oranını (%)

M₀ : Kuru haldeki örnek ağırlığını (g)

M_R : Yaş haldeki örnek ağırlığını (g) ifade etmektedir.

HŞO : Hacimsel şişme oranını (%)

V_0 : Kuru haldeki örnek hacmini (mm)

V_R : Yaş haldeki örnek hacmini (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.9. Etüvde bekletme sonrası örneklerin ağırlık ve ölçülerinin belirlenmesi.



Şekil 4.10. Örneklerin distile su bulunan kaptaki bekletilmesi.

4.2.3. Yoğunluğun Belirlenmesi

Deney örneklerinin hava kuru yoğunluğu TS ISO 13061-2 esaslarına uyularak belirlenmiştir [79]. Örnekler, 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 3$ bağıl nem koşullarında sabit bir kütleye ulaşana kadar tutulmuştur (Şekil 4.11). Ardından, örnek ağırlıkları (M_{12}), analitik terazide $\pm 0,01$ g hassasiyetiyle tartılmış, örnek boyutları ise kumpas ile $\pm 0,01$ mm duyarlılıkla ölçülmüş ve hacimleri (V_{12}) hesaplanmıştır. Elde edilen bu veriler kullanılarak, örneklerin hava kuru yoğunlukları (δ_{12}) Eşitlik 4.4 kullanılarak tespit edilmiştir.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (4.4)$$

Eşitlikte;

δ_{12} : Hava kurusu yoğunluğu (g/cm³)

M_{12} : Hava kurusu haldeki kütleyi (g)

V_{12} : Hava kurusu haldeki hacmi (cm³) belirtmektedir.



Şekil 4.11. İklimlendirme dolabında bekletilen örnekler.

4.2.4. Eğilme Direncinin Belirlenmesi

Eğilme direnci testleri TS ISO 13061-3 esasları çerçevesinde yapılmıştır [80]. Test aşamasına geçmeden önce, ahşap örneklerin orta kısımlarında kalınlık ve genişlik ölçüleri $\pm 0,01$ mm hassasiyeti ile belirlenerek kaydedilmiştir (Şekil 4.12). Ünlversal test cihazı ilerleme/yükleme hızı, deney örneklerinde kırılmanın yüklemmeden itibaren $1,5 \pm 0,5$ dk. içinde gerçekleşecek şekilde belirlenmiştir. Deney sonunda kırılmanın gerçekleştiği andaki kuvvet kaydedilmiş ve örneklerin eğilme dirençleri Eşitlik 4.5'e göre belirlenmiştir.

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot L_s}{2 \cdot a \cdot b^2} \quad (4.5)$$

Eşitlikte;

σ_e : Eğilme direncini (N/mm²)

F_{max} : Kırılmanın oluştuğu andaki maksimum kuvveti (N)

- L_s : Dayanaklar arası açıklığı (mm)
 a : Örnek genişliğini (mm)
 b : Örnek kalınlığını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.12. Eğilme testi öncesi ölçüm ve test uygulaması.

4.2.5. Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Örneklerin elastikiyet modülü TS ISO 13061-4 esaslarına uyularak belirlenmiştir [81]. Elastikiyet modülü, elastik deformasyon bölgesindeki kuvvet farkı (ΔF) ve örnekte eğilme değerleri farkı (Δf) yardımıyla Eşitlik 4.6'ya göre belirlenmiştir.

$$Em = \frac{\Delta F \cdot L_s^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f} \quad (4.6)$$

Eşitlikte;

- Em : Elastikiyet modülünü (N/mm^2)
 ΔF : Elastikiyet bölgesinde oluşan kuvvet farkını (N)
 L_s : Dayanak açıklığını (mm)
 b : Örnek genişliğini (mm)
 h : Örnek yüksekliğini (mm)
 Δf : Eğilme mesafesini (mm) belirtmektedir.

4.2.6. Janka Sertliğin Belirlenmesi

Örneklerin Janka sertlik değeri TS ISO 13061-12 esasları çerçevesinde belirlenmiştir [82]. Deney örnekleri iklimlendirme dolabında kondisyonlanmış ($\%65 \pm 3$ bağıl nem ve 20 ± 2 °C sıcaklıkta) (Şekil 4.13) ve ardından Janka sertlik testleri yapılmıştır (Şekil 4.14). Sertlik ölçümleri deney örneklerinin radyal ve teğet yönlerinde belirlenmiş ve ortalamaları

tek değer olarak alınmıştır. Üniversal test makinesinin yükleme/ilerleme hızı, 3-6 mm/dk. bir hareketle örnek yüzeyinde küre uç yarıçapına (5,64 mm) eşit derinlikte bir çukur oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Bu derinliğe ulaşıldığında veya deney örneğinin çatlaması halinde 2,82 mm'ye ulaşıldığı esnadaki yük %1 hassasiyetle okunmuştur. Örneklerin Janka sertlik değerleri Eşitlik 4.7 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$H_j = K \times F_{max} \quad (4.7)$$

Eşitlikte;

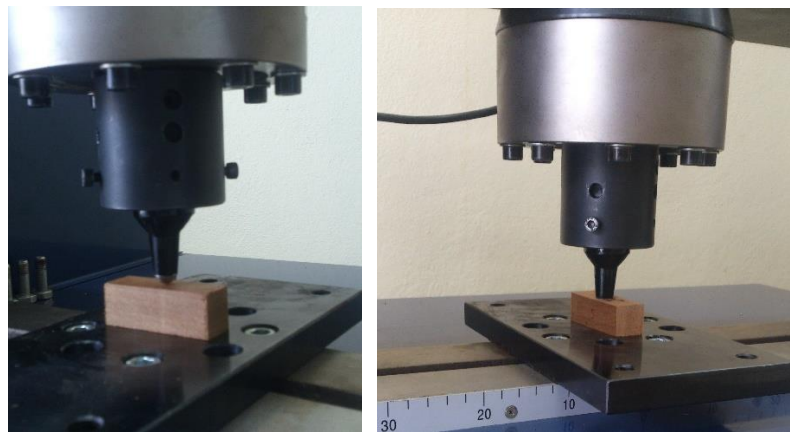
H_j : Janka sertlik değerini ($N \cdot 10^2$),

K : Küre ucun 5,64 mm derinlik seviyesinde 1'e, 2,82 mm derinlik seviyesinde ise 4/3'e eşit olan katsayıyı,

F_{max} : Küre ucun örnekte belirli derinliğe girmesi esnasındaki kuvveti (N) belirtmektedir.



şekil 4.13. Örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.



şekil 4.14. Janka sertlik testi.

4.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi

Uygulanan testler sonucunda elde edilen sayısal verilerin değerlendirilmesi için MSTAT-C istatistik programından yararlanılmıştır. Sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine farklı atmosferik koşullardaki ısıt işlemlerin etkisini belirlenmek için varyans analizleri (ANOVA) 0,05 önem düzeyinde uygulanmıştır. Ağaç türü, ısıt işlem sıcaklığı ve ısıt işlem yöntemi faktörlerinin kendi aralarındaki farklılıklar ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri, Duncan testleri uygulanarak homojenlik gruplarına ayrılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.



5. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ

5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklık seviyelerinde ısıtılma işlemi gören sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin retensiyon, hava kurusu yoğunluk, su alma ve boyutsal değişim oranlarına ait fiziksel özellikler bu kısımda incelenmiştir.

5.1.1. Retensiyon

Bezir yağı emprenyeli sarıçam ve Avrupa kayını örnekleri için tespit edilen retensiyon değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Ağaç malzemelerin retensiyon miktarları.

Ağaç türü	Retensiyon (kg/m ³)	
	$\bar{x}$	St.S
Sarıçam	345	28
Avrupa kayını	365	14

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.1’e göre; sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin retensiyon değeri ortalaması sırası ile 345 kg/m³ ve 365 kg/m³ olarak belirlenmiştir.

5.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk

Farklı sıcaklık ve yöntemlerle ısıtılma işlemi görmüş sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinde hava kurusu yoğunluk değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney örneklerinin yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm³).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
		Sarıçam		Avrupa kayını	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
ThermoWood	170 °C	0,562	0,03	0,580	0,01
	190 °C	0,538	0,03	0,568	0,01
	210 °C	0,534	0,03	0,552	0,01
Yağlı işlem	170 °C	0,743	0,04	0,771	0,03
	190 °C	0,739	0,03	0,771	0,03
	210 °C	0,720	0,04	0,765	0,03
Sıcak hava	170 °C	0,545	0,03	0,577	0,01

Çizelge 5.2. (devam) Deney örneklerinin yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm³).

Sıcak hava	190 °C	0,533	0,03	0,568	0,01
	210 °C	0,529	0,03	0,555	0,01
Kontrol		0,572	0,02	0,587	0,01

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St. S: Standart sapma

Çizelge 5.2 sonuçlarına göre ağaç türü, ısıtma işlem yöntemi ve ısıtma işlem sıcaklığı değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin yoğunluk değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.3'te sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Örneklerin yoğunluk değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	0,035	0,035	58,8798	0,0000*
Isıtma işlem yöntemi (B)	3	1,478	0,493	817,2500	0,0000*
Isıtma işlem sıcaklığı (C)	2	0,009	0,004	7,3413	0,0008*
Etkileşim (AB)	3	0,003	0,001	1,9214	0,1275**
Etkileşim (AC)	2	0,000	0,000	0,1647	ns
Etkileşim (BC)	6	0,004	0,001	1,2083	0,3037**
Etkileşim (ABC)	6	0,001	0,000	0,3197	ns
Hata	192	0,116	0,001		
Toplam	215	1,647			

*: 0,05'e göre önemli, **: anlamsız, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin yoğunluk değerleri üzerine ağaç türü, ısıtma işlem yöntemi ve ısıtma işlem sıcaklığı faktörleri önemli ancak, bu faktörlerde karşılıklı etkileşimler önemsiz çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıtma işlem yöntemi ve ısıtma işlem sıcaklığı faktörlerine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4. Ağaç türüne ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırmaları (g/cm³).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Sarıçam	0,597	B
Avrupa kayını	0,622	A*
LSD: ± 0,008488		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.4'e göre; yoğunluk değeri Avrupa kayını örneklerinde yüksek (0,622 g/cm³), sarıçam örneklerinde daha düşük (0,597 g/cm³) belirlenmiştir.

Çizelge 5.5. Isıl işlem yöntemine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Isıl işlem yöntemi	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0,580	B
ThermoWood	0,556	C
Yağlı işlem	0,751	A*
Sıcak hava	0,551	C
LSD: $\pm 0,01200$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.5'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, yağlı ısıtım işlem gören örneklerde (0,751 g/cm³), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere sıcak hava ve ThermoWood yöntemiyle işlem gören örneklerde (0,551 g/cm³ ve 0,556 g/cm³) elde edilmiştir.

Çizelge 5.6. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Isıl işlem sıcaklığı	$\bar{x}$	HG
170 °C	0,617	A*
190 °C	0,609	AB
210 °C	0,602	B
LSD: $\pm 0,01040$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.6'ya göre; en yüksek yoğunluk değeri, 170 °C'de ısıtım işlemli örneklerde (0,617 g/cm³), en düşük ise 210 °C'de ısıtım işlemli örneklerde (0,602 g/cm³) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıtım işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Ağaç türü-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri
Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Isıl işlem yöntemi	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0,573	CD	0,587	C
ThermoWood	0,545	E	0,567	D
Yağlı işlem	0,734	B	0,769	A*
Sıcak hava	0,536	E	0,566	D
LSD: $\pm 0,01698$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.7'ye göre; en yüksek yoğunluk değeri, yağlı işlem gören Avrupa kayını örneklerinde (0,769 g/cm³), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere sıcak hava ve ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem gören sarıçam örneklerde (0,536 g/cm³ ve 0,545 g/cm³) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri
Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
170 °C	0,606	BC	0,629	A*
190 °C	0,595	CD	0,623	A*
210 °C	0,589	D	0,614	AB
LSD: $\pm 0,01470$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.8'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, aralarında önemli bir fark olmamak üzere 170 °C ve 190 °C'de ısıl işlemli Avrupa kayını örneklerinde (0,629 g/cm³ ve 0,623 g/cm³), en düşük ise 210 °C'de ısıl işlemli örneklerde (0,589 g/cm³) elde edilmiştir.

Isıl işlem sıcaklığı-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin yoğunluk değerlerindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.9'da verilmiştir.

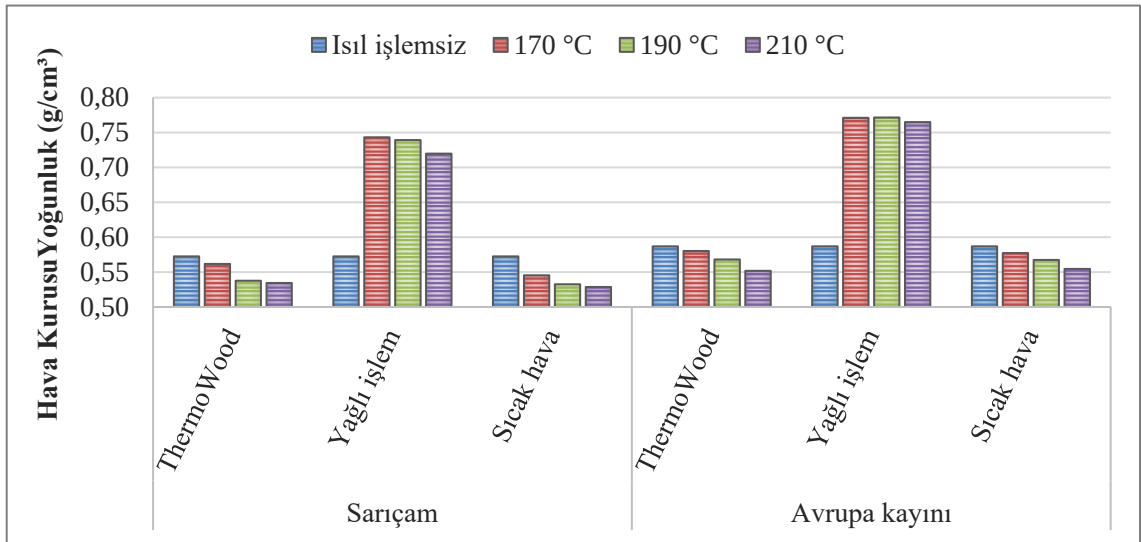
Çizelge 5.9. Isıl işlem yöntemi-ısııl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin yoğunluk değerleri Duncan testi karşılaştırması (g/cm³).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı					
	170 °C		190 °C		210 °C	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0,580	B	0,580	B	0,580	B
ThermoWood	0,571	BC	0,553	CD	0,543	D
Yağlı işlem	0,757	A*	0,755	A*	0,742	A*
Sıcak hava	0,561	BCD	0,550	CD	0,542	D
LSD: $\pm 0,02079$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.9’a göre; en yüksek yoğunluk değeri aralarında önemli bir fark olmamak üzere yağlı ısııl işlem yöntemi ile 170 °C, 190 °C ve 210 °C’de ısııl işlemli örneklerde (0,757 g/cm³, 0,755 g/cm³ ve 0,742 g/cm³), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile 210 °C’de ısııl işlemli örneklerde (0,543 g/cm³ ve 0,542 g/cm³) elde edilmiştir.

Farklı ısııl işlemler uygulanmış sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin hava kurusu yoğunluk değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin hava kurusu yoğunluk değerleri.

5.1.3. Su Alma Oranı

Farklı koşullarda ısııl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinde su alma ortalama değerleri Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Deney örneklerinin su alma değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
		Sarıçam		Avrupa kayını	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
ThermoWood	170 °C	103,2	5,3	97,0	5,3
	190 °C	105,0	5,7	94,9	5,9
	210 °C	97,3	5,3	87,3	5,6
Yağlı işlem	170 °C	54,1	5,8	54,2	3,7
	190 °C	49,7	5,7	50,5	4,2
	210 °C	46,2	5,4	43,6	1,8
Sıcak hava	170 °C	105,0	5,1	94,3	4,6
	190 °C	104,2	6,2	93,6	4,8
	210 °C	96,7	5,1	84,7	5,1
Kontrol		108,1	5,1	103,0	5,1

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.10 sonuçlarına göre ağaç türü, ısıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin su alma oranı değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.11’de sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Su alma oranı değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	2280,200	2280,200	86,9269	0,0000*
Isıl işlem yöntemi (B)	2	60305,072	30152,536	1149,4901	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	3	26656,012	8885,337	338,7313	0,0000*
Etkileşim (AB)	2	620,540	310,270	11,8283	0,0000*
Etkileşim (AC)	3	64,326	21,442	0,8174	ns
Etkileşim (BC)	6	20192,425	3365,404	128,2976	0,0000*
Etkileşim (ABC)	6	239,811	39,969	1,5237	0,1723**
Hata	192	5036,395	26,231		
Toplam	215	115394,783			

*: 0,05’e göre önemli, **: anlamsız, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin su alma oranları üzerine ağaç türü- ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşim ile ağaç türü-ısıl işlem yöntemi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşim önemsiz, diğer tüm faktörler ise önemli çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı faktörlerine ilişkin, örneklerin su alma değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.12, Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14’te verilmiştir.

Çizelge 5.12. Ağaç türüne ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Sarıçam	90,6	A*
Avrupa kayını	84,1	B
LSD: $\pm 1,375$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.12'ye göre; su alma oranı sarıçam örneklerinde yüksek (%90,6), Avrupa kayını örneklerinde daha düşük (%84,1) belirlenmiştir.

Çizelge 5.13. Isıl işlem yöntemine ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem yöntemi	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	99,5	A*
Yağlı işlem	63,7	B
Sıcak hava	98,7	A*
LSD: $\pm 1,684$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.13'e göre; ısıl işlem yöntemi düzeyinde en yüksek su alma oranı, aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemiyle ısıl işlemlenmiş örneklerde (%99,5 ve %98,7), en düşük ise yağlı ısıl işlemlenmiş örneklerde (%63,7) elde edilmiştir.

Çizelge 5.14. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem sıcaklığı	$\bar{x}$	HG
Kontrol	105,7	A*
170 °C	84,6	B
190 °C	83,0	B
210 °C	76,0	C
LSD: $\pm 1,944$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.14'e göre; en yüksek su alma oranı, kontrol (ısıl işlemlenmemiş) örneklerinde (%105,7), en düşük ise 210 °C'de ısıl işlemlenmiş örneklerde (%76) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin su alma oranlarındaki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Ağaç türü-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin su alma değerleri
Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem yöntemi	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	103,5	A*	95,6	B
Yağlı işlem	64,6	C	62,8	C
Sıcak hava	103,6	A*	93,9	B
LSD: $\pm 2,381$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.15'e göre; en yüksek su alma oranı, aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemleriyle işlemlenmiş sarıçam örneklerinde (%103,5 ve %103,6), en düşük ise yağlı ısıl işlemlenmiş Avrupa kayını örneklerinde (%62,8) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin su alma oranlarındaki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin su alma değerleri
Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	108,5	A*	103,0	B
170 °C	87,5	C	81,8	D
190 °C	86,3	C	79,6	D
210 °C	80,1	D	71,8	E
LSD: $\pm 2,749$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.16'a göre; en yüksek su alma oranı, kontrol (ısıl işlemlenmemiş) sarıçam örneklerinde (%108,5), en düşük ise 210 °C'de ısıl işlemlenmiş Avrupa kayını örneklerinde (%71,8) elde edilmiştir.

Isıl işlem sıcaklığı-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin su alma oranlarındaki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.17'de verilmiştir.

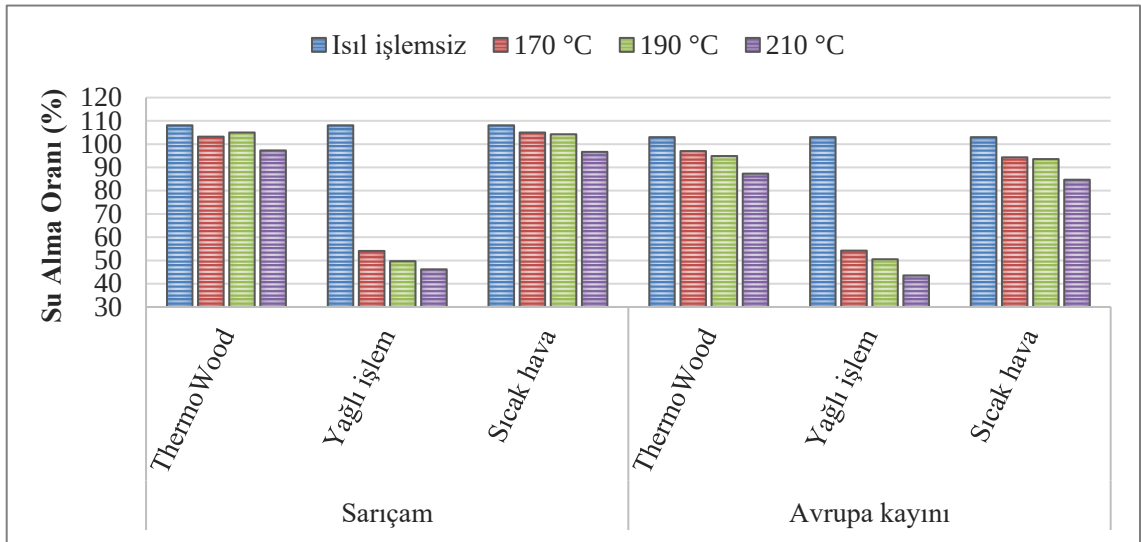
Çizelge 5.17. Isıl işlem yöntemi-ısııl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin su alma değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı							
	Kontrol		170 °C		190 °C		210 °C	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	105,7	A*	100,1	B	99,9	B	92,3	C
Yağlı işlem	105,7	A*	54,1	D	50,1	E	44,9	F
Sıcak hava	105,7	A*	99,7	B	98,9	B	90,7	C
LSD: $\pm 3,367$								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.17'e göre; en yüksek su alma oranı kontrol (ısııl işlemsiz) örneklerinde (%105,7) en düşük ise yağlı ısııl işlem yöntemi ile 210 °C sıcaklıkta işlem görmüş örneklerde (%44,9) elde edilmiştir.

Farklı ısııl işlemler uygulanmış sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin su alma oranı değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin su alma oranı değerleri.

5.1.4. Hacimsel Şişme

Farklı koşullarda ısııl işlem uygulanmış ağaç malzeme örneklerin, suda bekletme testi sonrası hacimsel şişme değeri ortalamaları Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Deney örneklerinin hacimsel şişme değerleri (%).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
		Sarıçam		Avrupa kayını	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
ThermoWood	170 °C	13,27	1,51	14,88	0,92
	190 °C	11,88	1,44	13,98	0,55
	210 °C	10,45	1,66	11,37	1,20
Yağlı işlem	170 °C	12,09	1,47	13,95	1,18
	190 °C	10,89	1,60	12,88	0,86
	210 °C	9,70	1,48	10,01	0,58
Sıcak hava	170 °C	12,56	1,78	15,03	0,55
	190 °C	11,28	1,53	13,52	1,27
	210 °C	10,23	1,69	10,67	0,90
Kontrol		14,13	1,87	16,64	0,84

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.18 sonuçlarına göre ağaç türü, ısıtım işlem yöntemi ve ısıtım işlem sıcaklığı değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin hacimsel şişme oranı değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.19’da sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. Hacimsel şişme değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	173,057	173,057	97,1103	0,0000*
Isıl işlem yöntemi (B)	2	22,695	11,348	6,3677	0,0021*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	3	711,080	237,027	133,0064	0,0000*
Etkileşim (AB)	2	0,544	0,272	0,1526	ns
Etkileşim (AC)	3	29,497	9,832	5,5175	0,0012*
Etkileşim (BC)	6	7,979	1,330	0,7463	ns
Etkileşim (ABC)	6	2,246	0,374	0,2101	ns
Hata	192	342,157	1,782		
Toplam	215	1289,256			

*: 0,05’e göre önemli, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin hacimsel şişme değerleri üzerine ağaç türü, ısıtım işlem yöntemi ve ısıtım işlem sıcaklığı faktörleriyle ağaç türü-ısıtım işlem sıcaklığı ikili etkileşim önemli ancak diğer etkileşimler önemsiz çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıtım işlem yöntemi ve ısıtım işlem sıcaklığı faktörlerine ilişkin, hacimsel şişme değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları

sırasıyla Çizelge 5.20, Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Ağaç türüne ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Sarıçam	12,06	B
Avrupa kayını	13,85	A*
LSD: $\pm 0,3583$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel şişme

Çizelge 5.20’ye göre; hacimsel şişme oranı Avrupa kayını örneklerinde yüksek (%13,85), sarıçam örneklerinde daha düşük (%12,06) belirlenmiştir.

Çizelge 5.21. Isıl işlem yöntemine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem yöntemi	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	13,33	A*
Yağlı işlem	12,54	B
Sıcak hava	13,01	A*
LSD: $\pm 0,4388$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel şişme

Çizelge 5.21’e göre; en yüksek hacimsel şişme oranı, aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile işlem gören örneklerde (%13,33 ve %13,01) en düşük ise yağlı ısıtma işlem gören örneklerde (%12,54) elde edilmiştir.

Çizelge 5.22. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem sıcaklığı	$\bar{x}$	HG
Kontrol	15,39	A*
170 °C	13,63	B
190 °C	12,40	C
210 °C	10,40	D
LSD: $\pm 0,5067$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek hacimsel şişme

Çizelge 5.22’e göre; en yüksek hacimsel şişme oranı, kontrol (ısıtma işlemi) örneklerinde (%15,39), en düşük ise 210 °C’de ısıtma işlemli örneklerde (%10,40) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıtma işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin hacimsel şişme oranlarındaki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.23’te verilmiştir.

Çizelge 5.23. Ağaç türü-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem yöntemi	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	12,43	C	14,22	A*
Yağlı işlem	11,70	D	13,37	B
Sıcak hava	12,10	CD	13,96	AB
LSD: $\pm 0,6206$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hava kurusu yoğunluk

Çizelge 5.23'e göre; en yüksek hacimsel şişme oranı, ThermoWood yöntemi ile işlem gören Avrupa kayını örneklerinde (%14,22), en düşük ise yağlı ısıl işlem gören sarıçam örneklerde (%11,70) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin hacimsel şişme oranlarındaki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24. Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	14,13	BC	16,64	A*
170 °C	12,64	D	14,62	B
190 °C	11,35	E	13,46	C
210 °C	10,13	F	10,68	EF
LSD: $\pm 0,7166$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*):En yüksek hacimsel şişme

Çizelge 5.24'e göre; en yüksek hacimsel şişme oranı, kontrol (ısıl işlemsiz) Avrupa kayını örneklerinde (%16,64), en düşük ise 210 °C'de ısıl işlemli sarıçam örneklerde (%10,13) elde edilmiştir.

Isıl işlem sıcaklığı-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin hacimsel şişme oranlarındaki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.25'te verilmiştir.

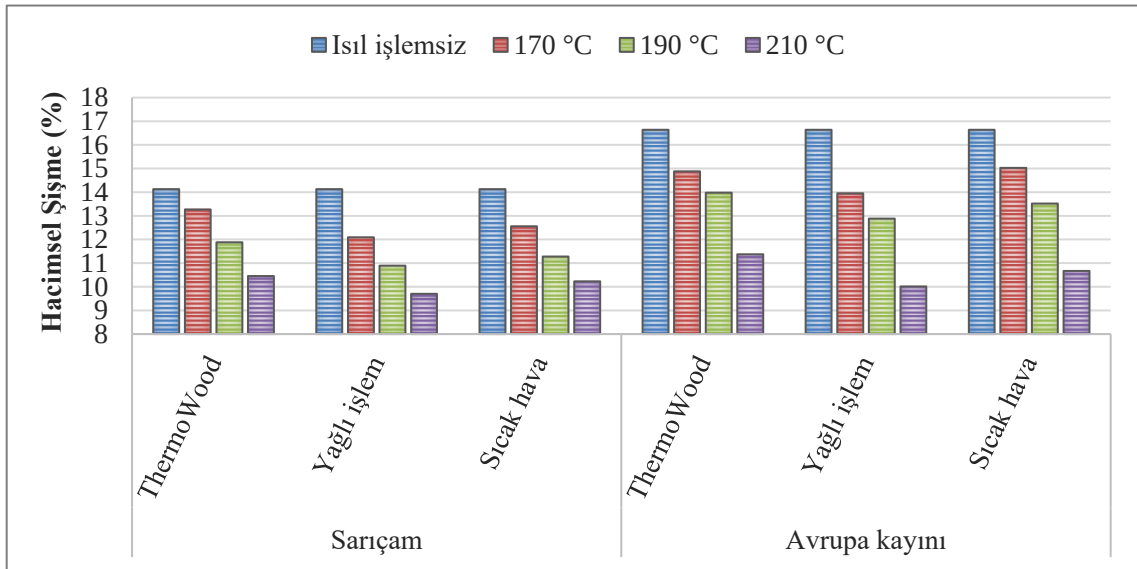
Çizelge 5.25. Isıl işlem sıcaklığı-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin hacimsel şişme değerleri Duncan testi karşılaştırması (%).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı							
	Kontrol		170 °C		190 °C		210 °C	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	15,39	A*	14,08	B	12,93	CD	10,91	F
Yağlı işlem	15,39	A*	13,02	CD	11,88	E	9,86	G
Sıcak hava	15,39	A*	13,79	BC	12,40	DE	10,45	FG
LSD: $\pm 0,8777$								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek hacimsel şişme

Çizelge 5.25'e göre; en yüksek hacimsel şişme oranı kontrol (ısıl işlemsiz) örneklerde (%15,39), en düşük ise yağlı ısıl işlem yöntemi ile 210 °C sıcaklıkta işlem görmüş örneklerde (%9,86) elde edilmiştir.

Farklı ısıl işlemler uygulanmış sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin hacimsel şişme oranı değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin hacimsel şişme değerleri.

5.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

Farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklık seviyelerinde ısıl işlem görmüş sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve Janka sertlik gibi mekanik özellikleri bu bölümde incelenmiştir.

5.2.1. Statik Eğilme Direnci

Farklı koşullarda ısıtılmış ahşap örneklerde eğilme direnci ortalamaları Çizelge 5.26’da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Deney örneklerinin eğilme direnci değerleri (N/mm²).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
		Sarıçam		Avrupa kayını	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
ThermoWood	170 °C	78,81	5,39	85,95	2,67
	190 °C	70,34	4,51	77,45	3,06
	210 °C	57,10	3,25	64,09	2,68
Yağlı işlem	170 °C	86,33	6,22	92,61	2,66
	190 °C	77,12	4,31	85,17	3,18
	210 °C	64,96	5,25	71,72	3,79
Sıcak hava	170 °C	75,96	5,37	84,93	3,52
	190 °C	66,46	4,67	75,28	4,25
	210 °C	54,76	2,89	58,47	2,21
Kontrol		84,62	6,24	94,02	1,93

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.26 sonuçlarına göre ağaç türü, ısıtılmış işlem yöntemi ve ısıtılmış işlem sıcaklığı değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin eğilme direnci değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.27’de sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.27. Eğilme direnci değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	3177,221	3177,221	180,6183	0,0000*
Isıl işlem yöntemi (B)	2	2295,954	1147,977	65,2601	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	3	23381,090	7793,697	443,0552	0,0000*
Etkileşim (AB)	2	0,107	0,053	0,0030	ns
Etkileşim (AC)	3	88,509	29,503	1,6772	0,1733**
Etkileşim (BC)	6	800,999	133,500	7,5892	0,0000*
Etkileşim (ABC)	6	53,623	8,937	0,5081	ns
Hata	192	3377,434	17,591		
Toplam	215	33174,936			

*: 0,05’e göre önemli, **: anlamsız, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin eğilme direnci değerleri üzerine ağaç türü, ısıtılmış işlem yöntemi ve ısıtılmış işlem sıcaklığı faktörleri ile ısıtılmış işlem yöntemi-ısıtılmış işlem sıcaklığı

ikili etkileşimi önemli, diğer etkileşimler ise önemsiz çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıtım işlem yöntemi ve ısıtım işlem sıcaklığı faktörlerine ilişkin, ahşap örneklerin eğilme direnci değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.28, Çizelge 5.29 ve Çizelge 5.30'da verilmiştir.

Çizelge 5.28. Ağaç türüne ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm^2).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Sarıçam	73,81	B
Avrupa Kayını	81,48	A*
LSD: $\pm 1,126$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.28'e göre; eğilme direnci Avrupa kayını örneklerinde yüksek ($81,48 N/mm^2$), sarıçam örneklerde daha düşük ($73,81 N/mm^2$) belirlenmiştir.

Çizelge 5.29. Isıtım işlem yöntemine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm^2).

Isıtım işlem yöntemi	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	76,55	B
Yağlı işlem	82,07	A*
Sıcak hava	74,31	C
LSD: $\pm 1,379$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.29'a göre; en yüksek eğilme direnci, yağlı ısıtım işlem gören örneklerde ($82,07 N/mm^2$), en düşük ise sıcak hava yöntemiyle işlem gören örneklerde ($74,31 N/mm^2$) elde edilmiştir.

Çizelge 5.30. Isıtım işlem sıcaklığına ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırmaları (N/mm^2).

Isıtım işlem sıcaklığı	$\bar{x}$	HG
Kontrol	89,32	A*
170 °C	84,10	B
190 °C	75,30	C
210 °C	61,85	D
LSD: $\pm 1,592$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.30'a göre; en yüksek eğilme direnci, kontrol (ısıtım işlemleri) örneklerde ($89,32 N/mm^2$), en düşük ise 210 °C sıcaklıkta ısıtım işlem uygulanmış örneklerde ($61,85 N/mm^2$)

elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin eğilme direncindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.31’de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Ağaç türü-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıl işlem yöntemi	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	72,72	D	80,38	B
Yağlı işlem	78,26	C	85,88	A*
Sıcak hava	70,45	E	78,18	C
LSD: $\pm 1,950$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.31’e göre; en yüksek eğilme direnci, yağlı ısıl işlem gören Avrupa kayını örneklerinde (85,88 N/mm²), en düşük ise sıcak hava yöntemiyle ısıl işlemlili sarıçam örneklerde (70,45 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin eğilme direncindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.32’de verilmiştir.

Çizelge 5.32. Ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	84,62	C	94,02	A*
170 °C	80,37	D	87,83	B
190 °C	71,31	E	79,30	D
210 °C	58,94	G	64,76	F
LSD: $\pm 2,252$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.32’ye göre; en yüksek eğilme direnci, kontrol (ısıl işlemsiz) Avrupa kayını örneklerinde (94,02 N/mm²), en düşük ise 210 °C’de ısıl işlemlili sarıçam örneklerde (58,94 N/mm²) elde edilmiştir.

Isıl işlem sıcaklığı-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin eğilme direncindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.33'te verilmiştir.

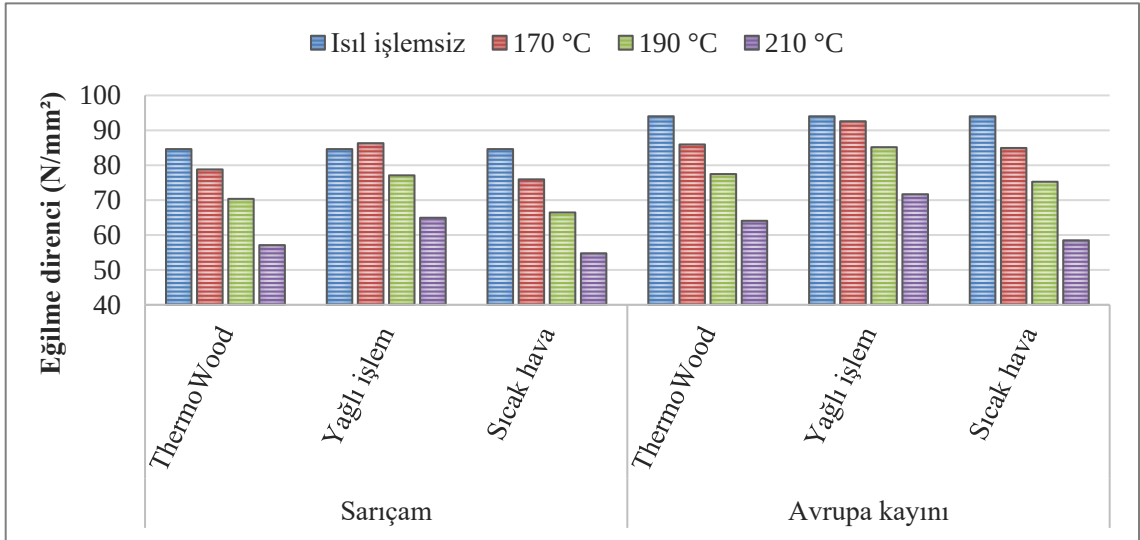
Çizelge 5.33. Isıl işlem yöntemi- ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin eğilme direnci Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı							
	Kontrol		170 °C		190 °C		210 °C	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	89,32	A*	82,38	B	73,90	C	60,59	E
Yağlı işlem	89,32	A*	89,47	A*	81,15	B	68,34	D
Sıcak hava	89,32	A*	80,44	B	70,87	D	56,62	F
LSD: $\pm 2,758$								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.33'e göre; en yüksek eğilme direnci, aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (ısıl işlemsiz) ve yağlı ısıl işlem yöntemi ile 170 °C'de ısıl işlemlili örneklerde (89,32 N/mm² ve 89,47 N/mm²), en düşük ise sıcak hava yöntemiyle 210 °C'de ısıl işlemlili örneklerde (56,62 N/mm²) elde edilmiştir.

Farklı ısıl işlemler uygulanmış sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin eğilme direnci değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Isıl işlemlili sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin eğilme direnci değerleri.

5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Farklı koşullarda ısıl işlem görmüş deney örneklerinde elastikiyet modülü ortalamaları

Çizelge 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5.34. Deney örneklerinin elastikiyet modülü değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm²).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
		Sarıçam		Avrupa kayını	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
ThermoWood	170 °C	8923	603	9288	231
	190 °C	8344	619	9210	151
	210 °C	8140	537	8647	296
Yağlı işlem	170 °C	9393	502	9936	120
	190 °C	9113	491	9667	118
	210 °C	8540	528	9143	298
Sıcak hava	170 °C	8818	584	9213	225
	190 °C	8317	576	9042	209
	210 °C	7909	431	8428	253
Kontrol		8841	557	9348	254

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.34 sonuçlarına göre ağaç türü, ısıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin elastikiyet modülü değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.35'te sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.35. Elastikiyet modülü değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	16322902,241	16322902,241	92,6154	0,0000*
Isıl işlem yöntemi (B)	2	0395720,259	5197860,130	29,4924	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	3	18918244,111	6306081,370	35,7804	0,0000*
Etkileşim (AB)	2	5764,037	2882,019	0,0164	ns
Etkileşim (AC)	3	573348,093	191116,031	1,0844	0,3569**
Etkileşim (BC)	6	3630245,222	605040,870	3,4330	0,0030*
Etkileşim (ABC)	6	320618,852	53436,475	0,3032	ns
Hata	192	33838825,556	176243,883		
Toplam	215	84005668,370			

*: 0,05'e göre önemli, **: anlamsız, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin elastikiyet modülü üzerine ağaç türü-ısıl işlem yöntemi, ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimleri ve ağaç türü-ısıl işlem yöntemi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşimi önemsiz, diğer tüm faktörler ise önemli çıkmıştır ($P \leq$

0,05).

Ağaç türü, ısıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı faktörlerine ilişkin, elastikiyet modülü değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.36, Çizelge 5.37 ve Çizelge 5.38’de verilmiştir.

Çizelge 5.36. Ağaç türüne ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Sarıçam	8668	B
Avrupa kayını	9218	A*
LSD: $\pm 112,7$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.36’ya göre; elastikiyet modülü Avrupa kayını örneklerinde yüksek (9218 N/mm²), sarıçam örneklerde daha düşük (8668 N/mm²) belirlenmiştir.

Çizelge 5.37. Isıl işlem yöntemine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıl işlem yöntemi	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	8843	B
Yağlı işlem	9248	A*
Sıcak hava	8740	B
LSD: ± 138		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.37’ye göre; en yüksek elastikiyet modülü, yağlı ısıl işlem gören örneklerde (9248 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile işlem gören örneklerde (8843 N/mm² ve 8740 N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.38. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıl işlem sıcaklığı	$\bar{x}$	HG
Kontrol	9095	B
170 °C	9262	A*
190 °C	8949	B
210 °C	8468	C
LSD: $\pm 159,4$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.38'e göre; en yüksek elastikiyet modülü, 170 °C'de ısıtılmış örneklerde (9262 N/mm²), en düşük ise 210 °C'de ısıtılmış örneklerde (8468 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıtılmış işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülündeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.39'da verilmiştir.

Çizelge 5.39. Ağaç türü-ısıtılmış işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıtılmış işlem yöntemi	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	8562	C	9123	B
Yağlı işlem	8972	B	9524	A*
Sıcak hava	8471	C	9008	B
LSD: $\pm 195,2$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.39'a göre; en yüksek elastikiyet modülü, yağlı işlem gören Avrupa kayını örneklerde (9524 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile ısıtılmış işlem gören sarıçam örneklerde (8562 N/mm² ve 8471 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıtılmış işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülündeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.40'ta verilmiştir.

Çizelge 5.40. Ağaç türü-ısıtılmış işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıtılmış işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	8841	BC	9348	A*
170 °C	9045	B	9479	A*
190 °C	8591	D	9306	A*
210 °C	8196	E	8740	CD
LSD: $\pm 225,4$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.40'a göre; en yüksek elastikiyet modülü, aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (ısıtılmamış), 170 °C ve 190 °C'de ısıtılmış işlemli Avrupa kayını örneklerinde

(9348 N/mm², 9479 N/mm² ve 9306 N/mm²), en düşük ise 210 °C’de ısıtıl işlemli sarıçam örneklerde (8196 N/mm²) elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı-ısıtıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin elastikiyet modülündeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.41’de verilmiştir.

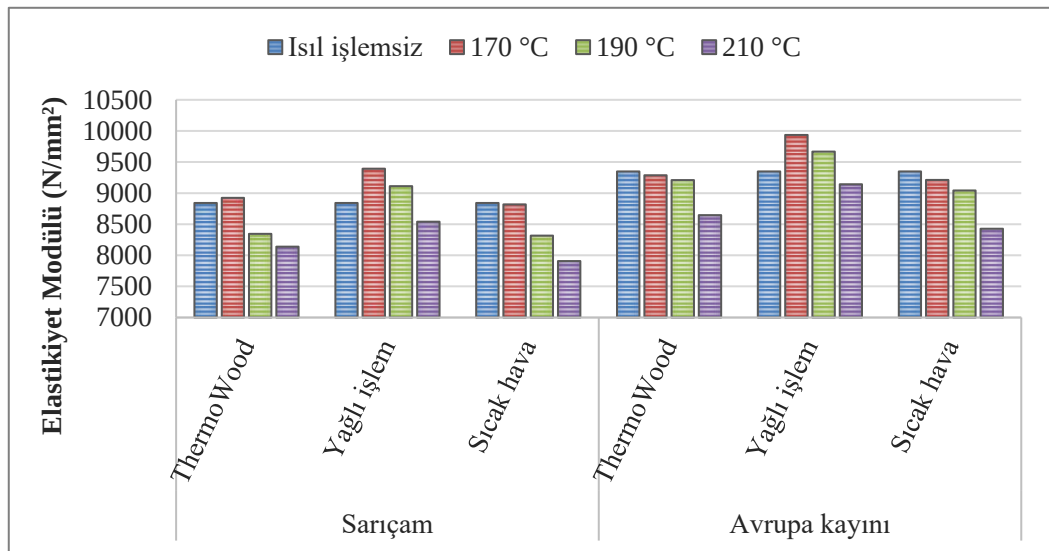
Çizelge 5.41. Isıl işlem yöntemi-ısıtıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin elastikiyet modülü Duncan testi karşılaştırması (N/mm²).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı							
	Kontrol		170 °C		190 °C		210 °C	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	9095	B	9105	B	8777	CD	8394	E
Yağlı işlem	9095	B	9665	A*	9390	A*	8842	BCD
Sıcak hava	9095	B	9016	BC	8680	D	8169	E
LSD: ± 276								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek elastikiyet modülü

Çizelge 5.41’e göre; en yüksek elastikiyet modülü, aralarında önemli bir fark olmamak üzere yağlı ısıtıl işlem yöntemi ile 170 °C ve 190 °C’de ısıtıl işlemli örneklerde (9665 N/mm² ve 9390 N/mm²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemleri ile 210 °C’de ısıtıl işlemli örneklerde (8394 N/mm² ve 8169 N/mm²) elde edilmiştir.

Farklı ısıtıl işlemler uygulanmış sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin elastikiyet modülü değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin elastikiyet modülü değerleri.

5.2.3. Janka Sertlik

Farklı yöntemler ile farklı sıcaklık koşullarında ısıtım işlem uygulanmış deney örneklerinden ölçülen sertlik değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.42’de verilmiştir.

Çizelge 5.42. Deney örneklerinin sertlik değerleri ($N \cdot 10^2$).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
		Sarıçam		Avrupa kayını	
		$\bar{x}$	St.S	$\bar{x}$	St.S
ThermoWood	170 °C	26,70	2,67	32,98	1,25
	190 °C	25,75	2,57	32,20	0,75
	210 °C	22,90	2,65	27,60	0,97
Yağlı işlem	170 °C	29,12	2,79	37,41	1,89
	190 °C	28,70	2,48	35,76	1,16
	210 °C	25,77	2,89	31,87	1,18
Sıcak hava	170 °C	25,19	2,83	32,40	1,39
	190 °C	24,64	2,61	30,74	0,91
	210 °C	23,72	2,05	26,59	0,93
Kontrol		26,63	2,78	34,61	0,75

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma

Çizelge 5.42 sonuçlarına göre ağaç türü, ısıtım işlem yöntemi ve ısıtım işlem sıcaklığı değişkenlerine bağlı olarak deney örneklerinin sertlik değerlerinde farklılıklar görülmüştür. Meydana gelen farklılıkların kaynaklandığı faktörleri belirlemek için ANOVA testi uygulanmış ve Çizelge 5.43’te sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.43. Sertlik değerleri için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	2339,914	2339,914	561,8064	0,0000*
Isıl işlem yöntemi (B)	2	406,993	203,496	48,8589	0,0000*
Isıl işlem sıcaklığı (C)	3	647,230	215,743	51,7993	0,0000*
Etkileşim (AB)	2	17,042	8,521	2,0458	0,1321**
Etkileşim (AC)	3	88,187	29,396	7,0578	0,0002*
Etkileşim (BC)	6	143,521	23,920	5,7432	0,0000*
Etkileşim (ABC)	6	17,809	2,968	0,7127	ns
Hata	192	799,677	4,165		
Toplam	215	4460,373			

*: 0,05’e göre önemli, **: anlamsız, ns: önemsiz

ANOVA testi sonuçlarına göre, örneklerin sertlik değerleri üzerine ağaç türü, ısıtım işlem

yöntemi ve işlem sıcaklığı faktörleriyle ağaç türü-ısıl işlem sıcaklığı ve ısıl işlem yöntemi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimleri önemli bulunmuştur. Ağaç türü-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşim ile ağaç türü-ısıl işlem yöntemi-ısıl işlem sıcaklığı üçlü etkileşim önemsiz çıkmıştır ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıl işlem yöntemi ve ısıl işlem sıcaklığı faktörlerine ilişkin, örneklerin sertlik değerlerindeki farkı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırmaları sırasıyla Çizelge 5.44, Çizelge 5.45 ve Çizelge 5.46'da verilmiştir.

Çizelge 5.44. Ağaç türüne ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Sarıçam	26,03	B
Avrupa kayını	32,61	A*
LSD: $\pm 0,5478$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek sertlik

Çizelge 5.44'e göre; sertlik değeri Avrupa kayını örneklerinde yüksek ($32,61 N \cdot 10^2$), sarıçam örneklerde daha düşük ($26,03 N \cdot 10^2$) belirlenmiştir.

Çizelge 5.45. Isıl işlem yöntemine ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).

Isıl işlem yöntemi	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	28,67	B
Yağlı işlem	31,23	A*
Sıcak hava	28,06	B
LSD: $\pm 0,6709$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek sertlik

Çizelge 5.45'e göre; en yüksek sertlik, yağlı ısıl işlemli örneklerde ($31,23 N \cdot 10^2$), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemiyle işlemli örneklerde ($28,67 N \cdot 10^2$ ve $28,06 N \cdot 10^2$) elde edilmiştir.

Çizelge 5.46. Isıl işlem sıcaklığına ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması ($N \cdot 10^2$).

Isıl işlem sıcaklığı	$\bar{x}$	HG
Kontrol	30,62	A*
170 °C	30,63	A*
190 °C	29,63	B
210 °C	26,41	C
LSD: $\pm 0,7747$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek sertlik

Çizelge 5.46'ya göre; en yüksek sertlik, aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol (ısıl işlemsiz) ve 170 °C'de ısıtılmış örneklerde (30,62 N·10² ve 30,63 N·10²), en düşük ise 210 °C'de ısıtılmış örneklerde (26,41 N·10²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıtılma işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin sertliğindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.47'de verilmiştir.

Çizelge 5.47. Ağaç türü-ısıtılma işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin sertlik değerleri
Duncan testi karşılaştırması (N·10²).

Isıl işlem yöntemi	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	25,49	D	31,84	B
Yağlı işlem	27,55	C	34,91	A*
Sıcak hava	25,04	D	31,08	B
LSD: ± 0,9488				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek sertlik

Çizelge 5.47'ye göre; en yüksek sertlik, yağlı işlem gören Avrupa kayını örneklerinde (34,91 N·10²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemiyle ısıtılma işlem gören sarıçam örneklerde (25,49 N·10² ve 25,04 N·10²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıtılma işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin sertliğindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.48'de verilmiştir.

Çizelge 5.48. Ağaç türü-ısıtılma işlem sıcaklığı ikili etkileşimine ilişkin sertlik değerleri
Duncan testi karşılaştırması (N·10²).

Isıl işlem sıcaklığı	Ağaç türü			
	Sarıçam		Avrupa kayını	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	26,63	D	34,61	A*
170 °C	27,00	D	34,26	A*
190 °C	26,36	D	32,90	B
210 °C	24,13	E	28,68	C
LSD: ± 1,096				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik grubu, (*): En yüksek sertlik

Çizelge 5.48'e göre; en yüksek sertlik, aralarında önemli bir fark olmamak üzere kontrol

(ısıl işlemsiz) ve 170 °C’de ısıl işlemli Avrupa kayını örneklerinde (34,61 N·10² ve 34,26 N·10²), en düşük ise 210 °C’de ısıl işlemli sarıçam örneklerinde (24,13 N·10²) elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı-ısıl işlem yöntemi ikili etkileşimine ilişkin, örneklerin sertliğindeki farklılaşmayı belirlemek için gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırması Çizelge 5.49’da verilmiştir.

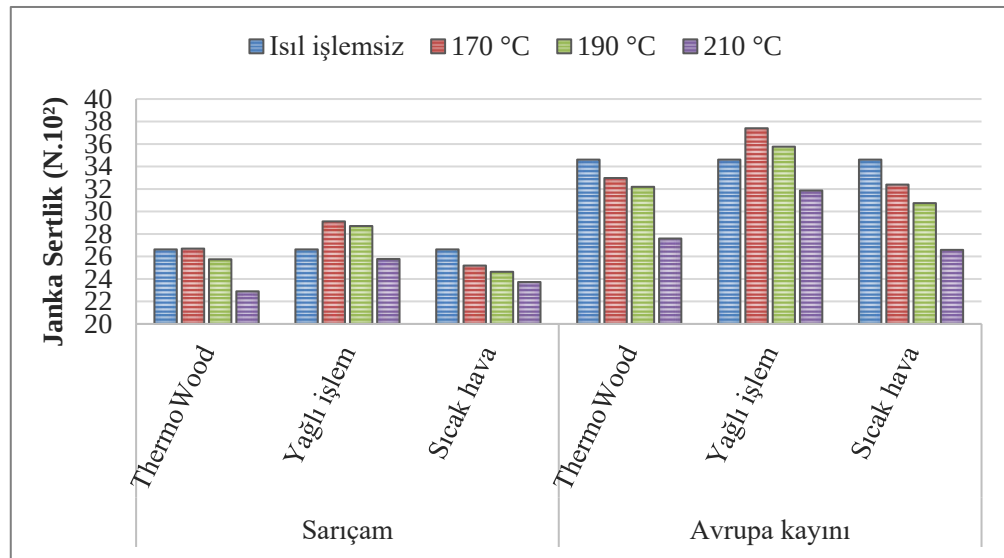
Çizelge 5.49. Isıl işlem yöntemi-ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşime ilişkin sertlik değerleri Duncan testi karşılaştırması (N·10²).

Isıl işlem yöntemi	Isıl işlem sıcaklığı							
	Kontrol		170 °C		190 °C		210 °C	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
ThermoWood	30,62	B	29,84	BC	28,97	CD	25,25	E
Yağlı işlem	30,62	B	33,26	A*	32,23	A*	28,82	CD
Sıcak hava	30,62	B	28,80	CD	27,69	D	25,15	E
LSD: $\pm 1,342$								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek sertlik

Çizelge 5.49’a göre; en yüksek sertlik, aralarında önemli bir fark olmamak üzere yağlı ısıl işlem yöntemi ile 170 °C ve 190 °C’de ısıl işlemli örneklerde (33,26 N·10² ve 32,23 N·10²), en düşük ise aralarında önemli bir fark olmamak üzere ThermoWood ve sıcak hava yöntemi ile 210 °C’de ısıl işlemli örneklerde (25,25 N·10² ve 25,15 N·10²) elde edilmiştir.

Farklı ısıl işlemler uygulanmış sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin sertlik değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Isıl işlemli sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin Janka sertlik değerleri.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; sarıçam ve Avrupa kayını odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklık koşullarında uygulanan ısıt işlemlerin etkisi araştırılmış ve sonuçlara ilişkin sayısal veriler elde edilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, elde edilen sayısal veriler irdelenerek yorumlanmış ve bilimsel literatür ile endüstriyel uygulamalara yönelik öneriler sunulmuştur.

6.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

6.1.1. Hava Kuruşu Yoğunluk

Farklı ısıt işlem yöntemleri ve sıcaklıkları ile muamele edilmiş ağaç malzemelerin hava kuruşu yoğunlukları üzerinde ağaç türünün etkisi önemli bulunmuştur. Kontrol (ısıt işlemsiz) ve tüm ısıt işlemli gruplar için, hava kuruşu yoğunluk değeri sarıçam odunu örneklerine göre Avrupa kayını odunu örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Ağaç malzemelerin doğal anatomik özelliklerinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

Deney örneklerinin hava kuruşu yoğunlukları üzerinde ısıt işlem yönteminin etkisi önemli bulunmuştur. Hem Avrupa kayını hem de sarıçam odunu örneklerinde, en yüksek hava kuruşu yoğunluk değeri yağlı ısıt işlemli örneklerde elde edilmiş, en düşük ise sıcak hava ve ThermoWood yöntemiyle ısıt işlemli örneklerde belirlenmiştir. Tüm sıcaklık seviyeleri için, sıcak hava ve ThermoWood yöntemi ile muamele edilmiş ahşap örneklerde hava kuruşu yoğunluk ısıt işlemsiz (kontrol) örneklere göre azalmıştır. Yoğunluk değerleri, sıcak hava yöntemiyle ısıt işlemli örneklerde genel olarak daha düşük elde edilmiş ancak, ThermoWood yöntemiyle aralarında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir. Isıt işlem sonucu yoğunluktaki azalmalar, ahşap örneklerdeki kütle kayıpları ile açıklanabilir [9], [83]. Diğer taraftan, yağlı ısıt işlem uygulanmış tüm deney örneklerinde yoğunluk artış göstermiştir. Bu durum, bezir yağı ile emprenye sonrası örneklerdeki ağırlık artışı ile açıklanabilir. Ayrıca, tespit edilen yoğunluk sonuçları emprenye sonrası belirlenen retensiyon değerleriyle paralellik göstermiştir (Çizelge 5.1). Kontrol örneklerle karşılaştırıldığında, yağlı ısıt işlemli Avrupa kayını ve sarıçam örneklerin hava kuruşu yoğunluğu sırası ile %31 ve %29'a kadar artmıştır. Önceki bir çalışmada, yağlı ısıt işlem görmüş *Pinus radiata* odununun ağırlığında yağ

emilimine atfedilen bir artış olduğu ve artan ısı işlem sıcaklık ve süresi ile ağırlıkta kademeli bir azalma gözlemlendiği belirtilmiştir [74]. Ayrıca *Populus tremula* odununda 190 °C ile 220 °C'de 4, 5 ve 6 saat boyunca yağlı ısı işlemi takiben %83,9 - %86,2 arasında ağırlık yüzdesi kazancı olduğu bildirilmiştir [84]. *Fagus orientalis* odununda yağlı ısı işlem sonrası ağırlığın arttığı ve sıcak hava ısı işlemi sonrası ise ağırlık kaybı yaşandığı ifade edilmiştir [72]. Benzer şekilde, yağlı ısı işlemin *Paulownia tomentosa* ve *Pinus koraiensis* odunu örneklerinin yoğunluğunda önemli bir artışa neden olduğu ancak sıcak hava ile ısı işlem sonrası örneklerde yoğunluğun azaldığı bildirilmiştir [69].

Sarıçam ve Avrupa kayını örneklerin hava kurusu yoğunlukları üzerinde ısı işlem sıcaklığının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde, en yüksek yoğunluk 170 °C'de ısı işlem görmüş örneklerde, en düşük ise 210 °C'de ısı işlemli örneklerde belirlenmiştir. Tüm uygulanan ısı işlem yöntemleri için, sıcaklık artışına bağlı olarak Avrupa kayını ve sarıçam örneklerinde hava kurusu yoğunluklar azalmıştır. Bu durum sıcak hava ve ThermoWood yöntemleriyle ısı işlem uygulanmış örneklerde daha belirgindir. Literatürde, ısı işlemli ağaç malzemede sıcaklık artışı sonucu meydana gelen yoğunluk düşüşlerinin, ekstraktiflerin buharlaşması ve özellikle hemiselülozların yıkımlanması sonucu kütle kayıplarından kaynaklandığı belirtilmiştir [31], [83]. Ayrıca, sıcaklık artışı ile ahşap örneklerde denge rutubet miktarının azalmasının yoğunluğun düşmesinde etkili olduğu söylenebilir [31], [83], [85].

6.1.2. Su Alma Oranı

Farklı koşullarda ısı işlem uygulanmış ağaç malzemelerin su alma oranı değeri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Hem kontrol hem de ısı işlemli gruplar için, su alma oranı değeri Avrupa kayını odunu örneklerine göre sarıçam örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Sarıçam odunu örneklerinde boşluk hacminin fazla olması ve buna bağlı olarak Avrupa kayını örneklerine göre daha fazla su emilimi gerçekleştirmesinin sonuçları etkilediği söylenebilir. Ağaç malzemede yoğunluğu etkileyen en önemli faktörlerden birisinin boşluk hacmi olduğu ve malzemedeki boşluk hacmi arttıkça absorbe edilen su yada emprenye maddesi oranının da arttığı ifade edilmiştir [86].

Isı işlemli sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin su alma değerleri üzerinde ısı işlem yönteminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en düşük su alma oranı değeri yağlı ısı işlem görmüş örneklerde belirlenmiştir. ThermoWood ve sıcak hava

yöntemleriyle ısıtıl işlem görmüş örneklerin su alma oranı değerleri benzer bulunmuştur ve aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir. Sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin su alma oranı değerleri, tüm ısıtıl işlem uygulamalarından sonra düşüş göstermiştir. Özellikle yağlı ısıtıl işlem yöntemi ile muamele edilmiş örneklerde su alma oranı kontrol (ısıtıl işlemsiz) örneklere göre önemli derecede azalmıştır. Yağlı ısıtıl işlem öncesi ağaç malzeme örneklerin su itici özellikteki bezir yağı ile muamele edilmiş olmasının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, yüksek sıcaklıkların etkisi ile ağaç malzeme örneklerin daha az higroskopik olmasının su alma sonuçları üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Ağaç malzemedede bitkisel yağlar herhangi bir kimyasal bağ oluşturmada mekanik bir engel görevi yaparak malzemenin su alımını düşürür [87] - [89] ve traheid lümenleri ile öz ışınlarına yerleşerek su itici görev yaparlar [90]. Hücre yapısında boşlukları dolduran yağ, dış yüzeyler ile kısmi olarak da iç kısımlarda depolanmakta, böylece ahşabın yüzeyi su itici (hidrofobik) özellik kazanmaktadır. Su, ağaç malzeme gözeneklerinden kapiler hareketlerle iç kısımlara girdiği için su alımı azalmaktadır [91]. Önceki bir çalışmada, sıcak yağ ile ısıtıl işlem görmüş ahşap örneklerin sıcak hava ile işlem görmüş ahşap örneklere göre suda bekletme testi sonrası daha düşük nem içeriğine sahip olduğu ve bunun da sıcak yağ uygulaması sırasında yağın ahşap boşluklarını doldurmasından ve bu örneklerdeki hacimsel şişmenin daha az olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir [72].

Sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin su alma oranı değerleri üzerinde ısıtıl işlem sıcaklığının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için en yüksek su alma oranı değeri, kontrol (ısıtıl işlemsiz) örneklerde elde edilirken en düşük, 210 °C sıcaklıkta ısıtıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Ağaç malzeme örneklerin su alma oranı değeri tüm ısıtıl işlem yöntemlerinde sıcaklıktaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Bu durum, yağlı ısıtıl işlem görmüş örneklerde çok daha belirgindir. Kontrol örneklerle karşılaştırıldığında, 170 °C, 190 °C ve 210 °C’de yağlı ısıtıl işlem sonrası su alma oranı değerleri sarıçam örneklerde sırası ile %50, %54 ve %57, Avrupa kayını örneklerinde ise sırası ile %47, %51 ve %58 azalmıştır. Isıtıl işlem sonrası sıcaklık artışına da bağlı olarak su alma değerlerindeki azalma, ısıtıl işlemli ağaç malzemedede suyu tutan hidroksil gruplarının azalması ve örneklerin daha az higroskopik olması ile açıklanabilir [39], [92]. Önceki çalışmalarda da, yüksek sıcaklıklarda ısıtıl işlem görmüş ağaç malzemenin denge rutubet miktarının düştüğü ve ağaç malzemenin daha az hidrofilik (suyu çeken) olduğu, bu değişimin ana sebeplerinin ise, ağaç malzemenin temel bileşenlerinden ve hidrofilik

özellikte olan hemiselüloz ve selülozdaki hidroksil gruplarının sayıca azalması olduğu belirtilmiştir [9], [83].

6.1.3. Hacimsel Şişme

Deney örneklerinin suda bekletme sonrası, hacimsel şişme değerleri üzerinde ağaç türünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde hacimsel şişme değeri, sarıçam örneklerine göre Avrupa kayını örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Ağaç türlerinin yoğunluk değerlerine bağlı olarak, sarıçam örneklerine göre Avrupa kayını örneklerinde hücre çeperi hacminin daha fazla olmasının test sonuçları üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, düşük yoğunluğa sahip hafif ahşabın, yüksek yoğunluğa sahip ağır ahşaba göre boyutlarını daha az değiştirdiği (çalıştığı) ifade edilmiştir [93].

Sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin suda bekletme sonrası hacimsel şişme değerleri üzerinde ısıtma işlem yönteminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de, en yüksek hacimsel şişme değeri ThermoWood yöntemi ile işlem görmüş örneklerde belirlenmiş, en düşük ise yağlı ısıtma işlem görmüş örneklerde elde edilmiştir. Sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin hacimsel şişme oranı değerleri, tüm ısıtma işlem uygulamalarından sonra düşüş göstermiştir. Özellikle yağlı ısıtma işlem yöntemi ile muamele edilmiş örneklerde hacimsel şişme değeri kontrol (ısıtma işlemi yapılmamış) örneklerle göre önemli derecede azalmıştır. Isıtma işlem yöntemine bağlı olarak elde edilen hacimsel şişme sonuçlarının su alma oranı sonuçlarıyla ilişkili olduğu görülmüş ve su alımının daha az gerçekleştiği yağlı ısıtma işlem yönteminde daha düşük hacimsel şişme değerleri belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle yapılan ısıtma işlem uygulamalarının ahşap örneklerin su alma ve hacimsel şişme özellikleri üzerinde iyileştirici bir etki gösterdiği söylenebilir. Önceki bir çalışmada, yağlı ısıtma işlem görmüş ahşap örneklerin boyutsal kararlılığının, oksijensiz gaz ortamında geleneksel ısıtma işlemi tabii tutulmuş ahşap örneklerle göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir [94]. Ayrıca, yağlı ısıtma işlemin azot atmosferinde yapılan ısıtma işlemi göre su alma ve hacimsel şişmede daha iyi performans sergilediği ve bunun sebebinin, yağlı ısıtma işlem sonucu su itici özelliğe sahip olan bezir yağının odunda tutunarak suyun girmesini zorlaştırmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir [74], [95]. Farklı bir çalışmada, yağlı ısıtma işlem görmüş ahşabın, sıcak hava ve nitrojen gazı atmosferinde işlem görmüş ahşaba kıyasla daha üstün boyutsal kararlılık gösterdiği ifade edilmiştir [96]. Ayrıca hem sıcak hava hem de sıcak yağ metodu ısıtma işlem görmüş ahşap örneklerin şişme değerlerinin azaldığı ancak, sıcak yağ ile muamele edilen test

gruplarında daha düşük şişme değerleri belirlendiği bildirilmiştir [72].

Sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin suda bekletme sonrası hacimsel şişme değeri üzerinde ısıtım işlem sıcaklığının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için en yüksek hacimsel şişme değerleri kontrol (ısıtım işlemsiz) örneklerde, en düşük ise 210 °C sıcaklıkta ısıtım işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Uygulanan tüm ısıtım işlem yöntemlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak ağaç malzeme örneklerinin hacimsel şişme değeri azalmıştır. Yağlı ısıtım işlem görmüş örneklerde bu durum daha belirgindir. Isıtım işlemsiz örneklerle karşılaştırıldığında, 170 °C, 190 °C ve 210 °C’de yağlı ısıtım işlem sonrası hacimsel şişme değerleri sarıçam örneklerde sırası ile %14, %23 ve %31, Avrupa kayını örneklerinde ise sırası ile %16, %28 ve %40 azalmıştır. Genel olarak ısıtım işlem uygulanmış ağaç malzeme daha az higroskopiktir. Düşük daralma ve genişleme değerleri ile oldukça stabildir. Ağaç malzemenin higroskopisitesi süre ve sıcaklık gibi ısıtım işlem koşullarından etkilenmektedir ve özellikle ısıtım işlemde uygulanan sıcaklık oldukça etkili bir parametredir [31]. Isıtım işlem nedeniyle ağaç malzemenin ölçüsel olarak daralmasının yüksek sıcaklıktan kaynaklanan kütle kayıpları ile ilişkili olduğu [97]. Ayrıca, ağaç malzeme yapısındaki serbest hidroksil gruplarının mevcudiyetinin su absorpsiyonu ve desorpsiyonunda önemli rol oynadığı ifade edilmiştir [98]. Ağaç malzeme hücre çeperinde en çok higroskopik polimerlerin bulunduğu hemiselülozların termal olarak bozunması sonucu suyla reaksiyona girme yeteneğindeki serbest polar adsorpsiyon gruplarının sayıca azaltılmasıyla boyutsal kararlılığın arttığı belirtilmiştir [99].

6.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

6.2.1. Statik Eğilme Direnci

Farklı yöntemlerle ve farklı sıcaklık koşullarında ısıtım işlem uygulanmış sarıçam ve Avrupa kayını odunu test örneklerinin eğilme direnci sonuçları üzerinde ağaç türünün etkisi önemli bulunmuştur. Kontrol (ısıtım işlemsiz) ve tüm ısıtım işlemli gruplar için, eğilme direnci değeri sarıçam odunu örneklerine göre Avrupa kayını odunu örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Avrupa kayını örneklerinin yoğunluğunun daha yüksek olması ile açıklanabilir. Literatürde, ağaç malzemenin mekanik direncini etkileyen en önemli faktörlerden birisinin yoğunluk olduğu ve yüksek yoğunlukta mekanik direncin de arttığı ifade edilmiştir [100].

Deney örneklerinin eğilme direnci değeri üzerinde ısıtım yönteminin etkisi önemli bulunmuştur. Isıtım yöntemi açısından, her iki ağaç türünde en yüksek eğilme direnci yağlı ısıtım işlemli örneklerde, en düşük ise sıcak hava yöntemiyle ısıtım işlemli örneklerde belirlenmiştir. Tüm ısıtım uygulamalarından sonra sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin eğilme direnci azalmıştır. Ancak, düşük sıcaklıktaki (170 °C) yağlı ısıtım işlemli örneklerdeki eğilme direnci ısıtım işlemsiz (kontrol) örneklerin direnç değeri ile benzer bulunmuştur. Eğilme direnci, tüm sıcaklık seviyeleri için yağlı ısıtım işlemli örneklerde daha yüksek bulunmuş ve bunu ThermoWood yöntemiyle ısıtım işlemli örnekler izlemiştir. Sıcak hava yöntemiyle ısıtım işlemli örneklerde ise direnç değeri en düşük çıkmıştır. Isıtım işlem esnasındaki buhar ortamının ve özellikle de ısıtım işlemden önce bezir yağı ile emprenyenin sonuçları olumlu bir şekilde etkilediği görülmüştür. Önceki çalışmalarda, ısıtım işlemde uygulanan proses koşullarına (sıcaklık, işlem süresi, atmosferik şartlar vb.) bağlı olarak ağaç malzemenin kimyasal bileşenlerinde termal bozunmaların meydana geldiği rapor edilmiştir [92], [98], [101] - [103]. Isıtım işlemde su buharı veya yağ kullanılmasının, ağaç malzeme direncini olumsuz şekilde etkileyen termal bozunmaların şiddetini ve oranını azaltmış olduğu söylenebilir. Ayrıca, deney örneklerinde ısıtım işlemlerden sonra belirlenen yoğunluk değeri eğilme direnci sonuçları üzerinde bir etkiye sahip olabilir.

Sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin eğilme direnci değeri üzerinde ısıtım sıcaklığının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek eğilme direnci değeri kontrol (ısıtım işlemsiz) örneklerde, en düşük ise 210 °C sıcaklıkta ısıtım işlemli örneklerde tespit edilmiştir. Sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin eğilme direnci, tüm ısıtım yöntemlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak azalmıştır. Sıcak hava yöntemiyle ısıtım işlem uygulanmış örneklerde direnç azalması daha belirgindir. Kontrol örneklere göre, eğilme direnci değeri 170 °C, 190 °C ve 210 °C’de ısıtım işlem sonrası Avrupa kayını örneklerinde sırası ile %7, %16 ve %31 ve sarıçam örneklerde sırası ile %5, %16 ve %30 azalmıştır. Özellikle daha yüksek sıcaklıktaki ısıtım işlem sonucu, ahşap örneklerin kimyasal bileşenlerindeki muhtemel bozunumların eğilme direnci sonuçlarına etki ettiği düşünülmektedir. Literatürde, ısıtım işlem uygulamalarından sonra ahşap bileşenlerindeki termal bozunmalar nedeniyle ahşabın kırılabilirliğinin arttığı ve mekanik direncinin azaldığı belirtilmiştir [31], [60], [61], [63], [101]. Ayrıca, ısıtım işlemin düşük eğilme direnci gibi ağaç malzemede bazı olumsuzluklara sebep olduğu ve direnç azalmalarında ısıtım yönteminin, işlem sıcaklığının, işlem süresinin ve ağaç türünün etkili olduğu

ifade edilmiştir [43].

6.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Farklı ısıtım işlem yöntem ve sıcaklıkları ile muamele edilmiş sarıçam ve Avrupa kayını odunu deney örneklerinde, eğilmede elastikiyet modülü üzerinde ağaç türünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türüne ilişkin eğilmede elastikiyet modülü, sarıçam örneklerine göre Avrupa kayını örneklerinde daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçların, iki ağaç türünün yapısal olarak farklı olmasından ve ayrıca ağaç türlerinde elde edilen yoğunluk değerlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Literatürde; yoğunluğun, ağaç malzemenin kullanım limitleri ve diğer pek çok özelliği hakkında fikir verebilen önemli bir etken olduğu, örneğin; yüksek yoğunluklu malzemede direncin, esnekliğin ve sertliğin düşük yoğunluklu malzemeye göre daha fazla olduğu belirtilmiş olup, yoğunluk artışı ile elastikiyet modülünde de artış olduğu bildirilmiştir [93].

Sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerinde ısıtım işlem yönteminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek elastikiyet modülü değeri yağlı ısıtım işlem görmüş örneklerde belirlenirken, bunu ThermoWood yöntemiyle ısıtım işlem uygulanmış örnekler izlemiştir. En düşük değerler ise sıcak hava yöntemi ile ısıtım işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Ancak, sıcak hava ve ThermoWood yöntemleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Her üç sıcaklık (170 °C, 190 °C ve 210 °C) seviyesi için, ThermoWood ve sıcak hava yöntemleriyle muamele edilmiş ahşap örneklerde elastikiyet modülü değeri kontrol (ısıtım işlemsiz) örneklerine göre azalmıştır. Yağlı ısıtım işlem görmüş örneklerde ise, 170 °C ve 190 °C sıcaklıklarda elastikiyet modülü değeri kontrol örneklerine göre artarken, 210 °C sıcaklıkta biraz azalmıştır. Ahşap örneklerin elastikiyet modülü değerleri üzerinde ThermoWood ve sıcak hava yöntemlerinin olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülürken, yağlı ısıtım işlem yönteminin genel olarak olumlu bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuç, yağlı ısıtım işlem sürecinde yaşanan termal bozunmaların diğer iki yöntemle göre muhtemelen daha az gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Literatürde, ısıtım işlem sürecinde yağ kullanılmasının ağaç malzemede genellikle daha iyi bir performans sağladığı ayrıca yağ içerikli maddelerin ısıtım işlem sürecinde ağaç malzemedeki oksijenin mükemmel bir şekilde ayrılmasını ve malzemeye hızlı ve eşit bir ısı aktarımı sağladığı rapor edilmiştir [49].

Sarıçam ve Avrupa kayını odunu deney örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerinde ısıtım işlem sıcaklığının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için, en yüksek elastikiyet modülü değeri 170 °C sıcaklıktaki ısıtım işlem görmüş örneklerde, en düşük ise 210 °C sıcaklıkta ısıtım işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Ancak Avrupa kayını odunu örnekleri için, kontrol (ısıtım işlemsiz) grubu ile 170 °C ve 190 °C sıcaklık grubu örnekleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir. Uygulanan tüm ısıtım işlem yöntemlerinde 170 °C sınırından itibaren sıcaklıktaki artışa bağlı olarak sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin elastikiyet modülü değeri azalmıştır. Bu durum ThermoWood ve özellikle sıcak hava yöntemi ile ısıtım işlemli ahşap örneklerde daha belirgindir. Elastikiyet modülü değeri, kontrol (ısıtım işlemsiz) örneklerine göre 210 °C’de sıcak hava, ThermoWood ve yağlı ısıtım işlem yöntemleri ile muamele edilen sarıçam örneklerde sırası ile %11, %8 ve %3, Avrupa kayını örneklerinde ise sırası ile %10, %7 ve %2 azalmıştır. Elastikiyet modülündeki bu azalışlar, yüksek ısıtım işlem sıcaklığı sonucu ağaç malzeme bileşenlerinde oluşan yapısal hasarlar (termal bozunmalar) ile kütle düşüşü ve yoğunluk kayıplarından kaynaklanmış olabilir. Literatürde, ısıtım işlem sıcaklığı ve ısıtım işlem ortamındaki diğer olumsuzluklar arttıkça, ağaç malzemedeki yapısal bozunmaların (deformasyonların) daha çok yaşandığı ve bu durumun elastikiyet modülü üzerinde olumsuz etkisinin olduğu ifade edilmiştir [104], [105]. Diğer taraftan, ısıtım işlem uygulanmış ağaç malzemenin daha az higroskopik olması nedeniyle hücre çeperinde daha az bağıl su içermesinin malzeme esnekliğini azalttığı ve elastikiyet modülünü artırıcı bir etki gösterdiği belirtilmiştir [9], [31].

6.2.3. Janka Sertlik

Farklı ısıtım işlem yöntem ve sıcaklıkları ile muamele edilmiş sarıçam ve Avrupa kayını odunu test örneklerinde radyal ve teğet yöndeki sertlik ölçümlerinin ortalamaları üzerine ağaç türünün etkisi önemli bulunmuştur. Sertlik değeri sarıçam örneklerine göre Avrupa kayını örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Sertlik değerinin Avrupa kayını örneklerinde yüksek bulunması; bu ağaç türünün yoğunluğunun daha fazla ve daha homojen bir yapıya sahip olması (yıllık halkaları arasındaki yoğunluk farkının daha az olması) ile açıklanabilir. İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç türleri arasında, genel olarak hücre tipi, yoğunluk miktarı, yıllık halka yapısı ve kimyasal içerik farklılığı gibi pek çok farklılık bulunur. Literatürde iğne yapraklı türler yumuşak odunlar olarak ve geniş yapraklı türler sert odunlar olarak isimlendirilir. Bu sınıflandırmanın nedeni, geniş yapraklı ağaç türü odunlarında yoğunluğun, bazı istisnalar hariç, daha yüksek olmasıdır.

Ağaç malzemedeki mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktörlerin başında malzeme yoğunluğu gelir. Yoğunluk arttıkça ağaç malzemedeki sertlik ve mekanik özelliklerde artmaktadır [93], [100].

Deney örneklerinin Janka sertlik değerleri üzerinde ısıtma yönteminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek sertlik değeri yağlı ısıtma işlemi uygulanmış örneklerde belirlenmiştir. En düşük sertlik değerleri ise sıcak hava yöntemiyle ısıtma işlemli örneklerde elde edilmiştir. Ancak sıcak hava ve ThermoWood yöntemleri ile işlem gören ahşap örneklerin sertlik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Her üç sıcaklık (170 °C, 190 °C ve 210 °C) seviyesi için, ThermoWood ve sıcak hava yöntemleriyle muamele edilmiş ahşap örneklerde sertlik değeri kontrol (ısıtma işlemlisiz) örneklerine göre azalmıştır. Yağlı ısıtma işlemi görmüş örneklerde ise, 170 °C ve 190 °C sıcaklıklarda sertlik değeri kontrol örneklerine göre artarken, 210 °C sıcaklıkta bir miktar azalmıştır. Sıcak hava ve ThermoWood yöntemleri ile karşılaştırıldığında yağlı ısıtma yönteminin ahşap örneklerin sertlik değerleri üzerinde genel olarak olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Önceki benzer çalışmalarda da, uygulanan farklı ısıtma yöntemlerinin ağaç malzemelerde fiziksel veya mekanik özelliklere etkisinde bazı farklılıkların olduğu belirlenmiş ve sıcak hava yöntemine kıyasla yağlı ısıtma yönteminin ağaç malzeme özelliklerini iyileştirmede daha etkili olduğu ifade edilmiştir [72], [106].

Sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin sertliği üzerinde ısıtma sıcaklığının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için, en yüksek sertlik değeri, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olmak üzere kontrol (ısıtma işlemlisiz) ve 170 °C sıcaklıkta işlem görmüş örneklerde, en düşük ise 210 °C sıcaklıkta ısıtma işlemi görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Isıtma işlem sıcaklığındaki artış sarıçam ve Avrupa kayını örneklerinin sertlik değerini olumsuz bir şekilde etkilemiştir. Bu durum, ThermoWood ve sıcak hava yöntemleriyle muamele edilmiş örneklerde çok daha belirgindir. Sertlik değerleri, kontrol (ısıtma işlemlisiz) örneklerine göre 210 °C’de sıcak hava, ThermoWood ve yağlı ısıtma yöntemleri ile muamele edilen sarıçam örneklerde sırası ile %11, %14 ve %3, Avrupa kayını örneklerinde ise sırası ile %23, %20 ve %8 azalmıştır. Sertlik değerlerindeki bu azalmaların, ısıtma işlem sonrası sıcaklık artışına da bağlı olarak ağaç malzemenin temel bileşenlerinde (selüloz, lignin, hemiselüloz) meydana gelen termal bozunmalar ve yoğunluktaki düşüşlerden kaynaklandığı söylenebilir. Değişik çalışmalarda da, ısıtma sıcaklığı arttıkça ağaç malzemedeki sertlik değerlerinin olumsuz bir şekilde etkilendiği

belirtilmiştir [32], [45], [107], [108], [109].

Bu çalışmada, sarıçam ve Avrupa kayını odunlarının fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine farklı ısıtım işlem yöntemi ve sıcaklıklarının etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda aşağıda bazı öneriler getirilmiştir.

Isıtım işlem sonrası ahşap örneklerin su alma ve boyutsal değişim (çalışma) değerleri uygulanan tüm yöntemlerde sıcaklık artışına da bağlı olarak azalmıştır. Ancak, özellikle yağlı ısıtım işlem uygulanan ahşap örneklerin higroskopisitesi büyük ölçüde azalmış ve boyutsal stabilitesi önemli derecede artmıştır. Herhangi bir kimyasal kullanımı olmaksızın elde edilen bu sonuçlar endüstriyel uygulamalar için arzu edilen bir durumdur. Böylece, ağaç malzemenin suyla temasının olabileceği yüzme havuzu, sauna, banyo, mutfak, gemi güverteleri, bahçe mobilyaları, dış cephe kaplaması gibi yerlerde kullanımı öncesi yüksek bir sıcaklıkta özellikle yağlı ısıtım uygulanması önerilebilir.

Sarıçam ve Avrupa kayını odunu örneklerinin mekanik direnç ve sertlik özellikleri uygulanan tüm ısıtım işlem yöntemlerinde sıcaklıktaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Ancak, kontrol (ısıtım işlemsiz) örneklerle karşılaştırıldığında, ThermoWood ve özellikle de yağlı ısıtım işlem yöntemiyle düşük sıcaklıkta (170 °C) ısıtım işlem uygulanmış ahşap örneklerin direnç ve sertlik değerlerinde artış gözlenmiştir. Isıtım işlem sürecinde sıcak su buharı ve özellikle bezir yağı kullanılması test sonuçlarını olumlu yönde etkilemiştir. Buna göre, dayanıklılık, sertlik ve mekanik direncin önemli olduğu yapısal uygulamalar, yer döşemeleri, çeşitli spor aletleri gibi yerlerde kullanılacak ağaç malzemenin yağlı ısıtım işlem veya ThermoWood yöntemiyle düşük bir sıcaklıkta (170 °C) muamele görmesi önerilebilir.

Sonuç olarak, ağaç malzemenin su alımını azaltarak önemli bir boyutsal kararlılık sağlamak ve ısıtım işlem nedeniyle oluşan yoğunluk ve mekanik dirençteki kayıpları asgari seviyede tutmak veya bir miktar artırmak için yağlı ısıtım yönteminin birincil olarak, ThermoWood yönteminin ise ikincil olarak tercih edilmesi önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] H. Pelit, “Yoğunlaştırma ve ısıtıl işlemin doğu kayını ve sarıçamın bazı teknolojik özellikleriyle üstyüzey işlemlerine etkisi,” Doktora tezi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [2] C. Özcan, “Yeni bir yanma düzeneğinin hazırlanması ve ısıtıl işlem görmüş ağaç malzemelerin yanma özelliklerinin belirlenmesi,” Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2011.
- [3] S. L. Levan & J. Winandy, “Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review,” *Wood Sci. Technol. Assoc.*, c. 22, sayı 1, ss. 113-131, 1990.
- [4] P. Torniainen, C.-M. Popescu, D. Jones, A. Scharf, & D. Sandberg, “Correlation of studies between colour, structure and mechanical properties of commercially produced ThermoWood® treated Norway spruce and Scots pine,” *Forests*, c. 12, sayı 9, ss. 1165, 2021.
- [5] S. Bayraktar ve H. Pelit, “Farklı yöntemlerle ısıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemelerde yoğunluk ve eğilme direncinin belirlenmesi,” *Orman. Araştırma Dergisi*, c. 9, sayı Özel Sayı, ss. 355-362, 2022.
- [6] G. Karakaş, “Ahlat (*pyrus elaeagnifolia pall.*) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtıl işlemin etkisi,” Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliğı Anabilim Dalı, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2008.
- [7] D. Aydemir ve G. Gündüz, “Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi,” *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, sayı 11(15), ss. 71-81, 2009.
- [8] B. Guller, “Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood,” *African J. Biotechnol.*, c. 11, sayı 9, ss. 2204-2209, 2012.
- [9] S. Korkut ve D. Kocaefe, “Isıtıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi,” *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Orman. Dergisi*, c. 5, sayı 2, ss. 11-34, 2009.
- [10] D. Mayes & O. Oksanen, *Thermowood handbook*, Finland: Finnforest, 2002.

- [11] D. Aydemir, “Gökmar (abies bornmülleriana mattf.) ve gürgen (carpinus betulus l.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısıtma işlemin etkisi,” Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2007.
- [12] Y. Ors & H. Keskin, “Wood material technology, 8.baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2008.
- [13] M. Eriç, *Yapı Fiziği ve Malzemesi*. (2. Baskı). İstanbul: Literatür Yayıncılık, 2002, ss. 376.
- [14] Y.Örs, H.Keskin, *Ağaç Malzeme Bilgisi*. Ankara, Türkiye: Atlas Yayın Evi, 2001.
- [15] Senkron, (2021, 10 Mayıs). *Ahşap ve su* [Online]. Erişim: <http://www.ahsap.com>
- [16] Ö. Çalışkan, E. Meriç, ve M. Yüncüler, “Ahşap ve ahşap yapıların dün, bugün ve yarın,” *Journal*, c. 6, sayı 1, ss. 109-118, 2019.
- [17] Hüseyin Yiğiter, “Yapı malzemesi 1”, *Ders Notları*, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [18] E. Erkoç, “Günümüz teknolojileriyle üretilen ahşap konutların tasarım-uygulama-kullanım üçgeninde değerlendirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [19] F. Şenkal, “Konutlarda dünden bugüne ahşap kullanımı üzerine bir araştırma,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 1997.
- [20] O. Şimşek, *Yapı Malzemesi 1*. (2.Baskı). İstanbul: Beta Basım Yayın Dağıtım, 2003.
- [21] Anonim, (2021, 12 Temmuz). *Ahşabın teknik özellikleri* [Online]. Erişim: <http://www.insaatim.com>
- [22] A.Yılmaz Bozkurt, *Ağaç Teknolojisi*. İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 1997.
- [23] M. Asarcıklı, H. Keskin, *Ahşap Süsleme Teknikleri Teknik & Projeler*. Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2005.
- [24] F. Çetin ve G. Gündüz, “Türkiye’deki bazı ağaç türü odunlarının mekanik özellikleri üzerine yapılan araştırmaların değerlendirilmesi,” *Bartın Orman*

Fakültesi Dergisi, c. 19, sayı 1, ss. 161-181, 2017.

- [25] S. Uzun, “Tarihi ahşap yapı taşıyıcı sistemlerin incelenmesi ve boğaziçi örneği: amcazade hüseyin paşa yalısı,” Yüksek lisans tezi, Yapı Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [26] N. Yüzer, Ahşap, *Ders Notları*, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [27] B. Kır, “İç mekan yüzeylerde doğal ahşap malzeme kullanımının mekan algısına etkisi,” Yüksek lisans tezi, İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [28] E. E. Hıraoğlu, “Ahşap ve çelik makas sistemlerin malzeme ve sistem özelliklerinin incelenmesi, bir örnek yapı üzerinde değerlendirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [29] Y.Bozkurt, N.Erdin, *Odun Anatomisi (Wood Anatomy)*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 2000.
- [30] Cooper, P,Wang, J., “Enhanced value of moderate grade wood through high temperature modification in oil ”, 2005.
- [31] M. Boonstra, “A two-stage thermal modification of wood,” Doktora tezi, Ghent Üniversitesi, Nancy, France, 2008.
- [32] S. Yıldız, “Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri,” Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2002.
- [33] H. Wikberg, “Advanced Solid State NMR Spectroscopic Techniques in the Study of Thermally Modified Wood,” Doktora tezi, Helsinki Üniversitesi Fen Fakültesi, Finland, 2004.
- [34] V. Enjily & D. Jones, “The potential for modified materials in the panel products industry,” *Wood Resources and Panel Properties Conference*, Valencia, Spain, 2006, ss. 12-14.
- [35] S. Poncsak, D. Kocaefe, M. Bouazara, & A. Pichette, “Effect of high temperature

- treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*),” *Wood Sci. Technol*, c. 40, sayı 8, ss. 647-663, 2006.
- [36] D. Johansson, “Drying and Heat Treatment of Wood: Influences on Internal Checking,” *Proceedings 3rd Nordic Drying Conference*, Karlstad, Sweden, 2005.
- [37] A. C. Yalınkılıç, “Isıl işlemli ağaç malzemenin mobilya üretiminde uygunluğunun araştırılması ve geliştirilmesi,” *Doktora tezi*, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [38] P. Cooper & J. Wang, “Enhanced value of moderate grade wood through high temperature modification in oil,” *Value-to-wood Res. Report, Proj. UT1*, 2005.
- [39] Finnish ThermoWood Association, *ThermoWood Handbook*, Helsinki, Finland: 2003.
- [40] W. E. Hillis, “High temperature and chemical effects on wood stability: Part 1: General considerations,” *Wood Sci. Technol*, c. 18, sayı 4, ss. 281-293, 1984.
- [41] W. E. Hsu, W. Schwald, J. Schwald & J. A. Shields, “Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites: Part I: Steam pretreatment,” *Wood Sci. Technol*, c. 22, sayı 3, ss. 281-289, 1988.
- [42] N. Morsing, “Densification of wood: the influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to the grain,” *Doktora tezi*, Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark, 2000.
- [43] C.Hill, *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, Bangor, England: School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Renewable Resources, 2006.
- [44] A. Can, “Endüstriyel ölçekli ısıt işlemleri ve borlu bileşiklerle emprenyenin odunun bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerine etkisi,” *Yüksek lisans tezi*, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2011.
- [45] O. Perçin, “Isıl işlemin lamine ahşap malzemenin bazı teknolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi,” *Doktora tezi*, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [46] A.Özçiftçi & S.Altun, “Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik

- Özelliklerine Etkisi,” 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye, 2009.
- [47] G. Ulay, “Yat ve tekne mobilyalarında kullanılan bazı ağaç türlerine uygulanan termal modifikasyon ve uv yaşlandırma işlemlerinin vernik katman performansları üzerine etkisinin incelenmesi,” Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [48] Aytin Ayhan, “Yabani kiraz (*cerasus avium* (l.) monench) odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine yüksek sıcaklık uygulamasının etkisi,” Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2013.
- [49] A. Rapp, “European Thematic Network for Wood Modification,” *Seminar*, c. 41, sayı 3. Hamburg, Germany, s. 66, 2001.
- [50] M. Sailer, A. O. Rapp, H. Leithoff, & R.D. Peek, “Upgrading of wood by application of an oil-heat treatment,” *Holz als Roh-und Werkst*, c. 58, sayı 1-2, ss. 15-22, 2000.
- [51] M. Akkuş, “Renk açma işleminin termal modifikasyon yapılmış bazı ağaç malzemelere etkisi,” Yüksek lisans tezi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2012.
- [52] M. Vernois, “Heat Treatment of Wood in France – State of The Art, Review on Heat Treatments of Wood,” *Proceedings of Special Seminar Held in Antibes*. France, ss. 39-46, 2001.
- [53] H. Militz, “Enhancing the Durability of Lumber And Engineered Wood Products,” *Heat Treat. Technol. Eur*, 2002.
- [54] D. Mayes & O. Oksanen, “Thermo Wood handbook: Finnforest,” *Stora ThermoWood, Ch. Key Prop. Thermowood*, ss. 11-32, 2002.
- [55] T. Durrant, D. de Rigo, & G. Caudullo, “*Fagus sylvatica* in Europe: distribution, habitat, usage and threats,” 2016.
- [56] M. Goldstein, G. Simonetti, & M. Watschinger, “Alberi d’Europa–Guide pratiche Mondadori illustrati,” Italy, 1995.
- [57] J. R. Packham, P. A. Thomas, M. D. Atkinson, & T. Degen, “Biological Flora of

- the British Isles: *Fagus sylvatica*,” *J. Ecol.*, c. 100, sayı 6, ss. 1557-1608, 2012.
- [58] T. Horgan, M. Keane, R. McCarthy, M. Lally, D. Thompson, & J. O’Carroll, *A guide to forest tree species selection and silviculture in Ireland*. National Council for Forest Research and Development (COFORD), 2003.
- [59] R. Anşın ve Z. C. Özkan, “Tohumlu bitkiler (Spermatophyta) odunsu taksonlar,” *Karadeniz Tek. Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın*, sayı 167, 1993.
- [60] P. Bekhta & P. Niemz, “Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood,” *Holzforschung*, c. 57, sayı 5. De Gruyter, Berlin, Boston, ss. 539-546, 2003.
- [61] H. Pelit, M. Budakçi & A. Sönmez, “Density and some mechanical properties of densified and heat post-treated Uludağ fir, linden and black poplar woods,” *Eur. J. Wood Wood Prod*, c. 76, sayı 1, ss. 79-87, 2018.
- [62] S. Korkut & I. Bektas, “The effects of heat treatment on physical properties of Uludağ fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood,” *For. Prod. J*, c. 58, Mar. 2008.
- [63] S. Korkut, M. Akgül & T. Dünder, “The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood,” *Bioresour Technol*, c. 99, ss. 1861-1868, May. 2008.
- [64] P. H. Cademartori, E. Schneid, D. A. Gatto, R. Beltrame & D. Stangerlin, “Modification of Static Bending Strength Properties of *Eucalyptus grandis* Heat-Treated Wood,” *Mater. Res*, Eki. 2013.
- [65] B. C. Bal, “Bitkisel Yağ ile Farklı Sıcaklıklarda Muamele Edilen Toros Göknarı Odununun Bazı Fiziksel Özellikleri,” *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg*, c. 19, sayı 2, ss. 20-26, 2016.
- [66] P. Viitaniemi & S. Jamsa, “Modification of wood with heat treatment,” *VTT Build. Technol*, c. 1, ss. 1-7, 1996.
- [67] B. Esteves, “Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200 °C,” *For. Prod. J*, ss. 47-52, 2007.
- [68] I. Umar, A. Zaidon, S. H. Lee, & R. Halis, “Oil-heat treatment of rubberwood for optimum changes in chemical constituents and decay resistance,” *J. Trop. For. Sci*,

ss. 88-96, 2016.

- [69] I. F. Suri vd., “Comparison of physical and mechanical properties of Paulownia tomentosa and Pinus koraiensis wood heat-treated in oil and air,” *Eur. J. Wood Wood Prod*, c. 80, sayı 6, ss. 1389-1399, 2022.
- [70] F. D. Gunstone, *Vegetable oils in food technology Composition, Properties and Uses.*, 1. baskı, Oxford, United Kingdom: Black well, 2002, ss.337.
- [71] M. K. Dubey, S. Pang, & J. Walker, “Color and dimensional stability of oil heat-treated radiata pinewood after accelerated UV weathering,” *For. Prod. J*, c. 60, sayı 5, ss. 453-459, 2010.
- [72] B. C. Bal, “Physical properties of beech wood thermally modified in hot oil and in hot air at various temperatures,” *Maderas. Cienc. y Tecnol*, c. 17, sayı 4, ss. 789-798, 2015.
- [73] B. C. Bal, “Karaçam odununun fiziksel özellikleri üzerine farklı atmosferlerde uygulanan ısı işlemin etkisi,” *Journal*, c. 23, sayı 4, ss. 236-244, 2020.
- [74] M. K. Dubey, S. Pang & J. Walker, “Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of Pinus radiata D. Don wood with oil heat-treatment,” Department of Chemical and Process Engineering, University of Canterbury, 2012.
- [75] *Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler için Numune alma Metotları ve Genel özellikleri*, ISO 3129, 1975.
- [76] *Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler için Rutubet Miktarı tayini*, ISO 3130, 1975.
- [77] A. Y. Bozkurt, Y. Göker & N. Erdin, “Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi,” *Orman Fakültesi Yayınları. İÜ Yayın*, sayı 3779, 1993.
- [78] *Physical and Mechanical Properties of Wood - Determination of Radial and Tangential Swelling*. ISO 13061-15, 2017.
- [79] *Odunda Fiziksel ve Mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini*, ISO 3131, 1975.
- [80] *Odunun Statik Eğilme dayanımının tayini*, ISO 3133, 1975.
- [81] *Physical and Mechanical Properties of Wood — Test methods for small clear wood*

- specimens Determination of modulus of elasticity in static bending*, ISO 13061-4, 2014.
- [82] *Physical and Mechanical Properties of Wood — Test methods for small clear wood specimens Determination of static hardness*, ISO 13061-12, 2017.
- [83] B. Esteves, I. Domingos, & H. Pereira, “Pine wood modification by heat treatment in air,” *BioResources*, c. 3, sayı 1, ss. 142-154, 2008.
- [84] B. Bazyar, “Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood,” *BioResources*, c. 7, sayı 1, 2012.
- [85] R. Yorulmaz, “Isıl işlemleri ve termo-mekanik yoğunlaştırılmış doğu ladini (*Picea orientalis*) ve kara kavak (*Populus nigra*) odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi,” Yüksek lisans tezi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [86] N.Erdin & Y.Bozkurt, *Odun Anatomisi Ders Kitabı*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 2013.
- [87] A. Temiz, E. D. Gezer, U. C. Yildiz & S. Yildiz, “Combustion properties of alder (*Alnus glutinosa* L.) Gaertn. subsp. *barbata* (CA Mey) Yalt.) and southern pine (*Pinus sylvestris* L.) wood treated with boron compounds,” *Constr. Build. Mater.* c. 22, sayı 11, ss. 2165-2169, 2008.
- [88] D. Panov, N. Terziev & G. Daniel, “Using plant oils as hydrophobic substances for wood protection,” *41st Annu. Meet. Int. Res. Gr. Wood Prot.*, 2010.
- [89] E. D. Tomak, H. Viitanen, U. C. Yildiz, & M. Hughes, “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,” *J. Mater. Sci.*, c. 46, sayı 3, ss. 608–615, 2011.
- [90] T. Ulvcróna, H. Lindberg & U. Bergsten, “Impregnation of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) wood by hydrophobic oil and dispersion patterns in different tissues”, *Forestry*, c. 79, sayı 1, ss. 123-134, 2006.
- [91] A. Koski & R. Ahonen, “Applicability of crude tall oil for wood protection,” Doktora tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Oulu Üniversitesi, Finlandiya, 2008.

- [92] B. F. Tjeerdsma & H. Militz, "Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood," *Holz als roh-und Werkst.*, c. 63, sayı 2, ss. 102-111, 2005.
- [93] Y.Örs & H.Keskin, *Ağaç Malzeme Teknolojisi*. Ankara, Türkiye: Gazi Yayinevi, 2003, ss. 199
- [94] B. F. Tjeerdsma, M. Boonstra, A. Pizzi, P. Tekely, & H. Militz, "Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement," *Holz als Roh-und Werkst.*, c. 56, sayı 3, ss. 149-153, 1998
- [95] O. E. Özkan, "Isıl İşleme Muamele Edilmiş Gökmar Odununun Biyolojik , Mekanik , Fiziksel Ve Dış Ortam Dayanımı Özellikleri," Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2013.
- [96] S. H. Lee vd., "Thermal treatment of wood using vegetable oils: A review," *Constr. Build. Mater*, c. 181, ss. 408-419, 2018.
- [97] C. I. Chang & C. T. Keith, "Properties of heat-darkened wood. II Mechanical properties and gluability," *Report. East. For. Prod. Lab.*, 1978.
- [98] M. J. Boonstra & B. Tjeerdsma, "Chemical analysis of heat treated softwoods," *Holz als Roh-und Werkst.*, c. 64, sayı 3, ss. 204-211, 2006.
- [99] A. Pizzi, *Advanced wood adhesives technology*, 1.baskı, Boca Raton, Florida: CRC Press, 1994.
- [100] Y. Bozkurt & N. Erdin, *Odun Patolojisi*, İstanbul, Türkiye: İ.Ü. Orman Fakültesi, 1995.
- [101] D. Kocaefe, S. Poncsak, G. Dore & R. Younsi, "Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water," *Holz als roh-und Werkst.*, c. 66, sayı 5, ss. 355-361, 2008.
- [102] İ. Tümen, D. Aydemir, G. Gündüz, B. Üner, & H. Cetin, "Changes in the chemical structure of thermally treated wood," 2010.
- [103] D. Aydemir, G. Gündüz, E. Altuntaş, M. Ertaş, H. T. Şahin & M. H. Alma, "Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood," ss. 1308-1321, 2011.

- [104] P. H. Mitchell, “Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen,” *Wood Fiber Sci.*, ss. 320-335, 1988.
- [105] P. O. Doruk Şemsettin, “Isıl işlemin bazı ağaç malzemelerin eğilme ve basınç direncine etkileri,” *Politek. Derg.*, c. 13, sayı 2, ss. 143-150, 2010.
- [106] I. F. Suri vd., “Comparison of the color and weight change in paulownia tomentosa and pinus koraiensis wood heat-treated in hot oil and hot Air,” *BioResources*, c. 16, sayı 3, 2021.
- [107] S. Korkut, M. S. Kök, D. S. Korkut, ve T. Gürleyen, “The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood,” *Bioresour. Technol.*, c. 99, sayı 6, ss. 1538-1543, 2008.
- [108] C.-H. Fang, N. Mariotti, A. Cloutier, A. Koubaa, & P. Blanchet, “Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam,” *Eur. J. Wood Prod.*, c. 70, sayı 1, ss. 155-163, 2012.
- [109] H. Pelit, A. Sönmez, & M. Budakçı, “Effects of thermomechanical densification and heat treatment on density and Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Eastern beech (*Fagus orientalis* L.),” *BioResources*, c. 10, sayı 2, ss. 3097-3111, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞESEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Selçuk BAYRAKTAR

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği	Gazi Üniversitesi	2007

YAYINLAR

Bayraktar, S., Pelit, H. (2022). Farklı yöntemlerle ısıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemelerde yoğunluk ve eğilme direncinin belirlenmesi, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 355-362. DOI: 10.17568/ogmoad.1090574