



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

**ISIL İŞLEMLİ VE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRILMIŞ
DOĞU LADİNİ (*Picea orientalis*) VE KARA KAVAK (*Populus nigra*)
ODUNLARININ BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

RAMAZAN YORULMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
AĞAÇ İŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HÜSEYİN PELİT**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL İŞLEMLİ VE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRILMIŞ
DOĞU LADİNİ (*Picea orientalis*) VE KARA KAVAK (*Populus nigra*)
ODUNLARININ BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ramazan YORULMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri 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

Prof. Dr. Mehmet BUDAKÇI
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Abdullah Cemil İLÇE
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 30/05/2019

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.

30 Mayıs 2019

Ramazan YORULMAZ

TEŞEKKÜR

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

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen İnönü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde görev yapan meslektaşlarıma, her zaman yanımda yer alan Ersin PAMUKÇU ve Göksel ERGİN arkadaşlarıma ve bu süreçte benimle beraber yorulan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2018.07.01.673 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

30 Mayıs 2019

Ramazan YORULMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. ISIL İŞLEMİN AĞAÇ MALZEME ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ...4	
2.1.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi	4
2.1.2. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi	4
2.1.3. Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi.....	5
2.2. ISIL İŞLEM YÖNTEMLERİ.....	6
2.2.1. ThermoWood Yöntemi.....	6
2.2.2. Sıcak Yağ Yöntemi.....	7
2.2.3. Plato Yöntemi	7
2.2.4. Fransız Yöntemleri	7
2.3. AĞAÇ MALZEMEDE YOĞUNLUĞU ETKİLEYEN FAKTÖRLER	8
2.3.1. Hava Boşluğu Oranı (Porozite)	8
2.3.2. Yıllık Halka Genişliği	8
2.3.3. Ağaçta Bulunduğu Yer	9
2.3.4. Reaksiyon Odunu.....	9
2.3.5. Su Miktarı.....	9

2.3.6. İlkbahar ve Yaz Odunu Oranı.....	10
2.3.7. Ağaç Yaş Artışı.....	10
2.3.8. Yetiştirme Yeri Şartları.....	10
2.4. AĞAÇ MALZEMENİN YOĞUNLAŞTIRILMASI.....	10
2.4.1. Yoğunlaştırma Yöntemleri.....	11
2.5. AĞAÇ MALZEME.....	13
2.5.1. Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i>).....	13
2.5.1.1. Makroskopik özellikler.....	14
2.5.1.2. Mikroskopik özellikler.....	15
2.5.1.3. Fiziksel ve mekanik özellikler	16
2.5.1.4. Kurutma ve işlenme özellikleri	16
2.5.1.5. Dayanıklılık ve emprenye edilebilme özelliği.....	16
2.5.1.6. Kullanış yerleri	16
2.5.2. Kara kavak (<i>Populus nigra</i>).....	16
2.5.2.1. Makroskopik özellikler :	17
2.5.2.2. Mikroskopik özellikler :	17
2.5.2.3. Fiziksel ve mekanik özellikleri :	18
2.5.2.4. Kurutma ve işlenme özellikleri	18
2.5.2.5. Dayanıklılık ve emprenye edilebilme özelliği.....	18
2.5.2.6. Kullanış yerleri	19
3. LİTERATÜR ÖZETİ	20
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
4.1. MALZEME	27
4.1.1. Ağaç Malzeme	27
4.1.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması	27
4.1.3. Deney örneklerine ısı işlem uygulanması	28
4.1.4. Deney örneklerinin yoğunlaştırılması.....	29
4.1.5. Deney Örneklerinin Ölçülendirilmesi.....	31
4.2. YÖNTEM	32
4.2.1. Geri Esneme Oranının Belirlenmesi	32
4.2.2. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi.....	32
4.2.3. Su Alma ve Sıkıştırma Yönü Şişme Oranının Belirlenmesi.....	33

4.2.4. Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi	34
4.2.5. Liflere Paralel Basınç Direncinin Belirlenmesi.....	36
4.2.6. Brinell Sertliğin Belirlenmesi.....	36
4.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi	38
5. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ	39
5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	39
5.1.1. Hava Kuruşu Yoğunluk	39
5.1.2. Geri Esneme Oranı	41
5.1.3. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı	45
5.1.4. Su Alma Oranı	50
5.2. MEKANİK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER	54
5.2.1. Statik Eğilme Direnci.....	54
5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	58
5.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	61
5.2.4. Brinell Sertlik (Radyal Yön)	64
5.2.5. Brinell Sertlik (Teğet Yön).....	67
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
6.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	71
6.1.1. Hava Kuruşu Yoğunluk	71
6.1.2. Geri Esneme Oranı	72
6.1.3. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı	73
6.1.4. Su Alma Oranı	74
6.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	75
6.2.1. Statik Eğilme Direnci.....	75
6.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	77
6.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	78
6.2.4. Brinell Sertlik	79
7. KAYNAKLAR.....	82
8. EKLER	89
EK:1 Ağaç Türlerine Göre Testlerde En Olumlu Sonuçların Elde Edildiği İşlem Koşulları	89
ÖZGEÇMİŞ	90

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemenin neme maruz kalması sonucu meydana gelen geri esneme.	11
Şekil 2.2. THM yönteminde kullanılan kapalı sistem bir presin şematik görünümü	12
Şekil 2.3. TM yoğunlaştırmada ahşabın hücre çeperinde meydana gelen deformasyon.	12
Şekil 2.4. Doğu ladini (<i>Picea orientalis</i>).	14
Şekil 2.5. Doğu ladini odununun mikroskopik görünümü.	15
Şekil 2.6. Kara kavak (<i>Populus nigra</i>) ağacı ve gövdesi.	17
Şekil 2.7. Karakavak odununun mikroskopik görünümü.	18
Şekil 4.1. Tomrukların biçilmesi ve lataların istifte kurutulması.	27
Şekil 4.2. Isıl işlem öncesi kaba ölçülerde kesilmiş örnekler.	28
Şekil 4.3. Örneklerin etüv cihazına yerleştirilmesi.	28
Şekil 4.4. Yoğunlaştırma işlemlerinde kullanılan test presi.	29
Şekil 4.5. Metal kalıplardan birine ait ölçüler.	30
Şekil 4.6. Metal kalıplar ve örneklerin yerleşimi.	30
Şekil 4.7. Örneklerin kalıp yardımıyla yoğunlaştırılması.	31
Şekil 4.8. Örneklerin basınç altında soğutulması.	31
Şekil 4.9. Örneklerin iklimlendirme dolabında kondisyonlanması.	33
Şekil 4.10. Deney örneklerinin su içerisinde bekletilmesi.	34
Şekil 4.11. Statik eğilme direnci testi.	35
Şekil 4.12. Liflere paralel basınç direnci testi.	36
Şekil 4.13. Brinell sertlik testi prensibi.	37
Şekil 4.14. Brinell sertlik testi.	37

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Doğu ladini odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	16
Çizelge 2.2. Kara kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 4.1. Deney örneklerinin sıkıştırma öncesi ölçüleri.	29
Çizelge 4.2. Yoğunlaştırma koşulları.	30
Çizelge 4.3. Çalışmada uygulanacak testlere göre örnek ölçüleri ve sayıları.....	32
Çizelge 5.1. Hava kurusu yoğunluk ortalama değerleri (g/cm ³).....	39
Çizelge 5.2. Hava kurusu yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçları.....	40
Çizelge 5.3. Ağaç türü düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....	40
Çizelge 5.4. Isıl işlem koşulları düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.	41
Çizelge 5.5. Sıkıştırma oranı düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.	41
Çizelge 5.6. Geri esneme oranı ortalama değerleri (%).	42
Çizelge 5.7. Geri esneme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.....	42
Çizelge 5.8. Ağaç türü düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.	43
Çizelge 5.9. Isıl işlem koşulları düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	43
Çizelge 5.10. Sıkıştırma oranı düzeyinde geri esneme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	43
Çizelge 5.11. Ağaç türü-ısıl işlem ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	44
Çizelge 5.12. Ağaç türü- sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	44
Çizelge 5.13. Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	45
Çizelge 5.14. Sıkıştırma yönü şişme oranı ortalama değerleri (%).	45
Çizelge 5.15. Sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.	46
Çizelge 5.16. Ağaç türü düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	47
Çizelge 5.17. Isıl işlem koşulları düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	47
Çizelge 5.18. Sıkıştırma oranı düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	47
Çizelge 5.19. Ağaç türü-ısıl işlem ikili etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	48
Çizelge 5.20. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	48
Çizelge 5.21. Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	49

Çizelge 5.22. Ağaç türü-ısıtım işlem-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	49
Çizelge 5.23. Su alma oranı ortalama değerleri (%).	51
Çizelge 5.24. Su alma oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.	51
Çizelge 5.25. Ağaç türü düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	52
Çizelge 5.26. Isıtım işlem koşulları düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).	52
Çizelge 5.27. Sıkıştırma oranı düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.	53
Çizelge 5.28. Ağaç türü-ısıtım işlem ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.	53
Çizelge 5.29. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.	54
Çizelge 5.30. Eğilme direnci ortalama değerleri (N/mm ²).	54
Çizelge 5.31. Eğilme direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları.	55
Çizelge 5.32. Ağaç türü düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	56
Çizelge 5.33. Isıtım işlem koşulları düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	56
Çizelge 5.34. Sıkıştırma oranı düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	56
Çizelge 5.35. Ağaç türü-ısıtım işlem ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	57
Çizelge 5.36. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	57
Çizelge 5.37. Isıtım işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	58
Çizelge 5.38. Eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerleri (N/mm ²).	58
Çizelge 5.39. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin varyans analizi sonuçları.	59
Çizelge 5.40. Isıtım işlem koşulları düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	60
Çizelge 5.41. Sıkıştırma oranı düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	60
Çizelge 5.42. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	61
Çizelge 5.43. Liflere paralel basınç direnci ortalama değerleri (N/mm ²).	61
Çizelge 5.44. Liflere paralel basınç direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları.	62
Çizelge 5.45. Ağaç türü düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	63
Çizelge 5.46. Isıtım işlem koşulları düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	63
Çizelge 5.47. Sıkıştırma oranı düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	63
Çizelge 5.48. Radyal yöndeki sertlik ortalama değerleri (N/mm ²).	64
Çizelge 5.49. Radyal yöndeki sertlik değerlerinin varyans analizi sonuçları.	65
Çizelge 5.50. Ağaç türü düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	65
Çizelge 5.51. Isıtım işlem koşulları düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin	

Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	65
Çizelge 5.52. Sıkıştırma oranı düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	66
Çizelge 5.53. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	66
Çizelge 5.54. Teğet yöndeki sertlik ortalama değerleri (N/mm ²).	67
Çizelge 5.55. Teğet yöndeki sertlik değerlerinin varyans analizi sonuçları.	68
Çizelge 5.56. Ağaç türü düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	68
Çizelge 5.57. Isıl işlem koşulları düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	68
Çizelge 5.58. Sıkıştırma oranı düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	69
Çizelge 5.59. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	69
Çizelge 5.60. Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm ²).	70

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANOVA	Analysis of Variance
BD	Basınç direnci
ED	Eğilme Direnci
EM	Elestikiyet Modülü
GEO	Geri Esneme Oranı
HG	Homojenlik Grubu
ISO	International Standart Organization
Knt1	Isıl İşlemsiz
Knt2	Yoğunlaştırılmamış
LDN	Lif Doygunluğu Noktası
LSD	En Küçük Önemli Aralık
Ns	Önemsiz
SAO	Su Alma Oranı
St.Sp	Standart sapma
SŞO	Sıkıştırma Yönü (Radyal) Şişme Oranı
THM	Thermo Hygro Mechanical – Termo Hıgro Mekanik
TM	Thermo Mechanical – Termo Mekanik
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
VTC	Viscoelastic Thermal Compression
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus

SİMGELER

a	Deney örneğinin genişliği (mm)
b	Deney örneğinin kalınlığını (mm)
cm ²	Santimetrekare
cm ³	Santimetreküp
d	Çelik bilyenin deney örneği yüzeyinde açtığı çukurun çapı
D	Çelik bilyenin çapı
D ₀	Tam Kuru Yoğunluk
D ₁₂	Hava Kurusu Yoğunluk
E-mod	Elastikiyet Modülü
F _{max}	Maksimum kuvvet
g	Gram
HB	Brinell sertlik değeri
L ₀	Tam kuru haldeki kalınlık
L _R	Suda bekletme sonrası rutubetli kalınlığı
L _s	Dayanak açıklığı
m	Kütle
mm	Milimetre
M ₀	Tam Kuru Ağırlık
M ₁₂	Hava Kurusu Ağırlık
M _R	Suda bekletme sonrası rutubetli örnek ağırlığı
N	Newton
n	Tekerrür
V	Hacim
V ₀	Tam Kuru Hacim
V ₁₂	Hava Kurusu Hacim
°C	Santigrat Derece
β _r	Radyal Yönde Daralma Yüzdesi
β _t	Teğet Yönde Daralma Yüzdesi
β _v	Hacimsel Daralma Yüzdesi
δ ₀	Tam Kuru Yoğunluk
δ ₁₂	Hava Kurusu Yoğunluk
α _k	Kalınlık Artış (Şişme) Oranı
σ _b //	Liflere Paralel Basınç Direnci
σ _ç //	Liflere Paralel Çekme Direnci
$\bar{x}$	Aritmetik Ortalama
ΔF	Elastikiyet Bölgesindeki Kuvvet Farkı
Δf	Eğilme Miktarını
μm	Mikron (0,001mm)

ÖZET

ISIL İŞLEMLİ VE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRILMIŞ DOĞU LADİNİ (*Picea orientalis*) VE KARA KAVAK (*Populus nigra*) ODUNLARININ BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ramazan YORULMAZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin PELİT

Mayıs 2019, 89 sayfa

Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtma işlemi uygulandıktan sonra termo-mekanik olarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Doğu ladini (*Picea orientalis*) ve kara kavak (*Populus nigra*) odunlarından hazırlanmış olan örnekler, atmosferik basınç ortamında dört farklı sıcaklık (140 °C, 160 °C, 180 °C ve 200 °C) ve iki farklı sürede (7 ve 9 saat) ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma işlemli örnekler daha sonra hidrolik bir pres kullanılarak 150 °C sıcaklıkta %20 ve %40 sıkıştırma oranları ile yoğunlaştırılmıştır. Deney örneklerinin fiziksel özelliklerini belirlemek için geri esneme oranı, hava kurusu yoğunluk, su alma (absorpsiyon) oranı ve sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranı; mekanik direnç özelliklerini belirlemek için ise statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve Brinell sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, ısıtma işlemli örneklerde yoğunluk ve mekanik direnç özellikleri genel olarak işlem sıcaklığı ve süresindeki artışa bağlı olarak azalmıştır. Yoğunlaştırılmış örneklerde ise, ön ısıtma işlemleri sayesinde geri esneme oranı ile su alma oranı azalmış ve boyutsal stabilitede %60'a kadar bir iyileşme sağlanmıştır. Diğer taraftan, direnç kayıpları yaşanan ısıtma işlemli örneklerde, yoğunlaştırma modifikasyonu sonrası yoğunluk, mekanik direnç ve sertlik özellikleri sıkıştırma oranına bağlı olarak önemli ölçüde artış göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hem ısıtma işlemi hemde yoğunlaştırma modifikasyonunun ağaç malzeme üzerindeki olumsuz etkilerini bertaraf etmek için bu iki yöntemin birlikte kullanılması önerilebilir.

Anahtar sözcükler: Ağaç malzeme, Fiziksel ve mekanik özellikler, Isıtma işlemi, Yoğunlaştırma.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT TREATED AND THERMO-MECHANICAL DENSIFIED EASTERN SPRUCE (*Picea orientalis*) AND BLACK POPLAR (*Populus nigra*) WOODS

Ramazan YORULMAZ

Duzce University

Institute of Science and Technology, Department of Wood Products Industrial
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin PELİT

May 2019, 89 pages

In this study, it was aimed to determine some physical, mechanical and technological properties of thermo-mechanical densified wood materials after heat treatment at different temperatures and durations. Specimens prepared from Eastern spruce (*Picea Orientalis*) and black poplar (*Populus nigra*) woods were subjected to heat treatment in atmospheric pressure environment at four different temperatures (140 °C, 160 °C, 180 °C and 200 °C) and two different duration (7 and 9 h). Heat-treated samples were then densified using a hydraulic press at 150 °C with compression ratios of 20% and 40%. In the test specimens, the spring-back ratio, air-dry density, water absorption and compression direction (radial) swelling ratio were performed to determine the physical properties while static bending strength, modulus of elasticity, compression strength parallel to fibers and Brinell hardness tests were performed in order to determine mechanical properties. According to the results of the study, the density and mechanical strength properties of the heat treated specimens decreased in general due to the increase in the process temperature and duration. In the densified specimens, the spring-back and the water absorption decreased due to the heat pre-treatments and an improvement of up to 60% in dimensional stability was achieved. On the other hand, in heat treated specimens where strength losses occurred, density, mechanical strength and hardness properties after densification modification demonstrated a significant increase depending on compression ratio. According to the obtained results, it can be suggested to use these two methods together in order to eliminate the negative effects of both heat treatment and densification modification on the wood material.

Keywords: Wood material, Physical and mechanical properties, Heat treatment, Densification.

1. GİRİŞ

Ahşap, ağacın gövdesinden elde edilen, doğal, çevre dostu ve sürdürülebilir bir malzemedir. Ahşap, dünyada ticareti yapılan ve birçok ihtiyaca cevap verebilecek özelliklerde 400'ü aşkın ağaç türünden elde edilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997). Doğal bir malzeme olması nedeniyle üretimde, kullanımda ve atıklarının geri dönüşümünde, doğaya en az zarar veren malzemelerden biridir. Bütün bu süreçte harcanan enerji değerleri diğer malzemelere oranla çok daha düşüktür. İşlenmesi esnasında fazla kirlilik oluşmamakta, kolay ve ucuz bir şekilde istenen değişiklikler ve onarımlar yapılabilir. Sökülebilmekte ve belli bir kayıpla yeniden kullanılabilir (As, 2007). Boşluklu yapısı, yoğunluğunun azalmasına neden olmakta, bununla beraber ses ve ısı yalıtım özelliklerini iyileştirmektedir. Düşük yoğunluğu taşınmasında, işlenmesinde kolaylık sağladığı gibi, yapının zayıf temeller üzerinde kurulabilmesine olanak verir. Düşük yoğunluklu olmasına rağmen, yoğunluğuna göre direnç oranı, diğer malzemelerden çok daha yüksektir (Bozkurt ve Göker, 1996). Lifli yapısının kırılmadan önce haber verme özelliği (cazlama) nedeniyle (Kurtoğlu, 2000), maden galerileri gibi riskli bölgelerde taşıyıcı eleman olarak tercih edilebilmektedir. Deprem anında uzun lifli kırılmalar gerçekleştiğinden, "yaşam üçgeni" alanı oluşturma olasılığı çok daha fazladır (Görgün vd., 2016).

Ahşap malzemenin kolay işlenmesi, yoğunluğuna oranla yüksek direnç özelliklerine sahip olması, kendine has sayısız desen ve sayısız renk çeşitliliği gibi eşi bulunmaz özellikleri mevcuttur. Kullanım yerinde istenmeyen bazı özellikleri de bulunmaktadır. Mantar, böcek, virüs, bakteri gibi biyolojik canlılara gösterdiği dirençte zafiyet, ıslak, rüzgâr, nem gibi fiziksel etkiler karşısında kullanım süresinde azalma, asit yağmurları gibi kimyasal temaslar sonucunda görsel kayıplar, çarpma, yük taşıma gibi mekanik kuvvetler neticesinde ilk günkü özelliklerini yitirme sayılabilir. Günümüz teknolojisinin sunduğu imkânlar sayesinde, ahşap malzemenin istenmeyen özelliklerinin etkisini sınırlamada yeni yöntemler ortaya çıkmaktadır (Akkılıç vd., 2014).

Gelişen Dünya'da nüfus ve refah seviyesi arttıkça, ahşap hammaddesi daha çok kullanılmakta ve bu malzemeye duyulan ihtiyaçta artmaktadır. Ancak, mevcut ahşap

hammadde kaynakları, bu şekliyle artan talebi karşılamaktan hayli uzak görünmektedir. Bu amaçla, geçmişten beri ahşabın doğal şekilde kullanım ömrünü uzatmaya yönelik çalışmalara olan ilgi, her geçen gün artmaktadır (Bektaş vd., 2017).

Son yıllarda ağaç malzemenin sahip olduğu özelliklerini geliştirmek için pek çok uygulama geliştirilmiştir. Ağaç malzemenin olumsuz özelliklerinin en aza indirgenmesi ve olumlu özelliklerinin daha da artırılması amacıyla yönelik olarak ortaya çıkan yöntemlere “ahşap modifikasyon yöntemleri” denilmektedir (Hill, 2006; Rowell, 1987; Şenol ve Budakçı, 2016).

Ahşabın termal (ısı) modifikasyonu, özellikle harici kısım uygulamalarında fazla dayanıklı olmayan ağaç türlerinin özelliklerini iyileştirmek için çevre dostu bir teknik olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Isıl işlem, ahşap malzemede mantar çürüklüğüne karşı direnci ve boyutsal stabiliteyi arttıran kimyasal değişiklikleri başlatmak için ahşabı yüksek sıcaklıklara (genellikle 180 °C - 220 °C) maruz bırakma esasına dayanır (Hill, 2006).

Isıl işlem modifikasyonu yönteminde, ağaç malzemeye yüksek derecelerde sıcaklık uygulanmakta ve onun kimyasal yapısında bazı kalıcı değişiklikler meydana gelmektedir. Isıl işlem sonucu ağaç malzemenin higroskopisitesi azalmakta, biyolojik direnci ve boyutsal stabilitesi artmakta, rengi ise değiştirilebilmektedir. Bu özelliklerdeki değişimin miktarı ısı işlem yöntemi, uygulama süresi ve sıcaklık gibi ısı işlem sırasında uygulanan parametrelere ve kullanılan ağaç malzemenin anatomik yapısına bağlıdır. Ancak bu uygulamanın önemli bir dezavantajı, farklı çalışmalarda da belirtildiği gibi ağaç malzemenin yoğunluk ve mekanik direnç özelliklerindeki azalmadır (Aytin 2013; Baydağ, 2014; Boonstra, 2008; Korkut ve Kocaefe 2009; Pelit, 2014; Perçin, 2012).

Farklı bir modifikasyon yöntemi olan yoğunlaştırma yönteminde ise ağaç malzeme yoğunluğu arttırılmakta ve özellikleri iyileştirilebilmektedir. Ağaç malzemenin birçok özelliğinde olduğu gibi, mekanik direnç özellikleri de yoğunluğu ile yakından ilişkilidir. Özellikle hızlı büyüyen ağaç türleri daha fazla boşluklu dokular oluşturur ve bu duruma bağlı olarak da bu türlerin yoğunlukları nispeten düşüktür. Düşük yoğunluk değerlerine sahip çok fazla ilgi çekici olmayan bu ağaç türleri yoğunlaştırma modifikasyonu ile daha dirençli ve değerli hale getirilebilmektedir (Pelit, 2014). Bu sayede, yüksek direnç gerektiren uygulamalarda yüksek yoğunluklu türler yerine daha düşük yoğunluklu ağaç türlerinin kullanılması sağlanabilmektedir (Kariz vd., 2017; Şenol, 2018).

Ağaç malzeme, enine yönde (radyal veya teğet yön) mekaniksel olarak sıkıştırma ile, hücre çeperine bazı kimyasalların emdirilmesi (emprenye) ile veya sıkıştırma ve emprenye işlemlerinin birlikte uygulanması ile yoğunlaştırılabilmektedir (Kutnar ve Sernek 2007; Pelit vd., 2014). Mekaniksel sıkıştırma ile yoğunlaştırma işlemi yapılan ağaç malzemenin en önemli dezavantajı, su ile temas ettiğinde veya neme maruz kaldığında, sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerine geri dönme (geri esneme) eğiliminde olmasıdır. Buradaki geri esneme gerçek şişmenin aksine geri dönüşümü olmayan bir durumdur (Pelit, 2014; Seborg vd., 1956).

Bu çalışmada; farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtıl işlem uygulandıktan sonra mekaniksel olarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Isıtıl işlem ve yoğunlaştırma modifikasyon yöntemlerinin tek başına uygulanması durumunda ağaç malzemedeki meydana gelen ve yukarıda bahsedilen olumsuz durumların her iki modifikasyon yönteminin birlikte kullanılması ile en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, nispeten düşük yoğunluk değerlerine sahip ve kullanım alanı sınırlı olan ladin ve kara kavak gibi odun türlerinin modifikasyonu ile bu türlerin kullanım alanlarının çeşitlendirilebilmesi öngörülmüştür.

Çalışmada, Doğu ladin (*Picea Orientalis*) ve kara kavak (*Populus nigra* L.) odunu örnekleri, atmosferik basınç altında dört farklı sıcaklıkta (140 °C, 160 °C, 180 °C ve 200 °C) 7 ve 9 saat için ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. Isıtıl işlemli örnekler daha sonra hidrolik bir pres kullanılarak 150 °C sıcaklıkta %20 ve %40 sıkıştırma oranları ile yoğunlaştırılmıştır. Deney örneklerinin fiziksel özelliklerindeki değişimi belirlemek için geri esneme oranı, hava kurusu yoğunluk, su alma (absorpsiyon) oranı ve sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranı; mekanik ve teknolojik özelliklerindeki değişimi belirlemek için ise statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve Brinell sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonucu elde edilen veriler kontrol grupları ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve uygulamaya yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. ISIL İŞLEMİN AĞAÇ MALZEME ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Isıl işlem uygulaması ahşabın moleküler yapısının modifiye edilmesine imkan sağladığından performansını arttırmaktadır. Isıl işlem uygulamasıyla artan potansiyel nitelikler; böcek ve mantarlara karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubet içeriği, daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite, artan termal izolasyon kabiliyeti, dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma, boya adezyonu, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresinin uzamasıdır (Korkut ve Kocaefe, 2009).

2.1.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlem ile muamele edilmiş ağaç malzemenin kimyasal ve fiziksel özellikleri kalıcı bir şekilde değişmektedir (Aydemir ve Gündüz, 2009). Odunun bu özellikleri üzerinde meydana gelen, geri dönüşümü olmayan bu değişmelerin temelinde odun hücre çeperi bileşenlerinin ve özellikle bu bileşenlerden hemiselülozların ısı ile termal bozunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Korkut ve Kocaefe, 2009). Odunda meydana gelen bu değişimler ortalama olarak 150 °C’de oluşmaya başlar ve sıcaklıktaki yükselmeye bağlı olarak artarak devam eder. Sonuç olarak rutubete bağlı olarak meydana gelen daralma ve genişleme miktarları ısıl işlem uygulaması neticesinde düşerken, biyolojik dayanım artar, renk koyulaşır ve düşük molekül ağırlığına sahip olan ekstraktif maddeler odundan uzaklaşır (Aydemir ve Gündüz, 2009). Isıl işlem uygulaması sırasında en önemli etken sıcaklıktır. Bunun dışında uygulama süresi, ağaç türü ve ağacın karakteristik özellikleri, işlem atmosferi, basınç, rutubet miktarı, sıcaklığın eşit dağılımı, ön kurutmaya tabi tutulup tutulmaması vb. özelliklerde muameleyi doğrudan etkilemektedir (Aydemir ve Gündüz, 2009; Korkut ve Kocaefe, 2009).

2.1.2. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlem ile muamele süresince ağaç malzemede meydana gelen kimyasal değişimin tam olarak anlaşılabilmesi için odunun kimyasal yapısının iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Odunun temel bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve lignin ısıl işlem

süresince yapıları gereği farklı şekilde degrade (bozunma) olarak bir kısmı (düşük molekül ağırlığına sahip olanlar) odundan buharlaşarak uzaklaşmaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2009). Isıl işlem ağaç malzemedde hücre çeperi bileşenlerini degrade ederek onun kimyasal yapısını değiştirmektedir. Ağaç malzemedde ısıtmadan dolayı meydana gelen bu değişimler muamele sıcaklığı ve süresine bağlıdır ve ana etken sıcaklıktır (Bourgois vd., 1989). Düşük sıcaklık derecelerinde (20 °C - 150 °C) odundaki serbest suyun uzaklaşmasına bağlı olarak odun kurumaktadır. 180 °C - 250 °C gibi yüksek sıcaklıklar ise yaygın olarak ısıtma işlemi için kullanılmaktadır ve bunun neticesinde odunda önemli kimyasal değişimler görülmektedir. 250 °C'nin üstündeki sıcaklık uygulamalarında ise karbondioksit ve diğer piroliz ürünlerinin oluşumu ile kömürleşme meydana gelmektedir (Esteves ve Pereira, 2009).

2.1.3. Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlem süresince gerek ahşap içerisinde gerekse yüzeylerde meydana gelen çatlaklar ve yarılmalar ağaç malzemenin direncinde azalmalara yol açmakta ve bu durumda mekaniksel özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda olduğu bilinen formik ve asetik asit formasyonu öncelikle hemiselülozdan başlayarak birçok odun bileşenini tahrip eder ve bunun sonucunda kütle miktarlarında azalma meydana gelir. Kütle kayıpları sonucunda yoğunluktaki azalma, yoğunlukla ilişkili olan mekaniksel özellikleride olumsuz yönde etkilemektedir (Aydemir ve Gündüz, 2009).

Eğilme direncindeki ilk kayıplardan ısıtma işlemi süresince lignin ve selülozun bozunması veya depolimerizasyonu değil hemiselülozun modifikasyonu ve bozunması temel sebep gösterilmektedir. Eğilme direncindeki düşüşlerin oranı ısıtma işlemi süresi ve sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Hücre çeperinde ısıya karşı en hassas bileşen hemiselülozdur. Elastikiyet modülündeki az miktarda fakat dikkate değer artma, muhtemelen lignin-hemiselüloz matriksinin yük paylaşma kapasitesindeki bozulma ve hemiselülozun modifikasyonu ve bozunmasına rağmen kristalimsi selülozun nispi miktarındaki artma sebebiyle olmaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2009).

Isıl işlem uygulamasından sonra sertlik ve liflere paralel basınç direnci değerleri artmasına rağmen makaslama direnci azalır, liflere paralel çekme direnci ise daha büyük bir azalma gösterir. Basınç, çekme ve makaslama gerilmelerinin kombinasyonu ile oluşan eğilme direnci liflere paralel çekme direnci kadar olmasa da azalmaktadır. Şok direnci daha büyük bir azalma gösterir. Eğilme testi süresince elastikiyet modülünde artma

gerçekleşmektedir. Isıl işlem uygulanmış odunun mekanik özellikleri üzerine ligninin polikondenzasyon reaksiyonları, amorf selülozun kristalleşmesi ve bozunması, hemiselülozun modifikasyonu ve bozunması etkilidir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

2.2. ISIL İŞLEM YÖNTEMLERİ

2.2.1. ThermoWood Yöntemi

Finlandiya’da Teknik Araştırma Merkezi (The Technical Research Centre of Finland=Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT)) tarafından geliştirilmiş bir yöntem olup Finlandiya ThermoWood Derneği üyeleri tarafından lisanslı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde ahşap malzemeler 180-250 °C arasında değişen yüksek sıcaklıklarda mümkün olduğu kadar oksijensiz bir ortamda buhar koruması altında işlem görmektedir (Perçin, 2012; Rapp ve Sailer, 2001). Thermowood yöntemi üç ana safhaya ayrılmaktadır.

Kurutma safhası: Isıl işlem uygulama yönteminde en uzun süreli safhadır. Bu safhaya yüksek ısı ile kurutmada denir. Kuruma periyodunun başlangıcında ahşap malzeme kuru yada yaş halde olabilir. Başarılı bir kurutmada iç çatlamların olmaması önemlidir. Burada önce ahşabın sıcaklığı hızla 100 °C’ye çıkarılır, daha sonra yavaş yavaş 130 °C’ye kadar yükseltilir. Aynı zaman da ahşapta oluşabilecek çatlakları önlemek için, ön koruma amaçlı olarak ortama su buharı tatbik edilir. Rutubet miktarı hemen hemen sıfıra indirilir. Kurutma safhasındaki süre ağacın başlangıç rutubetine, ağaç türüne ve kerestenin kalınlığına bağlıdır. Başarılı kurutma fırın içerisindeki ısı, nem ve hava sirkülasyonu hızının kontrolü ile mümkündür. *Isıl işlem safhası:* Bu aşama yoğun ısıtma işlemi olarakta adlandırılır. Kerestenin kapalı bir ortamda iç ısının 185 °C-212 °C’ye çıkarılması ile yapılır. Önceden belirlenen hedef sıcaklığına ulaşıldığında, fırın sıcaklığı bu noktada sabit tutulur. Isıl işlem safhası kurutma safhasından sonra başlar. Isıl işlem uygulama safhası 2-3 saat sürer. Ahşabın yanmasını engellemek amacıyla kullanılan gaz veya su buharının hem odunun korunmasında hem de odunda gerçekleşen kimyasal değişime etkisi bulunmaktadır. *Kondisyonlama safhası:* Uygulamadaki son safhadır. Isıl işlem uygulamasından sonra ağaç malzeme kontrollü bir şekilde soğutulur. Bu bölümde dikkatli olmak gerekmektedir, çünkü ağaç malzemenin iç sıcaklığı ile dışarıdaki hava sıcaklığı arasındaki yüksek ısı farkı çatlamlara neden olabilir. Sıcaklık arttırıldığında veya azaltıldığında, dış ve iç yüzey çatlamlarını önlemek ve kontrol etmek için özel bir uyum yolu kullanılır. Uyum değerleri ağaç türleri ve ebatlarına (genişlik, kalınlık) göre

düzenlenir. Buna ek olarak ağaç malzemeyi son kullanım alanına uygun hale getirmek için tekrar nemlendirme yapılmaktadır. Uygun duruma getirme işleminden sonra ağaç malzemenin nemi %5-7'ye getirilmektedir. Bu safha ağaç türüne ve sıcaklığa bağlı olarak 5-15 saat arasında değişebilmektedir (Aydemir, 2007; Mayes ve Oksanen, 2002; Perçin, 2012; Pelit, 2014).

2.2.2. Sıcak Yağ Yöntemi

Geliştirilen ısı işlem yöntemlerinden biri de Almanya'da ticarileşmiş olan sıcak yağ uygulamasıdır. Ahşaba, kapalı bir proses tankı içinde ısı işlem uygulanmaktadır. Proses tankı ahşap hammaddesiyle doldurulduktan sonra sıcak yağ, yağ deposu tankından proses tankına aktarılmaktadır. Ahşap hammaddesinin etrafında sirküle edilen yağın sıcaklığı, yüksek sıcaklık uygulamasıyla muhafaza edilmektedir. Proses tankı boşaltılmadan önce sıcak yağ, yağ deposu tanklarına geri aktarılmaktadır. En yüksek biyolojik dayanım ve en az yağ tüketimi için uygulanan sıcaklık 220 °C, en yüksek biyolojik dayanım ve en az direnç kaybı için 180-200 °C sıcaklıklar uygulanmaktadır. Uygulama için kolza tohumu, beziryağı, ayçiçeği yağı gibi bitkisel ham yağlar kullanılmaktadır (İşleyen, 2012; Kamdem, 2002).

2.2.3. Plato Yöntemi

Bu proses iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada taze veya hava kurusu haldeki ağaç malzeme atmosferik basınç altında 160 °C-190 °C sıcaklıklarda 4-5 saat ısı işleme tabi tutulur. Konvansiyonel kurutma metodu ile % 8-10 rutubete kadar kurutma yapılır. Bu süre 3-5 gün arasında değişir. İkinci aşamada ise kuru haldeki ağaç malzemeye 170 °C-190 °C sıcaklıklar arasında tekrar ısıtma işlemi uygulanır. Bu işlem 14-16 saat sürebilir. Sonrasında 2-3 günlük dinlendirme safhası gelir. İkinci safhada % 1'e inen odun rutubeti dinlendirme ile % 4-6 civarında rutubete sahip olur. Yukarıda belirtilen süreler ağaç malzemenin kalınlığı, türü vb. özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (İşleyen, 2012; Kamdem, 2002).

2.2.4. Fransız Yöntemleri

Fransa'da kullanılmakta olan iki yöntem vardır. Bunlardan ilki Ecole des Mines de Saint-Etienne tarafından geliştirilen ve New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan "Retifiction" olarak bilinen yöntemdir. Yöntemde hava kurusu haldeki ağaç malzeme 240 °C sıcaklıkta ve nitrojen ortamında ısı işleme tabi tutulur. Ortamdaki nitrojenin kullanım

amacı; yüksek sıcaklık altında meydana gelecek oksidasyona bağlı olarak ağaç malzemedeki renk değişimi kontrol altında tutmaktır. Ayrıca ortamdaki oksijen miktarı %2'den az olmalıdır. Aksi halde yanma olayı meydana gelmektedir (İşleyen, 2012; Kamdem, 2002).

İkinci proses “Le Bois Perdure” olarak tanımlanır. Yöntemde taze haldeki ağaç malzeme kullanılır. İlk olarak ağaç malzeme kurutulur, sonrasında ise 230 °C’de buhar atmosferinde ısıtılır (İşleyen, 2012; Kamdem, 2002).

2.3. AĞAÇ MALZEMEDE YOĞUNLUĞU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ağaç malzemde yoğunluk, malzemenin diğer özellikleri ve kullanım imkânları hakkında fikir veren önemli bir faktördür. Örneğin ağır odunun direnci, esnekliği ve sertliği hafif odundan daha fazladır. Aşındırıcı etkilere daha iyi karşı koyar. Bazı yerlerde odunun yumuşaklığı, kolay işlenmesi ve az çalışması istenir. Bu özellikler ise odunun hafif olması ile sağlanabilir (Örs ve Keskin, 2008).

Yoğunluk, kütle (m) / hacim (V) eşitliğinden belirlenir. Odunun kütlesi ve hacmi, içerisindeki su miktarına göre değişir. Bu nedenle odunun yoğunluk ya da öz kütlesinin hangi rutubet için verildiği belirlenmelidir. Buna göre tam kuru yoğunluk ($\delta_0 = m_0 / V_0$), hava kurusu yoğunluk ($\delta_{12} = m_{12} / V_{12}$) ifadelerinde olduğu gibi yoğunluk değerinin hangi rutubete ait olduğu belirtilir (Örs ve Keskin, 2008). Ağaç malzeme yoğunluğunu etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Hava Boşluğu Oranı (Porozite)

Ağaç malzemelerin yoğunluğundaki farklılığın başlıca sebeplerinden biri birim hacimlerdeki hücre çeperi maddesi ve hava boşluğu oranlarının farklı oluşudur. Hücre çeperi maddesi oranı tam kuru hacme oranla hücre çeperi maddesi hacmi kadardır. Tam kuru haldeki ağaç malzeme içerisinde yalnız hücre çeper maddesi ve hava boşluğu bulunur. Yüksek basınç altında preslenen ağaç malzemde hava boşluğu miktarı azaltılarak yoğunluğu arttırılabilir. Odunun yoğunluğu hücre çeperi maddesi yoğunluğu olan 1,5 g/cm³ iken odunda hiç hava boşluğu bulunmaz (Örs ve Keskin, 2008).

2.3.2. Yıllık Halka Genişliği

Yıllık halka genişliği arttıkça ağaç türlerine göre yoğunlukta da değişiklikler olur. Yaz odunu tabakası belirgin olan iğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişliği arttıkça

yoğunluk azalma eğilimindedir. Ancak bu ilişki zayıftır. Ayrıca çam, melez, sedir gibi ağaçların çok dar yıllık halkalarında yoğunluk yine düşüktür. Genellikle çamda yıllık halka genişliği 1,5-2,0 mm genişliğe kadar arttığında yoğunlukta artmakta, daha geniş yıllık halkalarda ise yoğunlukta azalma görülmektedir. Dağınık traheli geniş yapraklı ağaçlar ve yaz odunu belirgin olmayan iğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişliği ile yoğunluk arasındaki ilişki azdır (Bozkurt ve Erdin, 2011).

2.3.3. Ağaçta Bulunduğu Yer

Dal odunu gövde odunundan yapraklı ağaçlarda %6, iğne yapraklı ağaçlarda %25 daha ağırdır. Kök odunu ise gövde odunundan yapraklı ağaçlarda %20, iğne yapraklı ağaçlarda ise fark daha küçük olmak üzere daha hafiftir. Buna göre en ağır odun dallarda en hafif odun ise köklerde oluşur. Özden çevreye doğru gidildikçe, yoğunluk iğne yapraklı ağaçlarda çoğunlukla artar, halkalı büyük traheeli yapraklı ağaçlarda azalır. Dağınık traheeliler de ise enine kesitte yoğunluk değişimleri belirgin değildir. Ağaç gövdesinde aşağıdan yukarıya doğru çıkıldıkça yoğunluk, iğne yapraklı ağaçlarda azalır, yapraklı ağaçlarda ise belirgin olmamakla birlikte artar (Örs ve Keskin, 2008).

2.3.4. Reaksiyon Odunu

Basınç odununun yoğunluğu normal odundan %15-40 daha fazladır. Normal odundakinin aksine olarak basınç odununda yıllık halka genişledikçe yoğunluk artar. Huş gibi bazı yapraklı ağaçlarda çekme odunu ile normal odun arasındaki yoğunluk farkı önemsiz iken bazılarında (karaağaç, ıhlamur) çekme odunu daha hafif, bazılarında (titrek kavak) ise daha ağırdır (Örs ve Keskin, 2008).

2.3.5. Su Miktarı

Yoğunluk, kütle / hacim eşitliğinden belirlendiğinden, Lif Doygunluğu Noktası (LDN) üstündeki rutubetlerde su miktarı arttıkça kütle artıp, hacim sabit kalacağından yoğunluk artar. LDN altındaki rutubetlerde ise yoğunluğu 1,1 g/cm³ den az olan odunlarda lif doyguluk noktasına kadar su miktarı arttıkça kütledeki artış hacim artışından fazla olduğundan yoğunluk artar. Buna karşılık yoğunluğu 1,1 g/cm³ den yüksek olanlarda ise LDN'ye kadar su miktarı arttıkça hacim artışı kütle artışından fazla olduğundan yoğunluk azalır. LDN'den sonra tekrar artış gösterir (Örs ve Keskin, 2008).

2.3.6. İlkbahar ve Yaz Odunu Oranı

Ağaç malzemedeki ilkbahar ve yaz odunu oranı yoğunluğu etkiler. Çünkü ilkbahar odunu, yaz odunundan daha düşük yoğunluktadır. Bu yapısal farklılık nedeniyle yaz odunu katılım payı arttıkça, yoğunlukta doğrusal bir artış meydana gelmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

2.3.7. Ağaç Yaş Artışı

Ağaç yaş artışı ile yoğunlukta değişme görülür. Çünkü yaş ilerledikçe hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaçlarda dar yıllık halkalar oluşur. Sonuçta ileri yaşlarda iğne yapraklı ağaçlarda genellikle ağır, halkalı traheli geniş yapraklı ağaçlarda ise hafif odun üretilir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

2.3.8. Yetiştirme Yeri Şartları

Yetiştirme yeri şartlarından yükselti ve yön, yoğunluğu etkiler. Örneğin; ladin ile kayında güneyden kuzeye doğru gidildikçe yoğunlukta artış tespit edilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

2.4. AĞAÇ MALZEMENİN YOĞUNLAŞTIRILMASI

Yüksek yoğunluklu ağaç malzeme, taşıyıcı uygulamalar ve aşınma direncinin önemli olduğu yerler için gereklidir. Ticari olarak ilgi çekmeyen düşük yoğunluklu ağaç türleri yoğunlaştırma işlemleri ile modifiye edilerek, yüksek performanslı ve değerli ürünler haline getirilebilir. Nispeten yüksek yoğunluklu ağaç türlerinde bile yoğunlaştırma işlemi uygulamaları sayesinde sertlik ve direnç özellikleri daha da iyileştirilebilir (Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit vd., 2015).

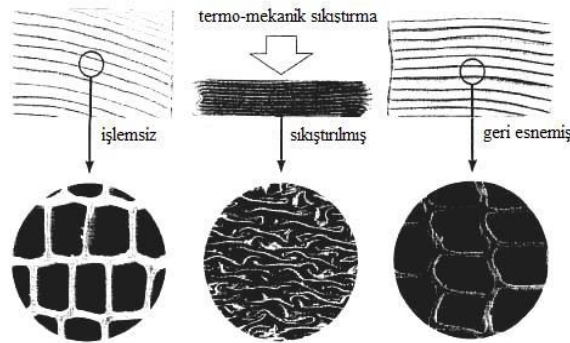
Ağaç malzeme basınç altında sıkıştırılarak, hücre çeperine bazı kimyasalların-reçinelerin emdirilmesiyle (impregnasyon) veya sıkıştırma ile impregnasyonun birlikte kullanılmasıyla yoğunlaştırılabilmektedir (Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit vd., 2014). Sıkıştırarak yoğunlaştırmada, ağaç malzemenin hücre çeperi çökertilerek ve boşluk hacmi azaltılarak yoğunlaştırma gerçekleştirilir (Pelit ve Sönmez, 2015). Normal atmosferik koşullar altında sıkıştırılmış ağaç malzemenin hücre çeperinde kırılmalar-çatlamalar meydana gelebilmektedir. Sıkıştırarak yoğunlaştırmada ahşabın doğal elastik yapısı önemli bir rol oynar. Yoğunlaştırmada ahşap sıcaklığı, kritik geçiş sıcaklığının üzerinde olması durumunda amorf polimerler büyük bir deformasyona uğramadan ve hücresel

kırılmalar olmadan yoğunlaştırma gerçekleştirilebilmektedir. Sıkıştırma özellikleri çoğunlukla ağacın yoğunluğuna, rutubetine, hücre çeperi hacmi ve sıkıştırma yönüne bağlıdır. Yoğunlaştırma işleminde ana problemlerden biri geri esnemedir (spring-back) ve bu durum sıcaklık ve buhar etkisi ile ortadan kaldırılabilir (Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit, 2014; Rautkari vd., 2010). Kimyasal maddelerle yoğunlaştırmada ise, sıvı haldeki doğal ve yapay reçineler ağaç malzemenin boşluklarına emdirildikten sonra kimyasal reaksiyon veya soğutma sonucu bulundukları yerde katılaştırılarak yoğunluğu artırılmış ağaç malzeme elde edilmektedir (Kamke, 2006; Pelit vd., 2015).

2.4.1. Yoğunlaştırma Yöntemleri

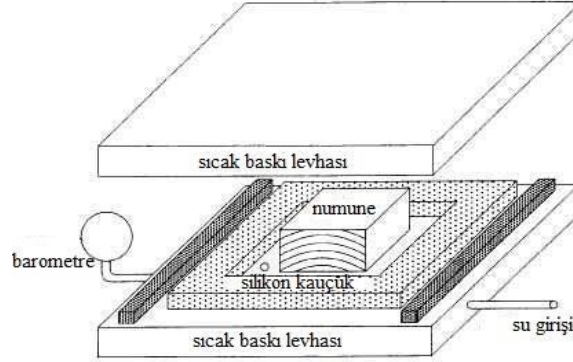
Sıkıştırılmış masif ahşap ilk kez, 1930’lu yılların başlarında ticari ismi “Lignoston” olarak Almanya’da piyasaya sunulmuştur. Ayrıca ahşap kaplamaların sıkıştırılması ile elde edilen ve ticari ismi “Lignofol” olan ürün üretilmiştir. Aynı yıllarda İngiltere’de Jicwood ve Jablo tarafından benzer ürünler (plywood) üretilmiştir. Ağaç malzemenin yoğunlaştırması ile ilgili diğer önemli iki yöntem ise, ABD’de Orman Ürünleri Laboratuvarında geliştirilen “Compreg” ve “Staypak” ticari isimlerindeki ürünlerdir (Pelit, 2014).

Reçine emdirilmeden yoğunlaştırılmış ağaç malzemeler neme maruz kalacağı veya su ile temasının olabileceği yerlerde geri esneme (spring-back) özelliğinden dolayı ciddi problemler oluşturabilmektedir (Şekil 2.1). Reçine emdirilmeden yapılan yoğunlaştırmada ölçüsel stabiliteyi sağlamak için çeşitli çalışmalar denenmiş ve bazıları oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Bu çalışmalar; Termo-Higro-Mekanik (THM) yoğunlaştırma, Viskoelastik-Termal-Sıkıştırma (VTC) ile yoğunlaştırma ve ısıl işlem ile kombine edilmiş Termo-Mekanik (TM) yoğunlaştırmadır (Pelit, 2014).



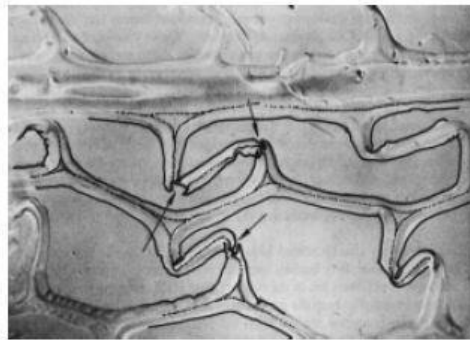
Şekil 2.1. Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemenin neme maruz kalması sonucu meydana gelen geri esneme (Pelit, 2014).

THM yoğunlaştırma, 1997'den beri bilinen bir yöntem olup, kapalı bir sistemde sıcaklık, buhar ve basıncın etkisi altındaki ahşabın yoğunlaştırılmasıdır (Navi vd., 1997). Bu yöntemde kullanılan kapalı sistem bir presin şematik görünümü Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. THM yönteminde kullanılan kapalı sistem bir presin şematik görünümü (Pelit, 2014).

THM sürecinde ağaç malzemeler, 150 °C sıcaklıkta doymuş buhar altında yoğunlaştırılır. Yoğunlaştırma kapalı bir sistemde yapıldığı için sıkıştırma işlemi boyunca doymuş buhar kullanımı kontrol edilebilir. Bu işlem sırasında uygulanan maksimum basınç kuvveti yaklaşık 130 kg/cm² dir. Kullanılan higro-termal haznesinin özelliklerinden dolayı, ağaç malzemenin ısıtılması doğrudan basınçlı buhar ile yapılır. Bu yöntem ile yoğunlaştırılmış ağaç malzemeler daha stabil ve daha az higroskopiktir. Mikroskopik gözlemlerde, TM yöntemle yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde hücre kırılmalarının olduğu (Şekil 2.3) ancak hücrelerin tamamen deforme olmadığı ve lümenlerin açık kaldığı görülmektedir. THM yoğunlaştırmada ise hücre kırılmaları-çatlamaları yaşanmamaktadır (Kutnar ve Šernek, 2007; Navi ve Girardet, 2000; Pelit, 2014).



Şekil 2.3. TM yoğunlaştırmada ahşabın hücre çeperinde meydana gelen deformasyon (Kultikova, 1999).

VTC yoğunlaştırma, mekaniksel olarak sıkıştırılmış ahşabın yoğunluğunu %100 - %300 arasında arttırmak için yapılan çalışmalardır. VTC yoğunlaştırma süreci ahşap yumuşatma, sıkıştırma ve son olarak ısıtma-kondüsyonlama aşamalarından oluşur (Pelit, 2014).

VTC işleminde önemli olan nokta, yüksek basınçlı bir buhar ortamında ahşabın yumuşatılmasıdır. Ön yumuşatma işlemiyle, aşırı yük altındaki ahşabın hücre kırılmaları önlenmektedir. Sıkıştırmadan sonra ısıtma işlemi (ısıtma ve kondüsyonlama) uygulaması ile ölçüsel olarak kalıcı sabitleme sağlanmaktadır. Yoğunlaştırması yapılan bu ürün viskoelastik termal sıkıştırılmış ahşap (VTC ahşap) olarak adlandırılmaktadır. VTC yapılacak ahşabın rutubeti lif doygunluğu noktasından daha yüksek olabilir ancak %15 - %30 arasında bir rutubette olması tercih edilir. Yoğunlaştırmada kullanılacak ağaç malzeme kalınlıklarının 3 - 12 mm arasında olması bu yöntem için en uygun ölçülerdir. Bunun nedeni, ince malzemelerin kurummasının (desorpsiyon) daha hızlı ve daha yeknesak bir şekilde gerçekleşmesidir. VTC yoğunlaştırma yönteminde, ahşabın mekanik direnç özellikleri artarken özellikle ölçüsel stabilizasyonu yüksek derecede sağlanmaktadır (Kamke ve Harrison, 2008; Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit, 2014).

Farklı bir yoğunlaştırma yöntemi olan Termo-Vibro-Mekanik (TVM) yoğunlaştırmada, özellikle düşük yoğunluklu ağaç türlerinin direnç özelliklerinin iyileştirilmesi suretiyle, üstün özellikli ağaç malzeme elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntemde ağaç malzemeler, sabit doğrusal bir titreşimle (100 Hz frekans ve 3 mm genlik (amplitude)), farklı sıcaklıklarda, farklı vibrasyon basıncı ve vibrasyon süresinde işlem görmektedir. TVM yoğunlaştırma yöntemi diğer ahşap modifikasyon yöntemlerine alternatif yeni ve çevreci bir yöntem olarak, düşük direnç özelliklerine sahip ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır (Şenol, 2018).

2.5. AĞAÇ MALZEME

2.5.1. Doğu Ladini (*Picea orientalis*)

Kuzey yarım kürenin ılıman ve soğuk muntıklarında yayılan ladinlerin çoğu Doğu Asya'da (Çin ve Japonya) olmak üzere, Kuzey Amerika, Kuzey ve Orta Asya ile Avrupa'da 40 kadar türü, çeşitli varyate ve formları mevcuttur (Kayacık, H., 1967). Pinaceae familyası üyesi olan *Picea* cinsinin ülkemizdeki tek türü *Picea Orientalis*'tir. Gövde düzgün, ağaç boyu 40-50 m, çap ise 1,5-2,0 m'ye kadar çıkabilmektedir.

Kullanılabilir gövde uzunluğu 20 m'ye kadardır (Erdin ve Bozkurt, 2013).



Şekil 2.4. Doğu ladini (*Picea orientalis*).

Doğu ladininin yayılışı yereldir. Türkiye'nin kuzeydoğusundan Karadeniz'e dökülen Melet suyundan başlar ve doğuya doğru ülkemiz sınırlarını aşarak büyük ve küçük kafkas dağlarına kadar uzanır (Demirci, 1991; Kayacık, 1952). İlk yaşlarda büyümesi çok yavaştır. Ancak 8-10 yaşlarından sonra büyüme hızlanmakta, uzun yıllar sürmektedir. Kök sistemi genelde sıgıdır, ancak fiziksel özellikleri iyi olan topraklarda kuvvetli yan kökler ve derine inebilen ana kök sistemi oluşturabilmektedir. Doğu Ladini rutubeti seven bir türdür. Yıllık yağış ve rutubetin yüksek olduğu bölgede dağların Karadeniz etkisindeki ve nispi nemi yüksek kuzeybatı ve kuzey yamaçlarında daha iyi gelişmektedir (Anşin ve Özkan, 1993).

2.5.1.1. Makroskopik özellikler

Diri odun ve öz odun renk bakımından farklı değil, odunu "olgun odun" özelliğinde olup, sarımsı beyaz renkte ve boyuna kesitlerde ipek gibi parlaktır. Yıllık halka sınırları çok belirgin, yaz odunu kırmızımsı sarı renkte, radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturur. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaştır. Reçine kanalları vardır ve enine kesitte genellikle yaz odunu tabakasında açık renkte noktacıklar halinde, radyal kesitte ise ince, fazla belirgin olmayan boyuna çizikler halinde görülürler. Reçinesi sarı ile kahverengindedir. Öz ışınları çok incedir. Çıplak gözle görülmez. Tam radyal kesilmiş yüzeylerde mat bantlar halinde fark edilebilir. Boyuna paransimleri yoktur. Odunu yumuşak ve orta ağırlıktadır. Makroskopik yapı bakımından göknar'a benzerlik göstermektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

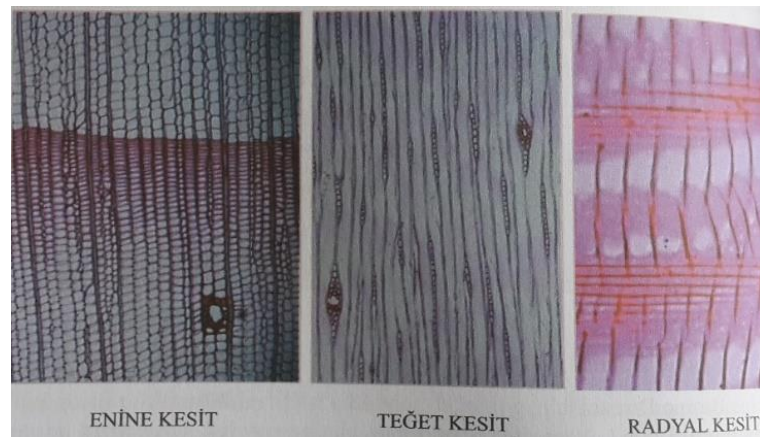
2.5.1.2. Mikroskopik özellikler

Yıllık halka sınırları belirgin, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaştır. Yaz odunu traheidlerinin çeperleri kalın ve radyal çapları küçüktür. İlkbahar odunu traheidleri ince çeperli ve geniş lümenlidir. Traheidlerin teğet çapları 20-40 µm, uzunlukları 1300-1400 µm'dir. Boyuna reçine kanalları genellikle yaz odunu içerisinde bulunur ve epitel hücreleri kalın çeperlidir. İlkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerindeki geçitler tek sıralı olmakla beraber, sadece çok geniş traheidlerdeki iki sıralı geçitlere yer yer rastlanmaktadır. Boyuna parانشim hücreleri bulunmaz.

Öz ışınları tek sıralıdır. Reçine kanalı bulunan iğimsi öz ışınlarının orta kısımları çok sıralıdır. Öz ışınlarında, hücre sayısı yükseklik bakımından nadiren 20 adetten fazladır. Çoğunlukla 3-11 hücre yüksekliğinde ve heterojen (heteroselüler) yapıdadır. Öz ışınlarının alt ve üst kenarlarında bir veya iki sıra halinde, bazen öz ışının gövde kısmında yer alan öz ışını traheidleri bulunur. Öz ışını parانشimleri ise kalın çeperli ve uç çeperleri düğümlü olup, çok sayıda geçitlere sahiptir. Karşılama yeri geçitleri 1-7 adet, ilkbahar odununda çoğunlukla 4 adet ve piceoid tiptedir.

Boyuna reçine kanalları çoğunlukla yaz odununda, nispeten az sayıda ve tek tek, çapları çamların reçine kanallarından daha küçük, epitel hücreleri kalın çeperlidir. Enine reçine kanalları genellikle iğimsi öz ışınlarının ortasında yer almaktadır.

Ladinde mikroskobik yapı, meleze çok benzemekte, ancak meleзде ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş hızlı olup, ilkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerinde iki sıralı kenarlı geçitlere çok rastlanmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013).



Şekil 2.5. Doğu ladini odununun mikroskobik görünümü (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.1.3. Fiziksel ve mekanik özellikler

Doğu ladini odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Doğu ladini odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Erdin ve Bozkurt 2013).

Özellik	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	D _o	0,43	g/cm ³
	D ₁₂	0,47	g/cm ³
Daralma yüzdesi	β _r	3,6	%
	β _t	7,8	%
	β _v	11,9	%
Elastikiyet modülü	E-Mod	110000	N/mm ²
Eğilme direnci	σ _e	76	N/mm ²
Basınç direnci	σ _b //	49	N/mm ²
Çekme direnci	σ _ç //	88	N/mm ²
Dinamik Eğilme direnci	a	0,45	kN/cm

2.5.1.4. Kurutma ve işlenme özellikleri

İyi kurutulur, çatlamaya ve dönüklüğe eğilimi azdır. İyi işlenir, soyulabilir, kesilebilir. İyi yapıştırılır. Cilalanması güçtür. Asit ve bazlara karşı dirençlidir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.1.5. Dayanıklılık ve empenye edilebilme özelliği

Mantar ve böceklerle karşı hassastır. Kuru halde güç empenye edilir. Taze halde suda çözünen tuzlarla yeterli derecede empenye edilebilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.1.6. Kullanış yerleri

Binalarda yapı malzemesi ve merdiven olarak, gemi yapımında, gemi direği, maden direği, mekanik ve kimyasal odun hamuru, ambalaj talaşı, radyal kesilmiş kaplama levha, yonga levha ve lif levha yapımında, dar yıllık halkalı kusursuz kısımlar müzik aletlerinde (özellikle keman ve piyanolarda) rezonans tablası olarak kullanılmakta, kabuklarından sepi maddesi elde edilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.2. Kara kavak (*Populus nigra*)

Salicaceae familyası türlerinden *Populus nigra*, ülkemizde *Populus alba* L. (Akkavak), *P. tremula* L. (Titrek kavak) ve *P. euphratica* Oliv. (Tuzcul kavak) ile birlikte doğal olarak yetişmekte, *P. euroamericana* Guinier türü ise geniş çapta suni olarak yetiştirilmektedir. Kavaklar hızlı büyüyen ağaç türleridir. 30 m’ye kadar boy, 1 m’ye kadar çap yapabilmekte, kullanılabilir gövde uzunluğu 15 m’ye kadar çıkmaktadır (Erdin ve

Bozkurt, 2013).



Şekil 2.6. Kara kavak (*Populus nigra*) ağacı ve gövdesi.

2.5.2.1. Makroskopik özellikler :

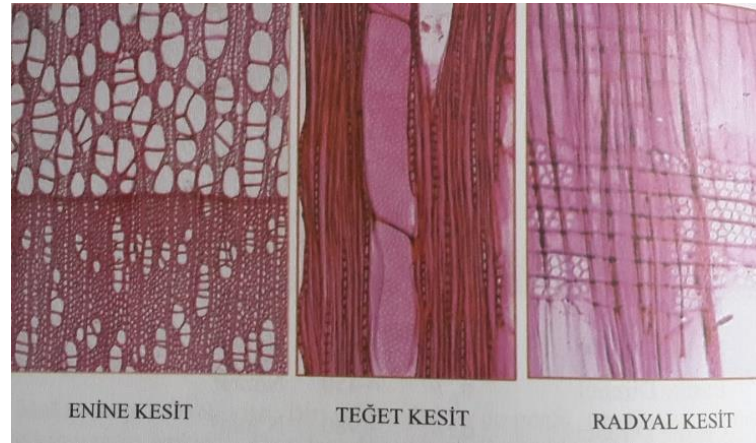
Diri odunu beyazımsı gri ile sarımsı beyaz renkte, öz odunu açık kahverengi, gri kahverengi veya açık yeşilimsi kahverengindedir. Kuruduğunda sararma olur. Yıllık halkalar çok geniş, yaz odun tabakası dardır. Dağınık traheli, yaz odununda destek hücrelerinin yoğun oluşu nedeniyle yıllık halka sınırları belirgin, traheler küçük, çok sayıda ve ancak lup altında görülebilir. Boynuna kesitleri ince iğne çiziklidir. Öz ışınları radyal kesitte lup altında çok küçük aynacıklar şeklinde görülebilir. Beyaz öz lekelerine rastlanabilir. Tekstür ince ve yeknasak, lifler düzgün, radyal yüzeyleri ipek gibi parlak, odunu dekoratif olmamakla beraber, yumuşak ve hafiftir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.2.2. Mikroskopik özellikler :

Dağınık traheli, yıllık halka içerisinde ilkbahar odunundan yaz odununa doğru trahelerin sayısında ve çapında yavaş yavaş azalma görülür. Traheler çok sayıda ve mm²'de 100 adet kadar, tek tek, çoğunlukla ilkbahar odununda 2-3 adet, yaz odununda 5-7 adet radyal sıralı, enine kesitleri hafif köşelidir. Teğet çapları 80-100 µm kadar, yaz odununda 50 µm'den daha küçük olup, bazen tüller görülür. Perforasyon tablaları basit tipte, traheler arası geçitler büyük ve çok sayıdadır. Boyuna parانشimler yaz odununda bir hücre genişliğinde apotraheal teğet sıralı ya da yıllık halka sınırında devamlı veya kesikli şeritler halinde az miktarda görülür (Erdin ve Bozkurt, 2013).

Öz ışınlar bir hücre genişliğinde, yükseklikleri çok değişik olup, 3-5 hücre yüksekliğinden 30 hücre yüksekliğe kadar çıkmakta, homojen (homoselüler) yapıda ve mm'deki sayıları enine kesitte 10-12 adettir. Traheler ile öz ışınları arasındaki geçitler büyük ve kenar hücrelerinde görülmektedir. Esas doku büyük çaplı ve ince ya da orta

kalınlıkta çeperlere sahip libriform liflerden oluşmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013).



Şekil 2.7. Karakavak odununun mikroskopik görünümü (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.2.3. Fiziksel ve mekanik özellikleri :

Karakavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Kara kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Erdin ve Bozkurt, 2013).

Özellik	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	D _o	0,41	g/cm ³
	D ₁₂	0,44	g/cm ³
Daralma yüzdesi	β _r	5,2	%
	β _t	8,3	%
	β _v	13,8	%
Elastikiyet modülü	E-Mod	8 630	N/mm ²
Eğilme direnci	σ _e	63	N/mm ²
Basınç direnci	σ _b //	34	N/mm ²
Çekme direnci	σ _ç //	75	N/mm ²
Dinamik eğilme direnci	a	0,49	kN/cm

2.5.2.4. Kurutma ve işlenme özellikleri

Odunu kolay ve çabuk kurutulur. Ancak, dönüklüğe eğilimi vardır. Yoğunluğu düşük olmasına karşın iyi işlenir. Özellikle çekme odunu oluşmuş malzemede biçme ve işlenme güçtür, pürüzlü yüzeyler oluşabilir. İyi yapıştırılır, kesilebilir ve soyulabilir. Renklendirme iyi sonuç vermez, boyanma ve cilalanma özellikleri iyidir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.2.5. Dayanıklılık ve empenye edilebilme özelliği

Odunu dayanıksız, mantar ve böceklerle karşı hassastır. Diri odun kolay, öz odun güç empenye edilebilir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

2.5.2.6. Kullanış yerleri

Soyma levhalardan kontrplak ve kibrit yapılır. Mobilyada iç kısımlarda, model yapımında ambalaj kutu ve sandıkları, palet, protez yapımında, beton traverslerde selat olarak, yonga levha ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır.

Ülkemizde doğal olarak yetişen *Populus alba*'da öz odun kırmızımsı sarı ile sarımsı kahverengindedir. *P. tremula*'da ise koyu renkli bir öz odun bulunmamakta, tamamen “diri odun” karakterindedir. Kavaklar arasında mikroskobik yapı farkı yoktur. Kavak ve söğüt odunları arasında da öz ışınları yapısı dışında önemli bir farklılık görülmemektedir. Söğütte öz ışınları heterojen, kavakta ise homojen yapıdadır (Erdin ve Bozkurt, 2013).



3. LİTERATÜR ÖZETİ

Güney çamı (*Pinus taeda*) ve sarı-kavak (*Liriodendron tulipifera*) odunları farklı sıcaklık (90 °C, 140 °C ve 200 °C) ve bağıl nem (%65, %62 ve %95) koşullarında radyal yönde sıkıştırılarak yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre; tüm yoğunlaştırma koşullarından sonra çekme gerilimi ve elastikiyet modülünde önemli artışların gözlemlendiği ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemlerinde, yoğunlaştırılmış ahşabın hücre çeperinde kırılmaların olduğu tespit edilmiş ve hücre çeperindeki bu değişikliklerin çekme testi sonuçlarını etkilediği bildirilmiştir (Kultikova, 1999).

Kayın (*Fagus sylvatica*) odununun yoğunlaştırma sonrası bazı özelliklerine sıcaklık, buhar basıncı, süre ve rutubet miktarı ile bunların kombinasyonlarının etkisinin araştırıldığı çalışmada, buhar sıcaklığının artması ile elastikiyet modülünün, ölçüsel değişikliklerin, gerilme katsayısının ve ağacın çalışmasından kaynaklanan şekil bozukluklarının önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir. Ağaç malzemedeki iç gerilmelerin ortadan kaldırılması ile malzemede oluşacak geri esnemenin (spring-back) önüne geçilebildiği, malzemedeki geri esnemenin elimine edilmesinde hücre çeperinin higroskopik bileşenlerinin özellikle hemiselülozun termal bozunmasının önemli rol oynadığı ayrıca, %30 sıkıştırma oranı ile sertlikte %50'lik bir artışın sağlanabildiği bildirilmiştir (Morsing, 2000).

Kayın (*Fagus sylvatica*), Norveç ladini (*Picea abies*) ve sahil çamı (*Pinus pinaster*) odunları, 150 °C sıcaklık ve 13 MPa basınç altında üç saat süre ile Termo-Higro-Mekanik (THM) yöntemle yoğunlaştırmaya tabi tutulmuştur. Başlangıç yoğunlukları 0,67 g/cm³, 0,42 g/cm³ ve 0,50 g/cm³ olan sırası ile Kayın, Norveç ladini ve sahil çamının yoğunlaştırma sonrasında yoğunluklarının sırası ile 1,27 g/cm³, 1,30 g/cm³ ve 1,32 g/cm³ olduğunu ve mekanik testler sonucunda THM yöntemle yoğunlaştırılmış örneklerin Brinell sertlik, makaslama direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün kontrol örneklerle ve Termo-Mekanik (TM) yöntemle yoğunlaştırılmış örneklerle göre çok daha yüksek değerlerde olduğu bildirilmiştir (Navi ve Girardet, 2000).

Doğu kayını ve Doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal

özellikleri üzerine ısıtım işlem uygulamasının etkilerinin incelendiği çalışmada; deney örneklerine dört farklı sıcaklık (130  C, 150  C, 180  C ve 200  C) ve üç farklı sürede (2, 6 ve 10 saat) normal atmosferik koşullarda (etüv) ısıtım işlem uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; ısıtım işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisi özellikle boyutsal stabilizasyon bakımından memnun edici bulunduğu, mekanik ve teknolojik özelliklerde genellikle artan sıcaklık ve sreye bağlı olarak düşüşlerin yařandđđ, kimyasal özelliklerde ise ısıtım işleminden en fazla zarar gören hücre çeperi bileşeninin hemiselüloz olduğu bildirilmiştir (Yıldız, 2002).

Ladin odununun mekanik özellikleri, boyutsal stabilitesi ve renk değişimi üzerinde yüksek sıcaklığın etkisinin arařtırıldıđđ çalışmada; farklı bağlı nem koşullarında (%50, %65, %80 ve %95) kondisyonlanmış deney örneklerine, 200  C sıcaklıkta 2, 4, 8, 10 ve 24 saat ve de 100  C ve 150  C sıcaklıkta 24 saat süre ile ısıtım işlem uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ısıtım işlem sonucu mekanik özelliklerde düşüşün gerekleřtiđđ, odunun boyutsal stabilizasyonunun arttıđđ ve odun renginin koyulařtıđđ belirtilmiş ayrıca, yüksek sıcaklıkta muamele edilmiş ağaç malzemenin eğilme direncindeki ortalama düşüşün %44 - %50 civarında olduğu, elastikiyet modülündeki düşüşün ise %4 - %9 oranlarında olduğu bildirilmiştir (Bekhta ve Niemz, 2003).

Sahil amı ve okalıptus odunu örnekleri buharla birlikte otoklav içerisinde 190-210  C sıcaklıklarda ve 2-12 saat süresince ısıyla muamele edildiđđ çalışma sonucunda; ahşap örneklerin su alışverişinde önemli iyileşmelerin meydana geldiđđ, denge rutubet miktarının am'da %46 ve okalıptus'ta %61 oranında dřtđđ, boyutsal stabilizasyonun arttıđđ ve yüzey ıslanabilirliğinin azaldđđ belirlenmiştir. Ayrıca mekanik özelliklerden elastikiyet modülünün çok az etkilendiđđ, eğilme direncinde ise ciddi düşüşlerin gerekleřtiđđ, okalıptus'un ısıtım muameleye verdiđđ tepkinin iğne yapraklı am'a göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Esteves vd., 2007).

Isıtım işlem görmüş göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin arařtırıldıđđ çalışmada; deney örneklerine atmosferik şartlar altında 3 farklı sıcaklık (170  C, 190  C ve 210  C) ve 3 farklı sürede (4 saat, 8 saat ve 12 saat) ısıtım işlem uygulanmıştır. Isıtım işlemin örneklerin denge rutubeti ve renk değişimi gibi fiziksel özellikleri üzerinde etkisinin olumlu olduğu, sıcaklık ve sürenin artmasıyla mekanik ve teknolojik özelliklerde düşüşlerin yařandđđ belirtilmiştir (Aydemir, 2007).

Titrek kavak (*Populus tremuloides* Michx.) odununun yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve en uygun yoğunlaştırma sürecinin belirlenmesi için yapılan mekanik yoğunlaştırma işleminde; sıkıştırma oranının yüzey sertliği, elastikiyet modülü ve çivi tutma direncini etkileyen en önemli faktör olduğu ve pres sıcaklığı etkisinin çok önemli olmadığı bildirilmiştir. En uygun presleme koşullarının ise 145 °C sıcaklık, %24 sıkıştırma oranı ve pres süresinin de 7 dak. olduğu belirtilmiştir. Bu koşullarda yoğunlaştırılan titrek kavağın sertliğinin, elastikiyet modülünün ve çivi tutma direncinin sırası ile %140, %23 ve %132 artış gösterdiği bildirilmiştir (Lamason ve Gong, 2007).

Norveç ladini örnekleri 140 °C - 200 °C arasında değişen sıcaklıklarda ve 0,5 - 4 saat aralığındaki sürelerde termo-mekanik olarak yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaştırılmış örneklerle daha sonra 180, 200 ve 220 °C sıcaklıklarda 2 ve 4 saat süresince sıcak yağ (OHT) yöntemi ile ısıtım işlem uygulanmıştır. Dış mekan uygulamasında kullanım için uygun yoğunlaştırma ve ısıtım işlem kombinasyonlarını belirlemek amacıyla, boyutsal değişim ve biyolojik direnç özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, boyutsal kararlılık ve geliştirilmiş dayanıklılık açısından yoğunlaştırılmış ve ısıtım işlem görmüş ladin örneklerin, dış ortamda kullanılmasının uygun olduğu bildirilmiştir (Welzbacher vd., 2008).

150 °C ve üzeri sıcaklıklardaki muamelelerde odunun renginin değiştiği, biyolojik direnç ve boyutsal stabilizasyonun iyileştiği belirtilmiştir. Ayrıca odunun mekaniksel özelliklerinde kayıplar olduğu ve odunun kimyasal yapısının değiştiği bunda ısıtım işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanım yerlerini kısıtladığı ifade edilmiştir (Aydemir ve Gündüz, 2009).

Sarıçam odununun 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat süreyle ısıtım işleme tabi tutulduğu çalışmada; deney örnekleri üzerinde eğilmede elastikiyet modülü (EM), eğilme direnci (ED), basınç direnci (BD), ağırlık kaybı (AK), toplam renk değişimi (ΔE^*) ve hacimsel şişme değerleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre ısıtım işleminden sonra sarıçamın EM ve ED değerlerinin düştüğü, BD değerinin arttığı belirtilmiştir. Isıtım işlemin, sarıçamın renginde koyulaşmaya neden olduğu, hacimsel şişmesinin yaklaşık %50 azaldığı, ısıtım işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça bu özelliklerdeki değişiminde arttığı bildirilmiştir (Özçifçi vd., 2009).

Türkiye’de yetişen çam (*Pinus nigra* Arnold.) ve göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) odunlarından elde edilen deney örneklerine TermoWood yöntemi ile 190 °C ve 212 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile ısıtım işlem uygulanan çalışmada; ısıtım işlem uygulamalarından sonra

her iki ağaç türünde de kopma modülü (MOR), eğilmede elastikiyet modülü (MOE) ve dinamik eğilme direncinin (IBS) açık bir şekilde azaldığı fakat basınç direncinde (CS) küçük bir artışın yaşandığı belirtilmiştir. Isıl işlemde en çok etkilenen mekanik özelliklerin MOR ve IBS olduğu, MOE deki azalmanın MOR ve IBS den daha az olduğu, hacimsel çekme ve şişmenin yaklaşık yarı yarıya azaldığı bildirilmiştir (Şahin Kol, 2010).

Karaçam (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve dişbudak (*Fraxinus exelsior* L.) odunlarına 212 °C’de ThermoWood yöntemine göre ısıl işlem uygulanan çalışmada; ısıl işlemin, ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluk ve tam kuru yoğunluk özelliklerini önemli oranlarda düşürdüğü, hacimsel çekme ve şişme ile su geçirgenlik direncinde önemli derecede direnç artışı olduğu belirtilmiştir. Bu durumun, ağaç malzemenin çarpılma veya burulma özellikleri üzerine de olumlu etkisinin olduğu bildirilmiştir (Altınok vd., 2010).

Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* L.) sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve karakavak (*Populus nigra* L.) odunlarından elde edilmiş lamine ağaç malzemelere ThermoWood yöntemine göre 185 °C ve 212 °C’de 2 saat süre ile ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işleme tabi tutulan örneklerin hava kurusu ve tam kuru yoğunluklarında düşüşlerin meydana geldiği bununla birlikte %40 oranında boyutsal stabilizasyonun sağlandığı belirtilmiştir. Mekanik özelliklerde sıcaklığa bağlı olarak direnç kayıplarının gerçekleştiği, sıcaklık artışı ile bu kayıpların da arttığı, sertlik değerlerinde artan sıcaklığa bağlı olarak düşüşlerin yaşandığı ayrıca yanma testlerinde ısıl işlemli örneklerin kontrol örneklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Perçin, 2012).

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu örnekleri üç farklı sıcaklık (120 °C, 140 °C ve 160 °C) seviyesinde termo-mekanik (TM) yöntemle yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaştırma sürecinden sonra sarıçamın direnç özelliklerinin önemli derecede artış gösterdiği, bu artışların yoğunlaştırma ile ağaç malzemenin boşluk hacmindeki azalmadan ve yük taşıma özelliğine sahip birim hacimdeki hücre çeperi maddesi artışından kaynaklandığı belirtilmiştir. Eğilme, makaslama ve liflere paralel basınç direnci için en uygun sıcaklığın 120 °C, Brinell sertlik değeri için ise 140 °C olduğu belirtilmiş, yoğunlaştırma sonrası eğilme direncinde %42, makaslama direncinde %20, basınç direncinde %47, radyal yöndeki sertlikte %242 ve teğet yöndeki sertlikte %268 artış elde edildiği bildirilmiştir (Ülker vd., 2012).

Titrek kavak (*Populus tremuloides*) odunlarından hazırlanan kaplamaların yoğunlaştırılıp ardından değişik sıcaklık (180 °C, 200 °C ve 220 °C) ve sürelerde (1 saat, 2 saat ve 3

saat) OHT yöntemine göre ısıtıl işlem uygulanan çalışmada; yoğunlaştırılmış kavak kaplamalara uygulanan ısıtıl işlemin Brinell sertlik değerleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu fakat malzemenin higroskopiklik özelliklerini düşürdüğü belirtilmiştir. Sertlik değerlerinin düşmesine rağmen kontrol örneklerinin sertliklerinden hala 2 - 3 kat daha fazla olduğu, eğilme direncinde de benzer sonuçların alındığı ve yoğunlaştırılmış kaplamalara uygulanan ısıtıl işleminden sonra eğilmede elastikiyet modülünün artış gösterdiği bildirilmiştir (Fang vd., 2012).

Sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) ve Doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.) odunu örnekleri, termo-mekanik yöntemle 110 °C ve 150 °C sıcaklıkta ve iki farklı oranda (%20 ve %40) sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ve daha sonra 190 °C, 200 °C ve 210 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. Örneklerin bir kısmına tek ve çift bileşenli su bazlı vernikler uygulanmıştır. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra sıkıştırma oranlarına bağlı olarak; örneklerin hava kurusu yoğunluk, basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve Brinell sertlik değerinde sırası ile %42, %39, %34, %27 ve %78'e kadar artışların olduğu, yüzey sertlik ve parlaklık değerlerinin arttığı, yüzey pürüzlülük değerinin ise azaldığı belirtilmiştir. Isıtıl işlem sonrası örneklerde yoğunluk ve direnç kayıplarının yaşandığı ancak %82 sıkıştırma oranı kazanımı, %73'e kadarda boyutsal kararlılığın sağlandığı ayrıca, ısıtıl işlemli örneklerde verniklerin yüzeye yapışma direncinin daha düşük bulunduğu bildirilmiştir (Pelit, 2014).

Kavak odunu üzerinde 170-210 °C aralığındaki beş farklı sıcaklıkta ısıtıl işlem ve termo mekanik yoğunlaştırma gerçekleştirilmiştir. Modifiye edilmiş odunun 50 °C sıcaklıkta %99 bağıl nem ortamında ve 25 °C sıcaklıkta %65 bağıl nemde olmak üzere iki basamaklı bir yöntem ağaç numunelere uygulanmıştır. Uygulamanın sertlik üzerindeki etkileri, boyutsal kararlılık değişimleri ile birlikte analiz edilmiştir. Sonuç olarak modifiye edilmiş ahşabın sertlik değerlerinin önerilen işlemin ardından azaldığı ancak, ısıtıl işlem sıcaklığının azalması ile sertlik değerlerinin arttığı belirtilmiştir. İyi bir sertlik için, geleneksel şartlandırmada tercih edilen 180 °C'lik optimizasyondan farklı olarak önerilen şartlandırmadaki 200 °C'lik ısıtıl işlemin seçilebileceği belirtilmiştir (Li vd., 2017).

Isıtıl işlemin, yüzey yoğunlaştırma yapılan ladin (*Picea abies* L. Karst) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin belirlendiği çalışmada, örnekler 170, 190, 210 ve 230 °C'de ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. Ardından örneklerde, 150 °C sıcaklıkta üç farklı sıkıştırma oranı ile yüzey yoğunlaştırma yapılmıştır. En yüksek anlık geri esnemenin, en yüksek sıcaklıkta (230 °C) ısıtıl işlem görmüş örneklerde meydana geldiği

ve işlem sıcaklığının düşmesi ile geri esnemenin azaldığı, sıkıştırılmış kalınlıktaki şişmenin ısıtma işlemiyle örneklerde en yüksek değerde olduğu ve ısıtma işlem sıcaklığına bağlı olarak bu değerlerin azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, yüzey yoğunlaştırmasının örneklerde yoğunluk, sertlik, eğilme direnci ve elastikiyet modülünü arttırdığı ancak ön-ısıtma işlemli örneklerde sıcaklıktaki artışa bağlı olarak mekanik direnç değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir (Kariz vd., 2017).

Pavlonya ahşap panellerinin mekanik performansı üzerine yüksek basınç işleminin etkisinin incelendiği çalışmada; 20, 40, 60, 80 ve 100 MPa basınçları altında paneller 30 saniye süre ile yoğunlaştırma işlemine maruz bırakılmıştır. Örneklerin kalınlık, yüzey pürüzlülüğü, sertlik, aşınma direnci ve yoğunlukları belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinin ardından panellerin kalınlık değerlerinin %45,7 ile %60 arasında azaldığı, sertlik değerlerinin ise %84 - %173 arasında iyileştiği belirtilmiştir. Sonuç olarak uygulanan yöntemin Pavlonya gibi hafif yoğunluklu ahşapların özelliklerinin iyileştirilmesi için uygun bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Li vd., 2018).

Uludağ göknarı, ıhlamur ve karakavak odunlarının mekanik özellikleri üzerine termo-mekanik yoğunlaştırma ve ısıtma işlemin etkilerinin incelendiği çalışmada, örnekler 100 °C ve 140 °C’de %25 ve %50 sıkıştırma oranları ile yoğunlaştırılmıştır. Ardından örnekler 185 °C ve 212 °C’de 2 saat süreyle ısıtma son-işlem uygulanmıştır. Yoğunlaştırılmış tüm örneklerde elastikiyet modülü (MOE), eğilme direnci (MOR) ve liflere paralel basınç direnci (CS) değerlerinin sıkıştırma oranı ve yoğunluk artışına bağlı olarak arttığı, en yüksek direnç artışının kavak örneklerde en düşük ise ıhlamur örneklerde bulunduğu belirtilmiştir. Isıtma son-işlem sonrası, işlem sıcaklığındaki artışa bağlı olarak örneklerin mekanik direncinin azaldığı ancak, özellikle %50 sıkıştırma oranında yoğunlaştırılmış ve ısıtma son-işlem görmüş örneklerin direnç değerlerinin (MOR hariç) kontrol örnekler göre daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir (Pelit vd., 2018).

Termo-Vibro-Mekanik (TVM) işlemle yoğunlaştırılmış Uludağ göknarı ve Kara kavak odunu örneklerinin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlendiği çalışmada, örnekler üç farklı sıcaklık (100 °C, 120 °C, 140 °C), üç farklı basınç (0,60 MPa, 1,00 MPa, 1,40 MPa) ve üç farklı sürede (20 sn, 60 sn, 100 sn) TVM yoğunlaştırma işlemi yapılmıştır. Araştırmada TVM yoğunlaştırma işlemi yapılmış örneklerde kontrol örnekler göre; tam kuru yoğunluk değerlerinde %15-%38, parlaklık değerlerinde %175-%1393, eğilme direnci değerlerinde %13-%52, liflere paralel basınç direnci değerlerinde %15-%67, yapışma direnci değerlerinde %5-%247, Brinell sertlik değerlerinde %63-

%150 arasındaki oranlarda artış sağlandığı bildirilmiştir (Şenol, 2018).

Termo-mekanik yöntemle yoğunlaştırılmış Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve titreşim kavak (*Populus tremula* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine su itici maddelerle ön-emprenye işlemlerinin etkisinin belirlendiği çalışmada, ahşap örnekler parafin, bezir yağı ve stiren ile muamele edilmiştir. Ardından örnekler üç farklı sıcaklık (120 °C, 150 °C ve 180 °C) ve iki farklı sıkıştırma oranında (%20 ve %40) yoğunlaştırılmıştır. Stiren ile muamele edilen örneklerde çok daha olumlu sonuçların elde edildiği, emprenye ön işlemleri ve yoğunlaştırılmış örneklerde yoğunluk değerinin %174 oranına kadar artış gösterdiği, emprenye ön işlemleri sayesinde yoğunlaştırılmış örneklerde geri esneme, su alma ve sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranlarının sırası ile %81, %90 ve %91'e kadar azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, emprenye ve yoğunlaştırma modifikasyonu yapılmış örneklerin mekanik direnç özelliklerinde %93 ve sertlik değerinde ise %636'ya kadar çok önemli artışların sağlandığı bildirilmiştir (Emiroğlu, 2018).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. MALZEME

4.1.1. Ağaç Malzeme

Bu tez çalışmasında, iğne yapraklı ağaçlardan Doğu ladini (*Picea Orientalis*), geniş yapraklı ağaçlardan karakavak (*Populus nigra* L.) odunu kullanılmıştır. Ağaç türlerinin tercihinde, mobilya ve dekorasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ağaç türlerine göre daha düşük yoğunluk değerlerine sahip olmaları etkili olmuştur. Doğu ladini ve karakavak ağaçları, İstanbul ilinde bulunan iki ayrı kereste işletmesinden tomruk şeklinde temin edilmiştir. Tomrukların büyüme kusuru içermemesine, çürüksüz ve sağlam olmasına dikkat edilmiştir.

4.1.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Tomruklar, TS 2470'de belirtilen esaslara göre yıllık halka konumları dikkate alınarak diri odun kısımlarından latalar halinde kesilmiştir (TS 2470, 1976). Daha sonra bu latalar doğal kurutmaya tabi tutularak yaklaşık %12 rutubet miktarına kadar kurutulmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Tomrukların biçilmesi ve lataların istifte kurutulması.

Kurutulan latalar ısıtıl işlem öncesinde, yoğunlaştırılacak örneklerin taslak ölçülerinden %10-15 toleransla kaba ölçülerde kesilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Isıl işlem öncesi kaba ölçülerde kesilmiş örnekler.

4.1.3. Deney örneklerine ısıt işlem uygulanması

Isıl işlem uygulaması, normal atmosferik basınç altında ve içinde hava sirkülasyonu olmayan laboratuvar tipi bir etüv cihazında gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın, ağaç malzemelere homojen-dengeli bir şekilde etki etmesini sağlayabilmek için deney örnekleri istif çitaları kullanılarak düzgün bir şekilde istiflenmiş ve cihaza yerleştirilmiştir (Şekil 4.3). Cihaza yerleştirilen örnekler ilk olarak 103 ± 2 °C sıcaklıkta tam kuru hale gelinceye kadar (yaklaşık 30-36 saat arasında) bekletilmiştir. Ardından örnekler, belirlenen sıcaklıklarda (140 °C, 160 °C, 180 °C ve 200 °C) 7 saat ve 9 saat için ayrı ayrı ısıt işleme tabi tutulmuştur. Bu sürelerin sonunda cihaz kapağı açılmadan örneklerin oda sıcaklığına kadar soğumaları beklenmiştir. Her bir grup için ısıt işlem süresi toplamda 40-47 saat arasında sürmüştür.



Şekil 4.3. Örneklerin etüv cihazına yerleştirilmesi.

Isıl işlem uygulamasından sonra, deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 3$ bağıl nem

koşullarına ayarlanmış iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir (TS 2471, 1976). Daha sonra örnekler, yoğunlaştırma işlemlerinden önce sıkıştırma oranları dikkate alınarak Çizelge 4.1’de gösterilen taslak ölçülerde yeterli miktarda kesilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney örneklerinin sıkıştırma öncesi ölçüleri.

Sıkıştırma oranı	Ölçüler (mm)		
	Genişlik (teğet yön)	Kalınlık (radyal yön)	Uzunluk (lifler yönü)
Kontrol	20	20	320
%20	20	25	320
%40	20	33,3	320

4.1.4. Deney örneklerinin yoğunlaştırılması

Deney örnekleri, açık sistemde termo-mekanik (TM) yöntemle sıkıştırılarak yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaştırma işlemleri, tabla ebatları 60×60 cm² olan sıcaklık ve basınç kontrolü yapılabilen hidrolik test presi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4).



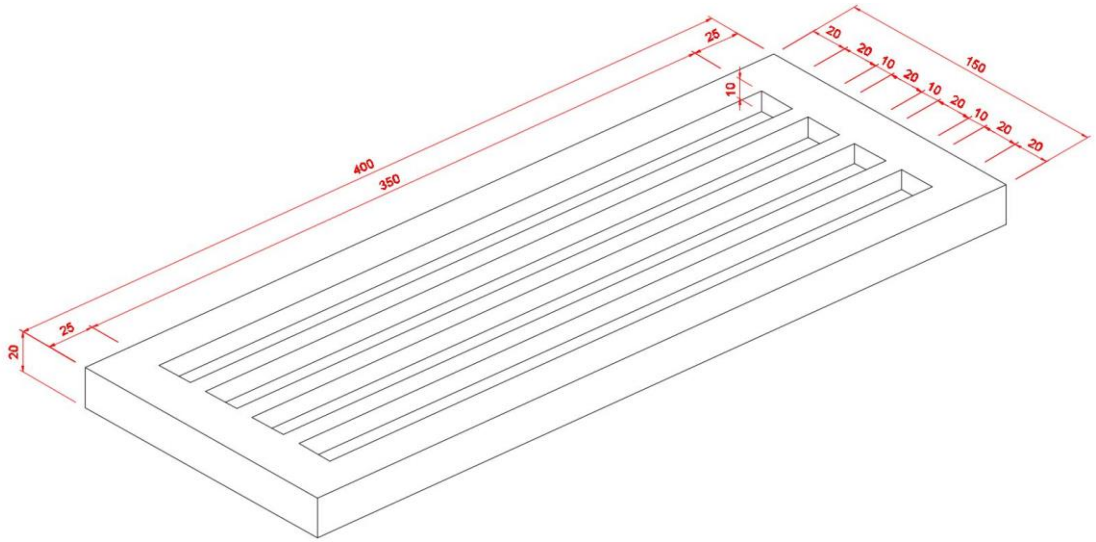
Şekil 4.4. Yoğunlaştırma işlemlerinde kullanılan test presi.

Yoğunlaştırma işlemi 150±5 °C sıcaklıkta %20 ve %40 sıkıştırma oranında iki farklı varyasyon oluşturularak yapılmıştır. Yoğunlaştırma koşulları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Yoğunlaştırma koşulları.

Yoğunlaştırma		
Sıkıştırma sıcaklığı	Sıkıştırma oranı	Süre
150 °C	%20	20 dk. ısıtma + 10 dk. basınç
	%40	

Örneklerin yoğunlaştırılmasında ısıtma işlemi için özel olarak üretilmiş metal kalıplardan yararlanılmıştır. Eşdeğer boyutlarda altı adet üretilmiş olan bu kalıplardan birine ait ölçüler Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Metal kalıplardan birine ait ölçüler.

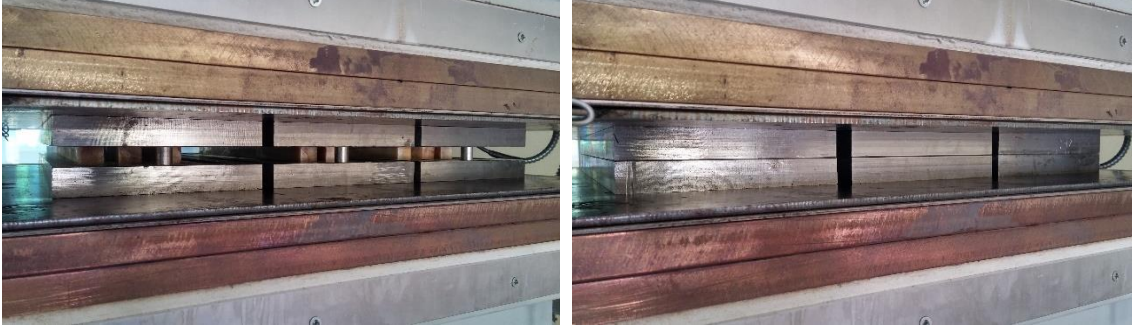
Deney örnekleri metal kalıplara açılmış olan kanalların içerisine oturtularak yoğunlaştırmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Metal kalıplar ve örneklerin yerleşimi.

Örneklerin yerleştirildiği metal kalıplar, ısıtılmış olan alt ve üst pres tablasına temas edecek şekilde konumlandırılmıştır. Hafif bir basınç uygulanarak bu pozisyonda 20 dk süre ile örneklerin ön ısıtma işlemi yapılmıştır. Daha sonra 60 mm/dk yükleme hızı ile

örneklerin radyal yönde sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Örneklerde hedeflenen sıkıştırma kalınlığını (20 mm) elde edebilmek için metal kalıplar birbirine temas edinceye kadar yükün uygulanmasına devam edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Örneklerin kalıp yardımıyla yoğunlaştırılması.

Yoğunlaştırılan örnekler 10 dk. süre ile basınç altında tutulmuş ve bu sürenin sonunda kalıplarla birlikte presten alınarak, geri esneme etkisini en aza indirmek amacı ile ortalama 5 kg/cm²'lik basınç altında oda sıcaklığına kadar soğumaları sağlanmıştır (Şekil 4.8). Daha sonra örnekler metal kalıplar arasından çıkartılarak TS 2471'e göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında sabit ağırlığa ulaşincaya kadar bekletilmiştir (TS 2471, 1976).



Şekil 4.8. Örneklerin basınç altında soğutulması.

4.1.5. Deney Örneklerinin Ölçülendirilmesi

Isıl işlem ve yoğunlaştırma modifikasyonu yapılan deney örnekleri, çalışma kapsamındaki testler gereğince ilgili standartlar dikkate alınarak ölçülendirilmiştir. Uygulanacak testlere göre örnek ölçüleri ve örnek sayıları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çalışmada uygulanacak testlere göre örnek ölçüleri ve sayıları.

Testler	Deney örneği ölçüleri (mm)			Deney örneği sayısı
	Uzunluk (boyuna yön)	Genişlik (teğet yön)	Kalınlık (radyal yön)	
Geri esneme oranı	30	20	h*	360
Hava kurusu yoğunluk	30	20	20	540
Su alma oranı	30	20	20	540
Sıkıştırma yönü şişme oranı	30	20	20	540
Statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü	320	20	20	540
Liflere paralel basınç direnci	30	20	20	540
Radyal ve teğet yönde Brinell sertlik	60	20	20	540

h*: 20 mm + geri esneme ölçüsü

Fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerin belirlenmesinde, her bir test koşulu için 10 tekrarlı ($n=10$) olarak ve Çizelge 4.3’de belirtilen sayılarda deney örneği hazırlanmıştır. Testlerden önce deney örnekleri, 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65\pm 3$ bağıl nem koşullarında sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilerek kondisyonlanmıştır.

4.2. YÖNTEM

4.2.1. Geri Esneme Oranının Belirlenmesi

Yoğunlaştırma aşamasında deney örneklerinin basınç altındaki kalınlığı ile yoğunlaştırma sonrası 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl nem koşullarında iklimlendirilen örneklerin kalınlıkları dijital kumpas ile ölçülerek ($\pm 0,01$ mm hassasiyetinde) belirlenmiş ve örneklerindeki geri esneme oranları (spring-back) Eşitlik 4.1’e göre hesaplanmıştır.

$$GEO = \left(\frac{K_2 - K_1}{K_1} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

GEO : Geri esneme oranı (%)

K_1 : Basınç altındaki kalınlık (mm) (kalıplara açılan kanalların toplam derinliği)

K_2 : Sıkıştırma sonrası hava kurusu rutubetteki kalınlığı (mm) ifade etmektedir.

4.2.2. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi

Örneklerin hava kurusu yoğunluk değerleri TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2472, 1976). Örnekler 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl nem şartlarındaki

iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin ağırlıkları analitik terazide tartılmış, boyutları (uzunluk, genişlik, kalınlık) ise dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlenmiştir. Örneklerin hava kurusu yoğunluk değerleri Eşitlik 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (4.2)$$

Eşitlikte;

δ_{12} : Hava kurusu yoğunluk (g/cm³)

M_{12} : Hava kurusu ağırlık (g)

V_{12} : Hava kurusu hacmi (cm³) ifade etmektedir.



Şekil 4.9. Örneklerin iklimlendirme dolabında kondisyonlanması.

4.2.3. Su Alma ve Sıkıştırma Yönü Şişme Oranının Belirlenmesi

Örneklerin su alma ve sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranları ISO 13061-15 esaslarına uyularak belirlenmiştir (ISO 13061-15, 2017). Deney örnekleri öncelikle 103±2 °C sıcaklıktaki etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Ardından soğuması sağlanan örneklerin ağırlıkları ve kalınlık (radyal) yönündeki ölçüleri ±0,01 hassasiyetinde belirlenmiştir. Daha sonra örnekler, içerisinde 20±2 °C sıcaklıkta destile su bulunan kap içerisine konmuş ve tamamen suya batmaları için üzerlerine tel kafes yerleştirilmiştir (Şekil 4.10). Örneklerin ağırlıkları ve kalınlık yönündeki ölçüleri değişmez hale gelinceye kadar su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla sular bir kağıt havlu yardımı ile alınmış ve örneklerin ağırlıkları ve kalınlık (radyal) yönündeki ölçüleri ±0,01 hassasiyetinde tekrar

belirlenmiştir. Örneklerin su alma oranları (SAO) Eşitlik 4.3'e göre, sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranları (SŞO) ise Eşitlik 4.4'e göre hesaplanmıştır.

$$SAO = \left(\frac{M_R - M_0}{M_0} \right) \times 100 \quad (4.3)$$

$$SŞO = \left(\frac{L_R - L_0}{L_0} \right) \times 100 \quad (4.4)$$

Eşitliklerde;

SAO : Su alma oranı (%)

M_0 : Tam kuru örnek ağırlığı (g)

M_R : Suda bekletme sonrası rutubetli örnek ağırlığı (g)

SŞO : Sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranı (%)

L_0 : Tam kuru haldeki kalınlık (mm)

L_R : Suda bekletme sonrası rutubetli kalınlığı (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.10. Deney örneklerinin su içerisinde bekletilmesi.

4.2.4. Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Örneklerin eğilme direnci TS 2474 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS EN 2474, 1976). Örnekler 20 ± 2 °C sıcaklık ve 65 ± 3 bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiş ve ardından eğilme direnci deneyi yapılmıştır. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri dijital kumpas ile ölçülerek ($\pm 0,01$ mm hassasiyetinde) kaydedilmiştir. Üniversal test cihazının yükleme hızı, örneklerdeki kırılmanın yükleme anından itibaren $1,5 \pm 0,5$ dk içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden kaydedilmiş ve eğilme direnci Eşitlik 4.5'e göre hesaplanmıştır.

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

Eşitlikte;

- σ_e : Eğilme direnci (N/mm²)
 F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)
 L_s : Dayanak açıklığı (mm)
 a : Deney örneğinin genişliği (mm)
 b : Deney örneğinin kalınlığını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.11. Statik eğilme direnci testi.

Örneklerin eğilmede elastikiyet modülü TS 2478 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2478, 1976). Testlerde eğilme direncinin belirlenmesinde kullanılan deney örneklerinden yararlanılmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü, elastikiyet deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (ΔF) için örnekteki eğilme miktarları farkı (Δf) yardımı ile Eşitlik 4.6'ya göre hesaplanmıştır.

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

Eşitlikte;

- Em : Elastikiyet modülü (N/mm²)
 ΔF : Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkı (N)
 L_s : Dayanak açıklığı (mm)
 b : Deney örneğinin genişliği (mm)
 h : Deney örneğinin yüksekliği (mm)
 Δf : Eğilme miktarını (mm) ifade etmektedir.

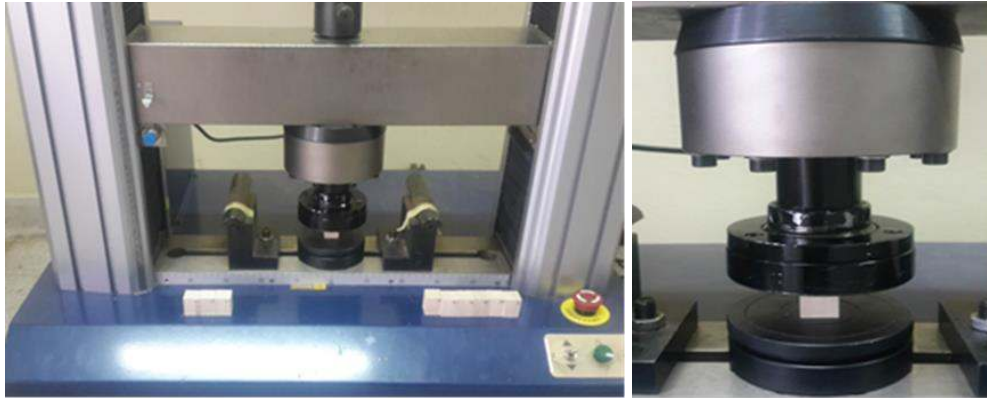
4.2.5. Liflere Paralel Basınç Direncinin Belirlenmesi

Örneklerin liflere paralel basınç direnci ISO 13061-17 esaslarına uyularak belirlenmiştir (ISO 13061-17, 2017). Deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 3$ bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiş ve ardından liflere paralel basınç direnci deneyi yapılmıştır. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri dijital kumpas ile ölçülerek ($\pm 0,01$ mm hassasiyetinde) kaydedilmiştir. Üniversal test cihazının yükleme hızı, örneklerdeki ezilmenin yükleme anından itibaren 1,5-2 dk içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Deney sonunda ezilme anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden kaydedilmiş ve liflere paralel basınç direnci Eşitlik 4.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \quad (4.7)$$

Eşitlikte;

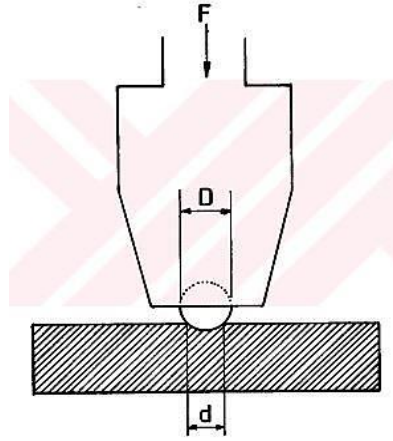
- σ_b : Liflere paralel basınç direnci (N/mm^2)
- F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)
- a : Deney örneğinin genişliği (mm)
- b : Deney örneğinin kalınlığını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.12. Liflere paralel basınç direnci testi.

4.2.6. Brinell Sertliğinin Belirlenmesi

Örneklerin radyal ve teğet yöndeki Brinell sertlik değerleri TS 2479 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2479, 1976). Deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 3$ bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiş ve ardından Brinell sertlik deneyi yapılmıştır. Brinell sertlik testinin prensibi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Brinell sertlik testi prensibi (Söğütlü, 1998).

Kuvvet uygulama kolunun ucunda bulunan 10 mm çapındaki (D) yarım küre (çelik bilye) örnek yüzeyinin ortasına gelecek şekilde ayarlandıktan sonra 30 saniye süreyle yük uygulanmıştır. Yük 15 saniyede sıfıra indirilerek, çelik kürenin örnek yüzeyinde açtığı çukurun çapı (d) $\pm 0,01$ mm hassasiyetindeki dijital kumpas ile büyüteç kullanılarak ölçülmüştür. Brinell sertlik değeri Eşitlik 4.8'e göre hesaplanmıştır.

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4.8)$$

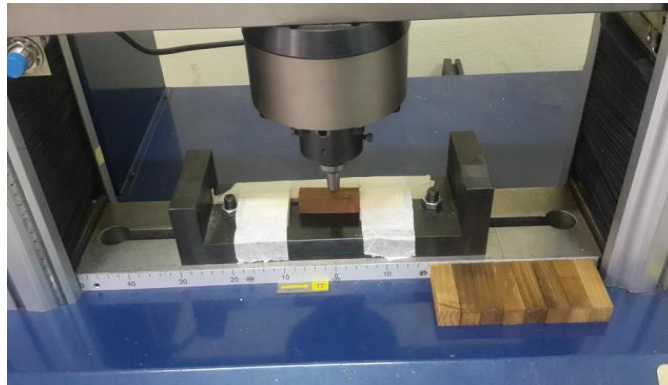
Eşitlikte;

HB : Brinell sertlik değeri (N/mm²)

F : Uygulanan kuvvet (N)

d : Çelik bilyenin deney örneği yüzeyinde açtığı çukurun çapı (mm)

D : Çelik bilyenin çapı (mm) ifade etmektedir.



Şekil 4.14. Brinell sertlik testi.

4.2.7. Verilerin Değerlendirilmesi

Testlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde MSTAT-C istatistik paket programı kullanılmıştır. Ladin ve kavak odunu örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtıl işlem ve yoğunlaştırma modifikasyonlarının etkisini belirlemek amacıyla çoklu varyans analizleri (ANOVA) yapılmıştır. Ağaç türü, ısıtıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerinin kendi içerisindeki ve birbirleri arasındaki fark, Duncan testleri ile en küçük önemli fark (LSD) değerine göre homojenlik gruplarına ayrılarak karşılaştırılmıştır.

5. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ

5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtım işlem uygulandıktan sonra termo-mekanik (TM) yöntemle yoğunlaştırılmış örneklerde; hava kurusu yoğunluk, geri esneme oranı, radyal sıkıştırma yönündeki şişme oranı ve su alma oranına ait fiziksel özellikler bu bölümde incelenmiştir.

5.1.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Isıtım işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Hava kurusu yoğunluk ortalama değerleri (g/cm³).

Isıtım işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	0,382	0,037	0,404	0,010
	20	0,434	0,027	0,472	0,022
	40	0,555	0,075	0,589	0,030
140 °C - 7 saat	Knt2	0,389	0,034	0,406	0,024
	20	0,426	0,026	0,463	0,025
	40	0,530	0,059	0,570	0,029
140 °C - 9 saat	Knt2	0,384	0,039	0,400	0,028
	20	0,438	0,024	0,452	0,019
	40	0,541	0,055	0,573	0,038
160 °C - 7 saat	Knt2	0,377	0,042	0,402	0,021
	20	0,432	0,036	0,461	0,025
	40	0,525	0,074	0,571	0,023
160 °C - 9 saat	Knt2	0,381	0,039	0,403	0,033
	20	0,417	0,048	0,461	0,028
	40	0,516	0,033	0,560	0,030
180 °C - 7 saat	Knt2	0,372	0,036	0,395	0,028
	20	0,417	0,028	0,461	0,029
	40	0,519	0,027	0,556	0,029
180 °C - 9 saat	Knt2	0,359	0,034	0,387	0,018
	20	0,414	0,025	0,456	0,024
	40	0,512	0,063	0,557	0,025
200 °C - 7 saat	Knt2	0,350	0,035	0,380	0,037
	20	0,411	0,029	0,438	0,027
	40	0,495	0,045	0,545	0,025

Çizelge 5.1. (devam). Hava kurusu yoğunluk ortalama değerleri (g/cm³).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
200 °C - 9 saat	Knt2	0,350	0,028	0,375	0,031
	20	0,411	0,041	0,435	0,030
	40	0,492	0,058	0,535	0,036

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.1 incelendiğinde; ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak hava kurusu yoğunluk değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Hava kurusu yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	0,143	0,143	109,9716	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	0,084	0,011	8,0622	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	2	2,318	1,159	888,6793	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	0,003	0,000	0,3065	Ns
Etkileşim (AC)	2	0,007	0,004	2,8678	Ns
Etkileşim (BC)	16	0,011	0,001	0,5121	Ns
Etkileşim (ABC)	16	0,003	0,000	0,1519	Ns
Hata	486	0,634	0,001		
Toplam	539	3,204			

*: 0,05’e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin hava kurusu yoğunluğu üzerinde ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri önemli, bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri ise önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ağaç türü düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	0,438	B
Kavak	0,471	A*
LSD: ± 0,005348		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek yoğunluk değeri

Çizelge 5.3'te göre; hava kurusu yoğunluk değeri kavak örneklerinde yüksek (0,471 g/cm³), ladin örneklerinde daha düşük (0,438 g/cm³) bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Isıl işlem koşulları düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Isıl işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	0,472	A*
140 °C - 7 saat	0,464	AB
140 °C - 9 saat	0,465	AB
160 °C - 7 saat	0,461	AB
160 °C - 9 saat	0,456	BC
180 °C - 7 saat	0,454	BC
180 °C - 9 saat	0,447	CD
200 °C - 7 saat	0,436	DE
200 °C - 9 saat	0,433	E
LSD: $\pm 0,01134$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek yoğunluk değeri

Çizelge 5.4'te göre; en yüksek yoğunluk değeri, Knt1 (ısıl işlemsiz) örneklerde (0,472 g/cm³), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (0,433 g/cm³) elde edilmiştir.

Çizelge 5.5. Sıkıştırma oranı düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
Knt2	0,383	C
20	0,439	B
40	0,541	A*
LSD: $\pm 0,006550$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek yoğunluk değeri

Çizelge 5.5'te göre; en yüksek yoğunluk değeri, %40 sıkıştırılan örneklerde (0,541 g/cm³), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (0,383 g/cm³) elde edilmiştir.

5.1.2. Geri Esneme Oranı

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış örneklerin geri esneme oranı değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Geri esneme oranı ortalama değerleri (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	20	6,55	0,84	7,31	0,46
	40	10,16	1,08	13,23	1,72
140 °C - 7 saat	20	6,46	0,78	7,22	0,50
	40	11,24	1,07	14,64	1,63
140 °C - 9 saat	20	5,85	0,59	7,87	0,46
	40	10,69	0,87	14,49	1,26
160 °C - 7 saat	20	6,67	0,67	7,11	0,93
	40	11,21	0,98	14,31	1,39
160 °C - 9 saat	20	6,50	0,43	7,62	0,54
	40	10,79	1,12	13,89	1,73
180 °C - 7 saat	20	6,41	0,41	6,60	0,65
	40	10,37	1,00	12,31	1,29
180 °C - 9 saat	20	6,06	0,49	5,83	0,71
	40	10,39	0,64	11,99	0,88
200 °C - 7 saat	20	6,14	0,42	5,32	0,46
	40	9,91	0,95	10,14	0,85
200 °C - 9 saat	20	5,88	0,34	5,05	0,40
	40	10,02	1,01	9,78	0,56

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz

Çizelge 5.6 incelendiğinde; ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak geri esneme oranı değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Geri esneme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	152,386	152,386	180,6797	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	229,614	28,702	34,0308	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	1	2410,360	2410,360	2857,8913	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	107,823	13,478	15,9802	0,0000*
Etkileşim (AC)	1	76,379	76,379	90,5597	0,0000*
Etkileşim (BC)	8	32,703	4,088	4,8468	0,0000*
Etkileşim (ABC)	8	9,288	1,161	1,3765	Ns
Hata	324	273,263	0,843		
Toplam	359	3291,815			

*: 0,05’e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin geri esneme oranları üzerinde ağaç türü-ısıl işlem-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi önemsiz, diğer faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıt işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.8, Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.8. Ağaç türü düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	8,40	B
Kavak	9,71	A*
LSD: $\pm 0,1904$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek geri esneme oranı

Çizelge 5.8’e göre; geri esneme oranı kavak örneklerinde yüksek (%9,71), ladin örneklerinde daha düşük (%8,40) bulunmuştur.

Çizelge 5.9. Isıt işlem koşulları düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıt işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	9,31	BC
140 °C - 7 saat	9,89	A*
140 °C - 9 saat	9,72	A*
160 °C - 7 saat	9,82	A*
160 °C - 9 saat	9,70	AB
180 °C - 7 saat	8,92	CD
180 °C - 9 saat	8,57	D
200 °C - 7 saat	7,88	E
200 °C - 9 saat	7,68	E
LSD: $\pm 0,4039$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıt işlemsiz, *: En yüksek geri esneme oranı

Çizelge 5.9’a göre; en yüksek geri esneme oranı, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 140 °C’de 7 ve 9 saat ısıt işlem uygulanmış örnekler ile 160 °C’de 7 saat ısıt işlem uygulanmış örneklerde (%9,89, %9,72 ve 9,82), en düşük ise 200 °C’de 7 ve 9 saat ısıt işlem uygulanmış örneklerde (%7,88 ve %7,68) elde edilmiştir.

Çizelge 5.10. Sıkıştırma oranı düzeyinde geri esneme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
20	6,47	B
40	11,64	A*
LSD: $\pm 0,1904$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek geri esneme oranı

Çizelge 5.10'a göre; geri esneme oranı %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde yüksek (%11,64), %20 oranında sıkıştırılmış örneklerde daha düşük (%6,47) bulunmuştur.

Ağaç türü-ısıl işlem ikili etkileşimi düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Ağaç türü-ısıl işlem ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıl işlem	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	8,35	E-G	10,27	B
140 °C - 7 saat	8,85	DE	10,93	A*
140 °C - 9 saat	8,27	F-H	11,18	A*
160 °C - 7 saat	8,94	CD	10,71	AB
160 °C - 9 saat	8,64	D-F	10,75	AB
180 °C - 7 saat	8,39	D-G	9,45	C
180 °C - 9 saat	8,22	F-H	8,91	C-E
200 °C - 7 saat	8,02	GH	7,73	HI
200 °C - 9 saat	7,95	G-I	7,41	I
LSD: $\pm 0,5712$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek geri esneme oranı

Çizelge 5.11'e göre; en yüksek geri esneme oranı değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 140 °C'de 7 ve 9 saat ısıl işlem uygulanmış kavak örneklerde (%10,93 ve %11,18), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış kavak örneklerde (%7,41) elde edilmiştir.

Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Ağaç türü- sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
20	6,28	D	6,66	C
40	10,53	B	12,75	A*
LSD: $\pm 0,2693$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek geri esneme oranı

Çizelge 5.12'ye göre; en yüksek geri esneme oranı değeri, %40 oranında sıkıştırılmış

kavak örneklerde (%12,75), en düşük ise %20 oranında sıkıştırılmış ladin örneklerde (%6,28) elde edilmiştir.

Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13. Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı			
	%20		%40	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	6,93	E	11,70	C
140 °C - 7 saat	6,83	E	12,94	A*
140 °C - 9 saat	6,86	E	12,59	AB
160 °C - 7 saat	6,89	E	12,76	AB
160 °C - 9 saat	7,05	E	12,34	B
180 °C - 7 saat	6,50	EF	11,34	C
180 °C - 9 saat	5,94	FG	11,19	C
200 °C - 7 saat	5,73	G	10,03	D
200 °C - 9 saat	5,46	G	9,90	D
LSD: $\pm 0,5712$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek geri esneme oranı

Çizelge 5.13'e göre; en yüksek geri esneme oranı, 140 °C'de 7 saat ısıtılmış ve %40 sıkıştırılan örneklerde (%12,94), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 200 °C'de 7 ve 9 saat ısıtılmış ve %20 sıkıştırılan örneklerde (%5,73 ve %5,46) elde edilmiştir.

5.1.3. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Sıkıştırma yönü şişme oranı ortalama değerleri (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	5,12	0,75	3,46	0,41
	20	20,14	1,61	19,22	0,86
	40	47,13	2,62	46,69	1,80
140 °C - 7 saat	Knt2	4,49	0,48	3,32	0,39
	20	19,81	1,05	19,27	0,77
	40	46,80	3,12	44,42	1,04

Çizelge 5.14. (devam). Sıkıştırma yönü şişme oranı ortalama değerleri (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
140 °C - 9 saat	Knt2	4,28	0,41	3,11	0,31
	20	19,61	0,85	18,57	0,54
	40	46,73	2,42	44,01	1,22
160 °C - 7 saat	Knt2	4,07	0,44	3,06	0,36
	20	18,74	1,31	16,88	0,90
	40	44,65	2,97	42,47	1,80
160 °C - 9 saat	Knt2	3,93	0,56	2,91	0,30
	20	17,85	1,58	16,39	1,18
	40	43,83	1,74	42,11	0,80
180 °C - 7 saat	Knt2	3,65	0,44	2,74	0,30
	20	17,13	1,28	13,28	2,28
	40	42,38	2,11	35,45	3,36
180 °C - 9 saat	Knt2	3,22	0,50	2,39	0,42
	20	16,66	1,30	12,07	2,00
	40	37,69	2,46	33,70	3,57
200 °C - 7 saat	Knt2	2,87	0,37	1,95	0,27
	20	13,06	0,91	8,02	1,22
	40	30,54	2,97	21,74	3,29
200 °C - 9 saat	Knt2	2,75	0,35	1,83	0,25
	20	12,32	0,84	7,33	0,92
	40	28,47	2,81	18,70	1,70

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.14 incelendiğinde; ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak sıkıştırma yönü şişme oranı değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15. Sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	982,180	982,180	379,8261	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	9010,110	1126,264	435,5458	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	8	116326,894	58163,447	22492,8188	0,0000*
Etkileşim (AB)	2	321,838	40,230	15,5576	0,0000*
Etkileşim (AC)	2	238,681	119,341	46,1511	0,0000*
Etkileşim (BC)	16	5226,322	326,645	126,3194	0,0000*
Etkileşim (ABC)	16	270,419	16,901	6,5360	0,0000*
Hata	486	1256,732	2,586		
Toplam	539	133633,176			

*: 0,05’e göre önemli

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin sıkıştırma yönü şişme oranı üzerinde ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri ile bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli

bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıtma işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.16, Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.16. Ağaç türü düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	20,66	A*
Kavak	17,97	B
LSD: $\pm 0,2719$		

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

Çizelge 5.16’ya göre; şişme oranı değeri ladin örneklerinde yüksek (%20,66), kavak örneklerinde daha düşük (%17,97) bulunmuştur.

Çizelge 5.17. Isıtma işlem koşulları düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıtma işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	23,63	A*
140 °C - 7 saat	23,02	B
140 °C - 9 saat	22,72	B
160 °C - 7 saat	21,64	C
160 °C - 9 saat	21,17	C
180 °C - 7 saat	19,10	D
180 °C - 9 saat	17,62	E
200 °C - 7 saat	13,03	F
200 °C - 9 saat	11,90	G
LSD: $\pm 0,5769$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıtma işlemsiz, *: En yüksek şişme oranı

Çizelge 5.17’ye göre; en yüksek şişme oranı değeri, Knt1 (ısıtma işlemsiz) örneklerde (%23,63), en düşük ise 200 °C’de 9 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerde (%11,90) elde edilmiştir.

Çizelge 5.18. Sıkıştırma oranı düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Sıkıştırma oranı	$\bar{x}$	HG
Knt2	3,29	C
20	15,91	B
40	38,75	A*
LSD: $\pm 0,3331$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek şişme oranı

Çizelge 5.18'e göre; en yüksek şişme oranı değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (%38,75), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (%3,29) elde edilmiştir.

Ağaç türü- ısıtma işlem ikili etkileşimi düzeyinde, şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19. Ağaç türü-ısıtma işlem ikili etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıtma işlemi	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	24,13	A*	23,13	BC
140 °C - 7 saat	23,70	AB	22,34	CD
140 °C - 9 saat	23,54	AB	21,90	D
160 °C - 7 saat	22,48	CD	20,80	E
160 °C - 9 saat	21,87	D	20,47	E
180 °C - 7 saat	21,05	E	17,16	G
180 °C - 9 saat	19,19	F	16,05	H
200 °C - 7 saat	15,49	H	10,57	J
200 °C - 9 saat	14,51	I	9,29	K
LSD: $\pm 0,8158$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıtma işlemleri, *: En yüksek şişme oranı

Çizelge 5.19'a göre; en yüksek şişme oranı değeri, Knt1 (ısıtma işlemleri) ladin örneklerde (%24,13), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıtma işlem uygulanmış kavak örneklerde (%9,29) elde edilmiştir.

Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	3,82	E	2,75	F
20	17,26	C	14,56	D
40	40,91	A*	36,59	B
LSD: $\pm 0,4710$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek şişme oranı

Çizelge 5.20'ye göre; en yüksek şişme oranı değeri, %40 oranında sıkıştırılmış ladin

örneklerde (%40,91), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (%2,75) elde edilmiştir.

Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı					
	Knt2		%20		%40	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	4,29	L	19,68	H	46,91	A*
140 °C - 7 saat	3,90	LM	19,54	H	45,61	B
140 °C - 9 saat	3,69	L-N	19,09	H	45,37	B
160 °C - 7 saat	3,56	L-N	17,81	I	43,56	C
160 °C - 9 saat	3,42	L-N	17,12	I	42,97	C
180 °C - 7 saat	3,20	M-O	15,20	J	38,92	D
180 °C - 9 saat	2,81	NO	14,37	J	35,69	E
200 °C - 7 saat	2,41	O	10,54	K	26,14	F
200 °C - 9 saat	2,29	O	9,83	K	23,59	G
LSD: $\pm 0,9992$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek şişme oranı

Çizelge 5.21’e göre; en yüksek şişme oranı değeri, Knt1 (ısıl işlemsiz) %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (%46,91), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 200 °C’de 7 ve 9 saat ısıl işlem uygulanmış Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (%2,41 ve %2,29) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıl işlem-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi düzeyinde, şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Ağaç türü-ısıl işlem-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	Knt2	5,12	R	3,46	S-V
	20	20,14	K	19,22	K-M
	40	47,13	A*	46,69	A*

Çizelge 5.22. (devam). Ağaç türü-ısıt işlem-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi düzeyinde şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
140 °C - 7 saat	Knt2	4,49	RS	3,32	S-W
	20	19,81	KL	19,27	KL
	40	46,80	A*	44,42	B
140 °C - 9 saat	Knt2	4,28	R-T	3,11	S-X
	20	19,61	KL	18,57	LM
	40	46,73	A*	44,01	B
160 °C - 7 saat	Knt2	4,07	R-U	3,06	T-X
	20	18,74	K-M	16,88	NO
	40	44,65	B	42,47	CD
160 °C - 9 saat	Knt2	3,93	R-U	2,91	T-X
	20	17,85	MN	16,39	O
	40	43,83	BC	42,11	D
180 °C - 7 saat	Knt2	3,65	S-V	2,74	U-X
	20	17,13	NO	13,28	P
	40	42,38	D	35,45	F
180 °C - 9 saat	Knt2	3,22	S-X	2,39	V-X
	20	16,66	NO	12,07	P
	40	37,69	E	33,70	G
200 °C - 7 saat	Knt2	2,87	T-X	1,95	WX
	20	13,06	P	8,02	Q
	40	30,54	H	21,74	J
200 °C - 9 saat	Knt2	2,75	U-X	1,83	X
	20	12,32	P	7,33	Q
	40	28,47	I	18,70	LM
LSD: $\pm 1,413$					

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek şişme oranı

Çizelge 5.22'ye göre; en yüksek şişme oranı değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (ısıt işlemsiz) %40 oranında sıkıştırılmış ladin ve kavak örneklerde, 140 °C'de 7 ve 9 saat ısıt işlem uygulanmış %40 oranında sıkıştırılmış ladin örneklerde (%47,13, %46,69, %46,80 ve %46,73), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıt işlem uygulanmış Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (%1,83) elde edilmiştir.

5.1.4. Su Alma Oranı

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin su alma oranı değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.23'de verilmiştir.

Çizelge 5.23. Su alma oranı ortalama değerleri (%).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	149,7	15,6	151,7	5,8
	20	160,1	10,8	158,3	8,4
	40	173,2	14,9	163,8	14,8
140 °C - 7 saat	Knt2	145,3	16,8	141,1	11,6
	20	164,8	18,3	151,8	10,6
	40	182,8	15,8	161,2	11,1
140 °C - 9 saat	Knt2	142,4	19,4	142,2	8,8
	20	164,3	16,6	151,8	7,1
	40	181,3	16,9	162,8	12,7
160 °C - 7 saat	Knt2	142,7	16,4	144,6	9,1
	20	167,2	17,9	149,3	8,8
	40	185,8	21,7	154,7	8,3
160 °C - 9 saat	Knt2	145,6	14,3	137,2	13,0
	20	165,1	19,2	143,3	8,7
	40	184,7	14,5	156,3	8,5
180 °C - 7 saat	Knt2	137,6	15,6	132,7	14,1
	20	164,3	20,6	138,4	5,9
	40	188,5	20,9	149,6	14,0
180 °C - 9 saat	Knt2	147,8	13,2	133,0	7,6
	20	166,4	8,2	137,6	10,0
	40	179,5	19,1	143,7	11,8
200 °C - 7 saat	Knt2	145,5	14,9	130,1	13,2
	20	160,2	13,3	139,5	6,2
	40	169,6	17,5	143,1	11,7
200 °C - 9 saat	Knt2	142,4	12,1	126,3	16,1
	20	156,9	14,1	135,7	6,7
	40	168,4	12,7	142,5	8,5

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.23 incelendiğinde; ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak su alma oranı değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.24’de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Su alma oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	39090,857	39090,857	208,3055	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	11485,691	1435,711	7,6506	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	2	57246,384	28623,192	152,5259	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	6338,839	792,355	4,2223	0,0001*
Etkileşim (AC)	2	8677,973	4338,986	23,1214	0,0000*
Etkileşim (BC)	16	2765,030	172,814	0,9209	Ns
Etkileşim (ABC)	16	1704,040	106,502	0,5675	Ns

Çizelge 5.24. (devam). Su alma oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Hata	486	91203,333	187,661		
Toplam	539	218512,147			

*: 0,05'e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin su alma oranı üzerinde ısıtma işlemi-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi ile ağaç türü-ısıtma işlemi-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi önemsiz, diğer faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıtma işlemi ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.25, Çizelge 5.26 ve Çizelge 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Ağaç türü düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	162,3	A*
Kavak	145,3	B
LSD: ± 2,317		

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

Çizelge 5.25'e göre; su alma oranı değeri ladin örneklerinde yüksek (%162,3), kavak örneklerinde daha düşük (%145,3) bulunmuştur.

Çizelge 5.26. Isıtma işlemi koşulları düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (%).

Isıtma işlemi	$\bar{x}$	HG
Knt1	159,5	A*
140 °C - 7 saat	157,8	A*
140 °C - 9 saat	157,5	A*
160 °C - 7 saat	157,4	A*
160 °C - 9 saat	155,4	AB
180 °C - 7 saat	151,8	BC
180 °C - 9 saat	151,3	BC
200 °C - 7 saat	148,0	CD
200 °C - 9 saat	145,4	D
LSD: ± 4,914		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıtma işlemleri, *: En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.26'ya göre; en yüksek su alma oranı değeri, aralarındaki fark önemsiz olmakla beraber Knt1 (ısıtma işlemleri), 140 °C'de 7 ve 9 saat ile 160 °C'de 7 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerde (%159,5, %157,8, %157,5 ve %157,4), en düşük ise 200 °C'de 9

saat ısıt işlem uygulanmış örneklerde (%145,4) elde edilmiştir.

Çizelge 5.27. Sıkıştırma oranı düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
Knt2	141,0	C
20	154,2	B
40	166,2	A*
LSD: $\pm 2,837$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.27'ye göre; en yüksek su alma oranı değeri, %40 sıkıştırılan örneklerde (%166,2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (%141,0) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıt işlem ikili etkileşimi düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.28'de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Ağaç türü-ısıt işlem ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Isıt işlem	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	161,0	A-C	157,9	B-E
140 °C - 7 saat	164,3	AB	151,3	E-G
140 °C - 9 saat	162,6	A-C	152,3	D-G
160 °C - 7 saat	165,2	A*	149,6	FG
160 °C - 9 saat	165,1	A*	145,6	GH
180 °C - 7 saat	163,4	AB	140,2	HI
180 °C - 9 saat	164,6	AB	138,1	I
200 °C - 7 saat	158,4	A-D	137,6	I
200 °C - 9 saat	155,9	C-F	134,8	I
LSD: $\pm 6,950$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıt işlemsiz, *: En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.28'e göre; en yüksek su alma oranı değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 160 °C'de 7 ve 9 saat ısıt işlem uygulanmış ladin örneklerde (%165,2 ve %165,1), en düşük ise 180 °C'de 9 saat ile 200 °C'de 7 ve 9 saat ısıt işlem uygulanmış kavak örneklerde (%138,1, %137,6 ve %134,8) elde edilmiştir.

Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.29'da verilmiştir.

Çizelge 5.29. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	144,3	D	137,7	E
20	163,3	B	145,1	D
40	179,3	A*	153,1	C
LSD: $\pm 4,012$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek su alma oranı

Çizelge 5.29'a göre; en yüksek su alma oranı değeri, %40 sıkıştırılmış ladin örneklerde (%179,3), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (%137,7) elde edilmiştir.

5.2. MEKANİK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtma işlem uygulandıktan sonra termo-mekanik (TM) yöntemle yoğunlaştırılmış örneklerde statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve Brinell sertlik (radyal ve teğet yön) ile ilgili mekanik ve teknolojik özellikler bu bölümde incelenmiştir.

5.2.1. Statik Eğilme Direnci

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin eğilme direnci değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.30'da verilmiştir.

Çizelge 5.30. Eğilme direnci ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	56,67	8,69	61,04	4,54
	20	66,44	7,85	78,02	5,42
	40	83,86	11,05	96,10	5,77
140 °C - 7 saat	Knt2	58,03	10,04	64,68	6,65
	20	65,23	9,57	74,18	7,20
	40	79,49	9,73	93,78	7,93
140 °C - 9 saat	Knt2	60,54	11,01	65,70	8,12
	20	66,71	8,81	76,55	3,01
	40	77,77	10,35	89,69	8,68
160 °C - 7 saat	Knt2	58,06	7,50	61,81	3,50
	20	62,27	7,16	74,82	3,94
	40	72,74	9,50	90,76	6,79

Çizelge 5.30. (devam). Eğilme direnci ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
160 °C - 9 saat	Knt2	55,33	9,14	63,25	6,56
	20	59,54	11,02	73,30	4,35
	40	66,47	9,03	87,32	9,02
180 °C - 7 saat	Knt2	50,58	8,24	58,78	6,26
	20	54,33	6,03	68,31	6,43
	40	66,88	8,66	76,38	7,81
180 °C - 9 saat	Knt2	44,58	6,85	53,38	4,72
	20	52,68	8,24	61,34	6,91
	40	67,62	8,41	74,78	5,29
200 °C - 7 saat	Knt2	44,17	5,70	47,13	5,19
	20	49,61	6,14	52,89	5,78
	40	58,08	9,42	63,57	6,50
200 °C - 9 saat	Knt2	39,72	3,92	42,67	5,17
	20	44,14	8,72	48,41	5,25
	40	51,15	8,62	57,74	4,91

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.30 incelendiğinde; ağaç türü, ısıt işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak eğilme direnci değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.31’de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Eğilme direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	10997,098	10997,098	194,2876	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	43785,928	5473,241	96,6967	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	2	38266,144	19133,072	338,0273	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	1232,674	154,084	2,7222	0,0061*
Etkileşim (AC)	2	875,787	437,893	7,7363	0,0005*
Etkileşim (BC)	16	2504,850	156,553	2,7659	0,0003*
Etkileşim (ABC)	16	679,254	42,453	0,7500	Ns
Hata	486	27508,646	56,602		
Toplam	539	125850,380			

*: 0,05’e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin eğilme direnci üzerinde ağaç türü-ısıt işlem-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi önemsiz, diğer faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıt işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları

sırası ile Çizelge 5.32, Çizelge 5.33 ve Çizelge 5.34’de verilmiştir.

Çizelge 5.32. Ağaç türü düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	59,73	B
Kavak	68,76	A*
LSD: $\pm 1,272$		

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

Çizelge 5.32’ye göre; eğilme direnci değeri kavak örneklerinde yüksek (68,76 N/mm²), ladin örneklerinde daha düşük (59,73 N/mm²) bulunmuştur.

Çizelge 5.33. Isıl işlem koşulları düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Isıl işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	73,69	A*
140 °C - 7 saat	72,56	AB
140 °C - 9 saat	72,83	A*
160 °C - 7 saat	70,08	BC
160 °C - 9 saat	67,54	C
180 °C - 7 saat	62,54	D
180 °C - 9 saat	59,06	E
200 °C - 7 saat	52,57	F
200 °C - 9 saat	47,31	G
LSD: $\pm 2,699$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.33’e göre; en yüksek eğilme direnci değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (ısıl işlemsiz) ve 140 °C’de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (73,69 N/mm² ve 72,83 N/mm²), en düşük ise 200 °C’de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (47,31 N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.34. Sıkıştırma oranı düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
Knt2	54,78	C
20	62,71	B
40	75,23	A*
LSD: $\pm 1,558$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.34’e göre; en yüksek eğilme direnci, %40 sıkıştırılmış örneklerde (75,23

N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (54,78 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-ısıtıl işlem ikili etkileşimi düzeyinde, eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.35’de verilmiştir.

Çizelge 5.35. Ağaç türü-ısıtıl işlem ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Isıl işlem	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	68,99	B	78,39	A*
140 °C - 7 saat	67,58	BC	77,55	A*
140 °C - 9 saat	68,34	B	77,31	A*
160 °C - 7 saat	64,36	DC	75,80	A*
160 °C - 9 saat	60,45	EF	74,63	A*
180 °C - 7 saat	57,26	FG	67,82	BC
180 °C - 9 saat	54,96	G	63,17	DE
200 °C - 7 saat	50,62	H	54,53	G
200 °C - 9 saat	45,00	I	49,61	H
LSD: $\pm 3,817$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.35’e göre; en yüksek eğilme direnci değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (ısıtıl işlemsiz) örnekler ile 140 °C ve 160 °C’de 7 ve 9 saat ısıtıl işlem uygulanmış kavak örneklerde (78,39 N/mm², 77,55 N/mm², 77,31 N/mm², 75,80 N/mm² ve 74,63 N/mm²), en düşük ise 200 °C’de 9 saat ısıtıl işlem uygulanmış ladin örneklerde (45,00 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.36’da verilmiştir.

Çizelge 5.36. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	51,96	D	57,60	C
20	57,88	C	67,54	B
40	69,34	B	81,12	A*
LSD: $\pm 2,204$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.36'ya göre; en yüksek eğilme direnci değeri, %40 oranında sıkıştırılmış kavak örneklerde (81,12 N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) ladin örneklerde (51,96 N/mm²) elde edilmiştir.

Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.37'de verilmiştir.

Çizelge 5.37. Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı					
	Knt2		%20		%40	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	58,85	H-K	72,23	DE	89,98	A*
140 °C - 7 saat	61,35	HI	69,71	EF	86,63	AB
140 °C - 9 saat	63,12	GH	71,63	E	83,73	BC
160 °C - 7 saat	59,93	HI	68,55	EF	81,75	C
160 °C - 9 saat	59,29	H-J	66,42	FG	76,90	D
180 °C - 7 saat	54,68	J-L	61,32	HI	71,63	E
180 °C - 9 saat	48,98	MN	57,01	IJK	71,20	E
200 °C - 7 saat	45,65	NO	51,25	LM	60,83	HI
200 °C - 9 saat	41,19	O	46,28	N	54,45	KL
LSD: $\pm 4,675$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek eğilme direnci

Çizelge 5.37'e göre; en yüksek eğilme direnci değeri, Knt1 (ısıl işlemsiz) %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (89,98 N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (41,19 N/mm²) elde edilmiştir.

5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.38'de verilmiştir.

Çizelge 5.38. Eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	6945	936	7088	502
	20	7952	1335	8197	380
	40	10270	1318	10460	575

Çizelge 5.38. (devam). Eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
140 °C - 7 saat	Knt2	7271	1331	7055	607
	20	8285	1041	8295	564
	40	10440	1225	10380	539
140 °C - 9 saat	Knt2	7566	1331	7139	479
	20	8631	1216	8726	226
	40	10540	1170	10580	666
160 °C - 7 saat	Knt2	7413	1017	7242	354
	20	8661	853	8802	330
	40	10420	1526	10680	724
160 °C - 9 saat	Knt2	7697	1448	7432	606
	20	8550	1197	8611	503
	40	10290	1315	10740	662
180 °C - 7 saat	Knt2	7640	783	7286	534
	20	8468	1085	8873	766
	40	9873	1523	10230	630
180 °C - 9 saat	Knt2	7403	1171	7271	757
	20	8604	1551	9118	364
	40	9901	1293	10320	463
200 °C - 7 saat	Knt2	6987	841	6873	643
	20	7867	1463	8286	441
	40	9334	1552	9745	706
200 °C - 9 saat	Knt2	7021	882	6666	561
	20	7876	1389	8102	600
	40	9132	1269	9502	631

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.38 incelendiğinde; ağaç türü, ısı işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.39’da verilmiştir.

Çizelge 5.39. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	1331464,067	1331464,067	1,4247	Ns
Isıl işlem (B)	8	45564047,20	5695505,900	6,0943	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	2	783129156,1	391564578,0	418,9799	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	1981771,067	247721,383	0,2651	Ns
Etkileşim (AC)	2	6493994,433	3246997,217	3,4743	0,0318*
Etkileşim (BC)	16	14914836,28	932177,268	0,9974	Ns
Etkileşim (ABC)	16	1708204,733	106762,796	0,1142	Ns
Hata	486	454199357,4	934566,579		
Toplam	539	1309322831,3			

*: 0,05’e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin eğilmede elastikiyet modülü üzerinde ısı işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri ile ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi önemli diğer faktörler ise önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Isıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.40 ve Çizelge 5.41’de verilmiştir.

Çizelge 5.40. Isıl işlem koşulları düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm^2).

Isıl işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	8485	BC
140 °C - 7 saat	8622	AB
140 °C - 9 saat	8864	A*
160 °C - 7 saat	8869	A*
160 °C - 9 saat	8886	A*
180 °C - 7 saat	8728	AB
180 °C - 9 saat	8770	AB
200 °C - 7 saat	8182	CD
200 °C - 9 saat	8050	D
LSD: $\pm 346,8$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri

Çizelge 5.40’a göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 140 °C’de 9 saat ile 160 °C’de 7 ve 9 saat ısı işlem uygulanmış örneklerde ($8864 N/mm^2$, $8869 N/mm^2$ ve $8886 N/mm^2$), en düşük ise 200 °C’de 9 saat ısı işlem uygulanmış örneklerde ($8050 N/mm^2$) elde edilmiştir.

Çizelge 5.41 Sıkıştırma oranı düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm^2).

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
Knt2	7222	C
20	8439	B
40	10160	A*
LSD: $\pm 200,2$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri

Çizelge 5.41’e göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri, %40 sıkıştırılan örneklerde ($10160 N/mm^2$), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde ($7222 N/mm^2$) elde edilmiştir.

Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.42’de verilmiştir.

Çizelge 5.42. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	7327	C	7117	C
20	8322	B	8557	B
40	10020	A*	10290	A*
LSD: $\pm 283,2$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri

Çizelge 5.42’ye göre; en yüksek elastikiyet modülü değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere %40 oranında sıkıştırılmış ladin ve kavak örneklerinde (10020 N/mm² ve 10290 N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) ladin ve kavak örneklerinde (7327 N/mm² ve 7117 N/mm²) elde edilmiştir.

5.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.43’de verilmiştir.

Çizelge 5.43. Liflere paralel basınç direnci ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	30,14	5,50	32,64	1,30
	20	35,24	5,46	43,50	2,28
	40	44,05	7,81	52,50	3,90
140 °C - 7 saat	Knt2	35,13	6,74	38,78	1,72
	20	38,32	5,41	44,32	2,27
	40	45,74	9,44	51,37	3,55
140 °C - 9 saat	Knt2	36,49	6,04	38,59	2,50
	20	39,23	6,67	44,26	1,71
	40	44,06	8,87	50,99	3,01
160 °C - 7 saat	Knt2	36,98	5,68	37,10	3,43
	20	40,63	7,19	44,83	2,67
	40	45,52	6,74	53,08	2,36
160 °C - 9 saat	Knt2	37,61	6,60	41,14	3,26
	20	40,79	8,55	45,19	2,75
	40	46,75	5,88	53,11	2,97

Çizelge 5.43. (devam). Liflere paralel basınç direnci ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
180 °C - 7 saat	Knt2	38,91	5,49	42,95	3,00
	20	43,45	6,62	46,89	3,08
	40	50,69	8,98	52,65	3,72
180 °C - 9 saat	Knt2	37,85	4,75	41,26	2,06
	20	43,81	6,93	45,98	3,02
	40	49,80	6,76	53,31	2,25
200 °C - 7 saat	Knt2	37,89	5,87	43,03	4,01
	20	42,45	7,26	46,89	3,08
	40	48,55	6,53	50,26	4,68
200 °C - 9 saat	Knt2	37,84	3,14	41,65	4,14
	20	43,25	8,09	45,51	2,80
	40	48,03	9,72	49,47	3,55

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.43 incelendiğinde; ağaç türü, ısıtma işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak liflere paralel basınç direnci değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.44'te verilmiştir.

Çizelge 5.44. Liflere paralel basınç direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	2325,536	2325,536	81,3395	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	1791,068	223,883	7,8307	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	2	11619,598	5809,799	203,2075	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	176,777	22,097	0,7729	Ns
Etkileşim (AC)	2	71,520	35,760	1,2508	Ns
Etkileşim (BC)	16	495,947	30,997	1,0842	Ns
Etkileşim (ABC)	16	341,933	21,371	0,7475	Ns
Hata	486	13894,973	28,590		
Toplam	539	30717,350			

*: 0,05'e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin liflere paralel basınç direnci üzerinde ağaç türü, ısıtma işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri önemli ancak, bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıtma işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, liflere paralel basınç direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.45, Çizelge 5.46 ve Çizelge 5.47'de verilmiştir.

Çizelge 5.45. Ağaç türü düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	41,45	B
Kavak	45,60	A*
LSD: $\pm 0,9042$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek basınç direnci değeri

Çizelge 5.45'e göre; liflere paralel basınç direnci değeri kavak örneklerinde yüksek (45,60 N/mm²), ladin örneklerinde daha düşük (41,45 N/mm²) bulunmuştur.

Çizelge 5.46. Isıl işlem koşulları düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Isıl işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	39,68	D
140 °C - 7 saat	42,28	C
140 °C - 9 saat	42,27	C
160 °C - 7 saat	43,02	BC
160 °C - 9 saat	44,10	A-C
180 °C - 7 saat	45,92	A*
180 °C - 9 saat	45,34	A*
200 °C - 7 saat	44,84	AB
200 °C - 9 saat	44,29	AB
LSD: $\pm 1,918$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek basınç direnci değeri

Çizelge 5.46'ya göre; en yüksek basınç direnci değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 180 °C'de 7 ve 9 saat ısıtılma uygulanmış örneklerde (45,92 N/mm² ve 45,34 N/mm²), en düşük ise Knt1 (ısıtılma işlemsiz) örneklerde (39,68 N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.47. Sıkıştırma oranı düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
Knt2	38,11	C
20	43,03	B
40	49,44	A*
LSD: $\pm 1,107$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek basınç direnci değeri

Çizelge 5.47'ye göre; en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (49,44 N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (38,11 N/mm²) elde edilmiştir.

5.2.4. Brinell Sertlik (Radyal Yön)

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin radyal yöndeki sertlik değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.48’de verilmiştir.

Çizelge 5.48. Radyal yöndeki sertlik ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	15,39	2,34	16,60	2,12
	20	17,75	2,98	20,53	1,97
	40	20,98	2,71	23,97	1,61
140 °C - 7 saat	Knt2	16,48	2,31	18,30	2,45
	20	18,25	2,29	21,49	2,85
	40	21,18	3,19	26,51	1,88
140 °C - 9 saat	Knt2	16,53	2,34	19,10	2,14
	20	18,73	2,37	21,37	2,49
	40	22,17	2,74	26,54	1,90
160 °C - 7 saat	Knt2	16,15	2,74	17,94	2,16
	20	18,10	2,50	19,62	1,75
	40	20,76	2,66	27,82	1,29
160 °C - 9 saat	Knt2	14,92	2,42	17,69	1,83
	20	17,10	3,05	19,24	1,35
	40	20,97	3,82	27,41	2,81
180 °C - 7 saat	Knt2	14,84	2,77	16,90	2,32
	20	16,12	1,99	19,24	2,10
	40	19,78	3,70	24,52	1,77
180 °C - 9 saat	Knt2	12,20	1,53	15,35	1,36
	20	14,91	1,76	18,83	1,94
	40	17,75	3,82	23,05	2,97
200 °C - 7 saat	Knt2	11,80	1,82	14,84	1,88
	20	14,39	1,18	16,89	1,94
	40	17,48	3,14	22,62	1,54
200 °C - 9 saat	Knt2	11,53	1,27	13,71	1,66
	20	13,27	1,81	17,98	1,98
	40	16,90	3,94	22,99	3,72

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.48 incelendiğinde; ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak radyal yöndeki sertlik değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.49’da verilmiştir.

Çizelge 5.49. Radyal yöndeki sertlik değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	1658,829	1658,829	284,3492	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	1510,027	188,753	32,3553	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	2	4332,778	2166,389	0,8553	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	39,915	4,989	371,3529	Ns
Etkileşim (AC)	2	221,196	110,598	18,9583	0,0000*
Etkileşim (BC)	16	69,317	4,332	0,7426	Ns
Etkileşim (ABC)	16	70,092	4,381	0,7509	Ns
Hata	486	2835,214	5,834		
Toplam	539	10737,368			

*: 0,05'e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, radyal yöndeki sertlik üzerinde ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri ile ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi önemli, diğer etkileşimler ise önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, radyal yöndeki sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.50, Çizelge 5.51 ve Çizelge 5.52'de verilmiştir.

Çizelge 5.50. Ağaç türü düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm^2).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	16,90	B
Kavak	20,41	A*
LSD: $\pm 0,4085$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek radyal yön sertlik değeri

Çizelge 5.50'ye göre; radyal yöndeki sertlik değeri kavak örneklerinde yüksek (20,41 N/mm^2), ladin örneklerinde daha düşük (16,90 N/mm^2) bulunmuştur.

Çizelge 5.51. Isıl işlem koşulları düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm^2).

Isıl işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	19,20	CD
140 °C - 7 saat	20,37	AB
140 °C - 9 saat	20,74	A*
160 °C - 7 saat	20,06	A-C
160 °C - 9 saat	19,55	BC
180 °C - 7 saat	18,57	D
180 °C - 9 saat	17,02	E

Çizelge 5.51. (devam). Isıl işlem koşulları düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Isıl işlem	$\bar{x}$	HG
200 °C - 7 saat	16,34	EF
200 °C - 9 saat	16,06	F
LSD: $\pm 0,8665$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek radyal yön sertlik değeri

Çizelge 5.51'e göre; radyal yöndeki en yüksek sertlik değeri 140 °C'de 9 saat ısıtılmış örneklerde (20,74 N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıtılmış örneklerde (16,06 N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.52. Sıkıştırma oranı düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
Knt2	15,57	C
20	17,99	B
40	22,41	A*
LSD: $\pm 0,5003$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek radyal yön sertlik değeri

Çizelge 5.52'ye göre; radyal yöndeki en yüksek sertlik değeri %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (22,41 N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (15,57 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, radyal yöndeki sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.53'de verilmiştir.

Çizelge 5.53. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde radyal yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	14,43	D	16,71	C
20	16,51	C	19,47	B
40	19,77	B	25,05	A*
LSD: $\pm 0,7075$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek radyal yön sertlik değeri

Çizelge 5.53'e göre; radyal yöndeki en yüksek sertlik değeri %40 oranında sıkıştırılmış

kavak örneklerde (25,05 N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) ladin örneklerde (14,43 N/mm²) elde edilmiştir.

5.2.5. Brinell Sertlik (Teğet Yön)

Isıl işlem uygulanmış ve yoğunlaştırılmış deney örneklerinin teğet yönündeki sertlik değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 5.54’de verilmiştir.

Çizelge 5.54. Teğet yönündeki sertlik ortalama değerleri (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
		Ladin		Kavak	
		$\bar{x}$	St.Sp.	$\bar{x}$	St.Sp.
Knt1	Knt2	14,00	3,18	16,25	2,88
	20	22,31	3,48	25,88	1,93
	40	33,84	4,67	40,13	3,66
140 °C - 7 saat	Knt2	14,63	2,13	16,48	2,21
	20	22,99	2,94	25,28	2,17
	40	31,60	3,89	38,73	4,21
140 °C - 9 saat	Knt2	15,26	3,05	16,08	2,89
	20	24,18	3,38	24,44	2,87
	40	34,74	4,10	36,58	4,15
160 °C - 7 saat	Knt2	14,44	3,45	15,10	2,49
	20	22,53	2,60	23,88	3,52
	40	32,32	4,72	37,85	4,24
160 °C - 9 saat	Knt2	13,84	2,34	14,84	1,55
	20	21,53	2,78	24,43	2,89
	40	30,89	4,24	36,43	3,68
180 °C - 7 saat	Knt2	13,93	2,15	14,56	1,93
	20	18,97	3,23	20,52	2,87
	40	31,28	3,95	33,47	3,10
180 °C - 9 saat	Knt2	12,75	2,08	12,98	1,38
	20	18,65	2,14	20,94	2,49
	40	28,20	4,92	30,98	2,79
200 °C - 7 saat	Knt2	11,98	1,67	12,78	1,83
	20	17,19	2,75	17,81	1,40
	40	26,35	3,29	30,24	3,47
200 °C - 9 saat	Knt2	11,25	1,38	12,46	2,13
	20	16,43	2,91	18,46	3,20
	40	25,19	2,91	28,01	3,78

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Çizelge 5.54 incelendiğinde; ağaç türü, ısıl işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerine bağlı olarak teğet yönündeki sertlik değerleri arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.55’de verilmiştir.

Çizelge 5.55. Teğet yöndeki sertlik değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	$P \leq 0,05$
Ağaç türü (A)	1	766,004	766,004	79,9972	0,0000*
Isıl işlem (B)	8	3236,112	404,514	42,2452	0,0000*
Sıkıştırma oranı (C)	2	31268,204	15634,102	1632,7389	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	134,385	16,798	1,7543	Ns
Etkileşim (AC)	2	244,056	122,028	12,7439	0,0000*
Etkileşim (BC)	16	499,929	31,246	3,2631	0,0000*
Etkileşim (ABC)	16	76,513	4,782	0,4994	Ns
Hata	486	4653,636	9,575		
Toplam	539	40878,839			

*: 0,05'e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, teğet yöndeki sertlik üzerinde ağaç türü-ısıtma işlem ikili etkileşimi ile ağaç türü-ısıtma işlem-sıkıştırma oranı üçlü etkileşimi önemsiz, diğer faktörler ve karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, ısıtma işlem ve sıkıştırma oranı faktörleri düzeyinde, teğet yöndeki sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 5.56, Çizelge 5.57 ve Çizelge 5.58'de verilmiştir.

Çizelge 5.56. Ağaç türü düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm^2).

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Ladin	21,53	B
Kavak	23,91	A*
LSD: $\pm 0,5233$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek teğet yön sertlik değeri

Çizelge 5.56'ya göre; teğet yöndeki sertlik değeri kavak örneklerinde yüksek ($23,91 N/mm^2$), ladin örneklerinde daha düşük ($21,53 N/mm^2$) bulunmuştur.

Çizelge 5.57. Isıtma işlem koşulları düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm^2).

Isıtma işlem	$\bar{x}$	HG
Knt1	25,40	A*
140 °C - 7 saat	24,95	A*
140 °C - 9 saat	25,21	A*
160 °C - 7 saat	24,35	AB
160 °C - 9 saat	23,66	B
180 °C - 7 saat	22,12	C
180 °C - 9 saat	20,75	D

Çizelge 5.57. (devam). Isıl işlem koşulları düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Isıl işlem	$\bar{x}$	HG
200 °C - 7 saat	19,39	E
200 °C - 9 saat	18,63	E
LSD: $\pm 1,110$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, *: En yüksek teğet yön sertlik değeri

Çizelge 5.57'ye göre; teğet yöndeki en yüksek sertlik değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (ısıt işlemsiz) örnekler ile 140 °C'de 7 ve 9 saat ısıt işlem uygulanmış örneklerde (25,40 N/mm², 24,95 N/mm² ve 25,21 N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 7 ve 9 saat ısıt işlem uygulanmış örneklerde (19,39 N/mm² ve 18,63N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 5.58. Sıkıştırma oranı düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	$\bar{x}$	HG
Knt2	14,09	C
20	21,47	B
40	32,60	A*
LSD: $\pm 0,6409$		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek sertlik değeri

Çizelge 5.58'e göre; teğet yöndeki en yüksek sertlik değeri %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (32,60 N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (14,09 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, teğet yöndeki sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.59'da verilmiştir.

Çizelge 5.59. Ağaç türü-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Sıkıştırma oranı (%)	Ağaç türü			
	Ladin		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	13,56	F	14,61	E
20	20,53	D	22,41	C
40	30,49	B	34,71	A*
LSD: $\pm 0,9063$				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek sertlik değeri

Çizelge 5.59'a göre; teğet yöndeki en yüksek sertlik değeri %40 oranında sıkıştırılmış

kavak örneklerde (34,71 N/mm²), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) ladin örneklerde (13,56 N/mm²) elde edilmiştir.

Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde, teğet yöndeki sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.60'da verilmiştir.

Çizelge 5.60. Isıl işlem-sıkıştırma oranı ikili etkileşimi düzeyinde teğet yöndeki sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları (N/mm²).

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı					
	Knt2		%20		%40	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	15,13	J	24,10	F	36,99	A*
140 °C - 7 saat	15,55	IJ	24,14	F	35,17	AB
140 °C - 9 saat	15,67	H-J	24,31	F	35,66	A*
160 °C - 7 saat	14,77	JK	23,21	F	35,08	AB
160 °C - 9 saat	14,34	JK	22,98	F	33,66	BC
180 °C - 7 saat	14,25	J-L	19,75	G	32,37	C
180 °C - 9 saat	12,86	K-M	19,80	G	29,59	D
200 °C - 7 saat	12,38	LM	17,50	H	28,30	DE
200 °C - 9 saat	11,86	M	17,44	HI	26,60	E
LSD: $\pm 1,923$						

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, *: En yüksek teğet yön sertlik değeri

Çizelge 5.60'a göre; teğet yöndeki en yüksek sertlik değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere %40 oranında sıkıştırılmış Knt1 (ısıl işlemsiz) ve 140 °C'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (36,99 N/mm² ve 35,66 N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (11,86 N/mm²) elde edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; doğu ladini ve kara kavak odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine ısıtılma ve termo-mekanik yoğunlaştırma işlemlerinin etkisi araştırılmış ve sonuçlara ilişkin sayısal veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerin ışığında varılan sonuçlar yorumlanmış ve uygulamaya yönelik önerilerde bulunulmuştur.

6.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

6.1.1. Hava Kuru Yoğunluk

Isıl işlem sonrası yoğunlaştırılmış örneklerin hava kuru yoğunluk değerleri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ladin örneklere göre kara kavak örneklerde hava kuru yoğunluk değeri daha yüksek gerçekleşmiştir. İşlemsiz (kontrol) ladin örneklerin hava kuru yoğunluk değeri $0,382 \text{ g/cm}^3$, kavak örneklerin ise $0,404 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Bu sebepten dolayı sonuçlar üzerinde ağaç malzemelerin başlangıç yoğunluklarının etkili olduğu söylenebilir.

Deney örneklerinin hava kuru yoğunluk değeri üzerinde ısıtılma koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü içinde en yüksek hava kuru yoğunluk değeri, ısıtılma işlemsiz örneklerde belirlenmiş, en düşük ise 200°C 'de 9 saat ısıtılma uygulanmış örneklerde elde edilmiştir. Isıl işlemli örneklerde hava kuru yoğunluk değeri işlem sıcaklığı ve süresindeki artış ile azalmıştır. Isıl işlemsiz (Knt1) örneklere göre, 200°C sıcaklıkta 9 saat ısıtılma uygulanmış ladin ve kara kavak örneklerinde hava kuru yoğunluk değeri sırası ile %8,5 ve %8,2 oranında azalmıştır. Literatürde, ısıtılma görmüş ağaç malzeme yoğunluğunun azaldığı, bunda başlıca sebeplerinin; ısıtılma esnasında ahşap bileşenlerinin (özellikle hemiselüloz) uçucu ürünlere dönüşmesi, ekstraktif maddelerin buharlaşması ve ısıtılma işlemli ahşabın denge rutubet miktarının azalması olduğu belirtilmiştir (Boonstra, 2008; Korkut ve Kocaefe, 2009).

Örneklerin hava kuru yoğunluk değeri üzerinde sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek hava kuru yoğunluk değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde tespit edilmiştir. En düşük yoğunluk değeri ise Knt2

(yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Belirlenen yoğunluk değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş, yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha yüksek hava kurusu yoğunluk değeri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra ladin ve kara kavak örneklerin hava kurusu yoğunluk değeri sırası ile %40 ve %42'ye kadar artmıştır. Yoğunluk değerlerindeki artışlar, sıkıştırma işlemleri sonrasında ahşap malzemenin birim hacme düşen hücre çeperi miktarının artması ve boşluk hacminin azalması ile açıklanabilir (Pelit vd., 2015; Pelit vd., 2018; Ülker vd., 2012). Önceki farklı çalışmalarda da, sıkıştırma oranı artışı ile ağaç malzeme yoğunluğunun artış gösterdiği ifade edilmiştir (Arruda vd., 2013; Blomberg vd., 2005; Ünsal vd., 2011).

6.1.2. Geri Esneme Oranı

Deney örneklerinin geri esneme oranı değerleri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ladin örneklere göre kara kavak örneklerinde geri esneme oranı daha yüksek gerçekleşmiştir. Bu durum, kara kavak örneklerin yoğunlaştırma öncesindeki başlangıç yoğunluğunun daha yüksek olması ile açıklanabilir. Literatürde, yoğunlaştırma sonrası meydana gelen geri esneme üzerinde, ağaç malzemelerin orjinal yoğunlukları ile boşluk hacmi ve kimyasal kompozisyon gibi yapısal farklılıklarının etkili olduğu belirtilmiştir (Pelit vd., 2016). Ayrıca, hücre çeperi hacmi fazla ve boşluk hacmi az olan malzemelerde, sıkıştırma sürecinde sıcaklık ve basıncın etkisiyle oluşan iç gerilmelerin daha fazla oluştuğu, bunda geri esneme oranında bir artışa neden olduğu ifade edilmiştir (Pelit vd., 2014; Pelit ve Sönmez, 2015).

Örneklerin geri esneme oranı üzerine ısı işlem koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Ladin örnekler için en yüksek geri esneme oranı değeri, 160 °C'de 7 saat ısı işlem uygulamasında, kara kavak örnekler için 140 °C'de 9 saat ısı işlem uygulamasında elde edilmiştir. En düşük geri esneme oranı ise her iki ağaç türünde de 200 °C'de 9 saat ısı işlem uygulamasında tespit edilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda (140 °C ve 160 °C) ısı işlemli örneklerin geri esneme oranı değerleri ısı işlemli (Knt1) örneklere göre genel olarak artış eğilimindedir. Ancak, 180 °C sınırı itibariyle ısı işlem sıcaklık ve süresi artışına bağlı olarak örneklerin geri esneme oranı değerleri azalmıştır. Isı işlemli (Knt1) örneklere göre, 200 °C sıcaklıkta 9 saat ısı işlem gören ladin ve kavak örneklerinde geri esneme oranı sırası ile %5 ve %28 oranında azalmıştır. Isı işlem sonrası (özellikle 200 °C'de) örneklerin denge rutubet miktarındaki düşüşlerin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Isı işlemli ladin ve kara kavak örneklerin ortalama denge rutubet miktarı

sırası ile %12,7 ve %11,1; 200 °C sıcaklıkta 9 saat ısıtıl işlem gören ladin ve kara kavak örneklerin ortalama denge rutubet miktarı ise sırası ile %8,1 ve %5,9 olarak tespit edilmiştir. Literatürde, kimyasal yapıdaki değişim veya bozunma nedeni ile ısıtıl işlemli ahşap malzemenin daha az higroskopik olduğu ve bu duruma bağlı olarak denge rutubet miktarının azaldığı bildirilmiştir (Aydemir vd., 2011; Aytin vd., 2015; Boonstra, 2008; Esteves ve Pereira 2009).

Ladin ve kara kavak örneklerinin geri esneme oranı üzerine sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek geri esneme oranı, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde gerçekleşmiştir. En düşük ise %20 oranında sıkıştırılmış deney örneklerinde belirlenmiştir. Sıkıştırma oranı artışı ile geri esneme oranı değerleri de artış göstermiştir. Literatürde, ahşap yoğunlaştırma prosesinde sıkıştırma oranındaki artış nedeniyle malzemede daha fazla bir iç gerilmenin oluştuğu ve bununla geri esneme oranı değerlerini artırdığı vurgulanmıştır (Laine vd., 2013; Pelit vd., 2014; Pelit vd., 2016). Farklı bir çalışmada, yoğunlaştırma işleminde uygulanan basıncın ortadan kaldırılmasından sonra ağaç malzemenin elastik davranışı nedeniyle sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerini geri kazanma eğiliminde olduğu ve bu durumun spring-back (geri esneme) olarak isimlendirildiği ifade edilmiştir (Garcia-Romeu vd., 2007).

6.1.3. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı

Sıkıştırma yönü şişme oranı değerleri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Kavak örneklerine göre ladin örneklerde şişme oranı daha yüksek gerçekleşmiştir. Suda bekletme testi sonrası, ladin örneklerdeki su alma oranının kara kavak örneklerine göre daha yüksek olmasının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca, boyutsal stabiliteyi arttıran bir uygulama olan ısıtıl işleminden kara kavak örneklerin daha fazla etkilenme ihtimalinden kaynaklanmış olabilir. Zira literatürde, ısıtıl işlem uygulamasının iğne yapraklı ağaç odunlarına göre geniş yapraklı ağaç odunlarında daha fazla bozunmaya neden olduğu belirtilmiştir (Yıldız, 2002).

Deney örneklerinin sıkıştırma yönündeki şişme oranı üzerine ısıtıl işlem koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek şişme oranı, Knt1 (ısıtıl işlemsiz) örneklerde belirlenmiştir. En düşük şişme oranı ise 200 °C sıcaklıkta 9 saat ısıtıl işlem uygulanmış deney örneklerinde tespit edilmiştir. Isıtıl işlemli örneklerde işlem sıcaklığı ve süresinin artmasına bağlı olarak sıkıştırma yönündeki şişme oranı değerleri azalmıştır. Isıtıl işlemsiz (Knt1) örneklerle göre, 200 °C sıcaklıkta 9 saat ısıtıl işlem gören ladin ve kara

kavak örneklerinde sıkıştırma yönündeki şişme oranı sırası ile %40 ve %60 oranında azalmıştır. Isıl işlem sonrası (özellikle yüksek sıcaklıkta) deney örneklerinin kimyasal yapısındaki muhtemel değişikliklerin sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Literatürde, ağaç malzemeye uygulanan ısı işlem sonucu malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısında kalıcı değişikliklerin meydana geldiği vurgulanmıştır (ThermoWood Handbook, 2003). Ayrıca, ısı işlem sonrası ağaç malzemenin boyutsal kararlılığının arttığı ve daha az higroskopik olduğu (Aydemir vd., 2011; Bekhta ve Niemz, 2003; Boonstra, 2008; Esteves at el., 2007; Tjeerdsma ve Militz 2005), higroskopisitedeki azalmanın ise malzemede suyu tutan hidroksil gruplarının sayıca azalması veya farklı formlara dönüşmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Kocaefe vd., 2008; Tjeerdsma ve Militz, 2005).

Ladin ve kara kavak örneklerinin sıkıştırma yönündeki şişme oranı üzerine sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek şişme oranı, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde tespit edilmiştir. En düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırılmamış örneklere göre, yoğunlaştırılmış deney örneklerinde şişme oranı değeri sıkıştırma oranlarına bağlı olarak artmıştır. Belirlenen şişme değerleri, sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş, yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha fazla şişme meydana gelmiştir. Literatürde, sıkıştırma sureti ile yapılan (mekaniksel) yoğunlaştırmada en önemli sakıncalardan birinin, ağaç malzemenin su ile temas etmesi durumunda sıkıştırma öncesi başlangıç ölçülerine geri dönmesi olduğu, bu durumun ise sıkıştırma nedeniyle malzemede oluşan iç gerilmelerin rahatlaması ve hücre çeperinin ilk haline geri dönme eğilimi göstermesinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Kollman vd., 1975; Pelit vd., 2014). Ayrıca termo-mekanik yoğunlaştırmada, sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak malzemede daha fazla bir kalınlık şişmesinin meydana geldiği farklı çalışma sonuçlarında da tespit edilmiştir (Pelit vd., 2016; Ünsal vd., 2011).

6.1.4. Su Alma Oranı

Deney örneklerinin su alma oranı değerleri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde su alma oranı değeri, kara kavak örneklere göre ladin örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Kara kavak örneklere göre, ladin örneklerin yoğunluğunun düşük ve boşluk hacminin fazla olması bu duruma bağlı olarak da daha fazla su absorbe etmesinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ağaç malzemede

yoğunluğu etkileyen başlıca faktörlerden birinin boşluk hacmi olduğu ve malzemede boşluk hacminin artmasıyla beraber absorbe edilen su veya emprenye maddesi miktarının da arttığı belirtilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

Ladin ve kara kavak örneklerinin su alma oranı değerleri üzerinde ısıtma işlem koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Ladin örnekler için en yüksek su alma oranı değeri, 160 °C’de 7 ve 9 saat ısıtma işlem uygulamasında, kara kavak örnekler için Knt1 (ısıtma işlemleri) örneklerde elde edilmiştir. En düşük su alma oranı ise her iki ağaç türünde de 200 °C’de 9 saat ısıtma işlem uygulamasında belirlenmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda (140 °C ve 160 °C) ısıtma işlem uygulanmış ladin örneklerde su alma oranı değerleri Knt1 (ısıtma işlemleri) örneklerle göre artış eğilimindedir. Ancak, 180 °C sınırından itibaren ısıtma işlem sıcaklığı ve süresi artışına bağlı olarak ladin örneklerin su alma oranı değerleri azalmıştır. Isıtma işlem uygulanmış kara kavak örneklerde ise işlem sıcaklığı ve süresinin artmasına bağlı olarak su alma oranı değerleri azalmıştır. Isıtma işlemleri (Knt1) örneklerle göre, 200 °C sıcaklıkta 9 saat ısıtma işlem gören ladin ve kavak örneklerinde su alma oranı sırası ile %3,2 ve %14,6 oranında azalmıştır. Bu durum, daha önceki bir bölümünde açıklandı gibi, ısıtma işlem uygulanmış ağaç malzemede suyu tutan hidroksil gruplarının azalması ve örneklerin daha az higroskopik olması ile açıklanabilir (Aydemir vd., 2011; ThermoWood Handbook 2003; Tjeerdma ve Militz, 2005).

Örneklerin su alma oranı değeri üzerinde sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek su alma oranı, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde belirlenmiştir. En düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde tespit edilmiştir. Deney örneklerinin su alma oranı değerleri sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak artmıştır. Bu durum, sıkıştırma işlemleri öncesi kontrol (yoğunlaştırılmamış) örneklerine göre daha fazla kalınlıkta/hacimde hazırlanan yoğunlaştırılmış örneklerin hacim-su alımı ilişkisine bağlı olarak daha fazla su absorbe etmesi ile açıklanabilir.

6.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

6.2.1. Statik Eğilme Direnci

Farklı sıcaklık ve sürelerde ön ısıtma işlem uygulandıktan sonra yoğunlaştırılmış olan deney örneklerinin eğilme direnci üzerine ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Eğilme direnci ortalama değeri, ladin örneklerle göre kavak örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, hem kontrol hemde ısıtma işlem ve yoğunlaştırma

yapılmış kara kavak örneklerin yoğunluk değerinin daha yüksek olması ile açıklanabilir. Literatürde, ağaç malzeme mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörün yoğunluk olduğu ve yoğunluk artışı ile mekanik özelliklerin de arttığı belirtilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1995).

Ladin ve kara kavak örneklerinin eğilme direnci üzerine ısıtma işlem koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek eğilme direnci değerleri, Knt1 (ısıtma işlemi yapılmamış) örneklerde tespit edilmiştir. En düşük eğilme direnci değerleri ise 200 °C’de 9 saat ısıtma işlemi uygulanmış deney örneklerinde belirlenmiştir. Isıtma ön-işlemli ladin ve kavak örneklerde eğilme direnci değerleri ısıtma işlem sıcaklığı ve süresi artışına bağlı olarak kademeli bir şekilde azalmıştır. Isıtma işlemi yapılmamış (Knt1) örneklere göre, 200 °C’de 9 saat ısıtma işlemi uygulanan ladin ve kara kavak örneklerinde eğilme direnci sırası ile %35 ve %37 oranında azalmıştır. Bu durumun, ısıtma işlemi sonrası (özellikle yüksek sıcaklıkta) ağaç malzemelerin kimyasal bileşenlerinin yapısında meydana gelen bozunmalardan kaynaklandığı söylenebilir. Literatürde, ısıtma işlemi uygulandıktan sonra ağaç malzemenin daha kırılabilir bir yapıya dönüştüğü ve bu duruma bağlı olarak mekanik direnç özelliklerinin düşüş gösterdiği belirtilmektedir (Bekhta ve Niemz, 2003; Boonstra 2008; Esteves vd., 2007; Korkut vd., 2008; Perçin; 2012; Yıldız, 2002)

Deney örneklerinin eğilme direnci üzerine sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için en yüksek eğilme direnci değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde, en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra sıkıştırma oranına bağlı olarak eğilme direnci değerleri artış göstermiştir. Örneklerin eğilme direnci değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş, %20 sıkıştırma oranına göre %40 sıkıştırma oranında daha yüksek direnç değerleri elde edilmiştir. Yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklere göre; %20 ve %40 oranında sıkıştırılmış ladin örneklerin eğilme direncinde sırası ile %11 ve %33 oranında, kara kavak örneklerin eğilme direncinde ise sırası ile %17 ve %41 oranında artış sağlanmıştır. Sonuçlar üzerinde, yoğunlaştırma işlemlerinden sonra deney örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerlerindeki artış oranlarının etkili olduğu söylenebilir. Önceki çalışmalarda, ağaç malzemenin mekaniksel olarak sıkıştırılması sonucunda, boşluk hacminin azalmasından dolayı yoğunluğunun arttığı ve bununla mekanik özelliklerde artış sağladığı; mekanik direnç özelliklerinin de ağaç malzeme yoğunluğu ile yakından ilişkili olduğu bildirilmiştir (Pelit, 2014; Pelit vd., 2018; Ülker vd., 2012; Tabarsa ve Chui, 1997).

6.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Ağaç türü düzeyinde, ladin ve kara kavak odunu örneklerinde eğilmede elastikiyet modülü bakımından benzer sonuçlar elde edilmiş ve iki ağaç türünün elastikiyet modülü değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu durumun, ısıtma işlem ve yoğunlaştırma işlemlerinden sonra iki ağaç türü arasında elastikiyet modülü bakımından benzer bir yapının oluşmasından ve buna bağlı olarak da benzer davranış sergilemelerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Deney örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerine ısıtma işlem koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Ladin örnekler için en yüksek elastikiyet modülü değeri, 140 °C’de 9 saat ısıtma işlem uygulamasında, kara kavak örnekler için 160 °C’de 9 saat ısıtma işlem uygulamasında elde edilmiştir. En düşük elastikiyet modülü ise her iki ağaç türü için 200 °C’de 9 saat ısıtma işlem uygulamasında tespit edilmiştir. 140 °C ve 160 °C’de ısıtma işlem uygulanmış örneklerin elastikiyet modülü değerleri Knt1 (ısıtma işlemleri) örneklerine göre genel olarak artış eğilimindedir. Ancak, 180 °C sınırından itibaren ısıtma işlem sıcaklık ve süresindeki artışa bağlı olarak örneklerin elastikiyet modülü değerleri azalmıştır. Isıtma işlemleri (Knt1) örneklerine göre, 200 °C sıcaklıkta 9 saat ısıtma işlem gören ladin ve kara kavak örneklerinde elastikiyet modülü sırası ile %4,5 ve %5,7 oranında azalmıştır. Bu durumun sebebinin, yüksek sıcaklıklara (özellikle 200 °C’den sonra) maruz kalan ahşap malzemede ki yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve kimyasal bileşenlerin ısıtma bozunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Aydemir vd., 2011; Esteves ve Pereira 2009; Korkut ve Kocaefe 2009; Yıldız vd., 2006).

Ladin ve kara kavak örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerine sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde en yüksek elastikiyet modülü değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde, en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde tespit edilmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra elastikiyet modülü değerleri sıkıştırma oranlarına paralel olarak artış göstermiş, %20’ye göre %40 sıkıştırma oranında daha yüksek elastikiyet modülü değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar üzerinde, yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerdeki yoğunluk artış oranlarının farklılık göstermesinin etkili olduğu söylenebilir. Yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerine göre; %20 ve %40 oranında sıkıştırılmış ladin örneklerin elastikiyet modülünde sırası ile %14 ve %37 oranında, kara kavak örneklerin elastikiyet modülünde ise sırası ile %20 ve %45 oranında artış sağlanmıştır. Bu durum, sıkıştırma oranına bağlı olarak örneklerdeki yoğunluk artış miktarları ile açıklanabilir. Çalışmada, %40 oranında sıkıştırılmış

örneklerde daha fazla yoğunluk artışı elde edilmiştir. Literatürde, yoğunluğu yüksek ağaç malzemenin direncinin, esnekliğinin ve sertliğinin düşük yoğunluklu ağaç malzemeye göre daha fazla olduğu belirtilmiş ayrıca, yoğunluktaki artış ile elastikiyet modülünün de arttığı ifade edilmiştir (Örs ve Keskin, 2008). Önceki farklı çalışmalarda, yoğunlaştırılmış ağaç malzemede eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün sıkıştırma oranındaki artışa paralel olarak arttığı ifade edilmiştir (Pelit, 2014; Pelit vd., 2018; Tabarsa ve Chui, 1997).

6.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci

Örneklerin liflere paralel basınç direnci üzerine ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Basınç direnci ortalama değeri, ladin örneklerine göre kara kavak örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Sonuçlar üzerinde, ağaç malzemelerden elde edilen hava kurusu yoğunluk değerleri ile ağaç türleri arasındaki yapısal farklılığın etkili olduğu söylenebilir.

Ladin ve kara kavak örneklerinin liflere paralel basınç direnci üzerinde ısıtma işlem koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek basınç direnci değerleri, 180 °C’de 7 saat ısıtma uygulanmış örneklerde, en düşük ise Knt1 (ısıtma işlemsiz) örneklerde tespit edilmiştir. Isıtma işlem sonrası tüm örneklerin basınç direnci değerleri ısıtma işlemsiz örneklerle göre artış göstermiştir. Ancak, 200 °C sıcaklık sınırından itibaren ısıtma işlem süresindeki artışa bağlı olarak örneklerin basınç direnci değerleri azalma eğilimindedir. Isıtma işlemsiz (Knt1) örneklerle göre, 180 °C’de 7 saat ısıtma uygulanan ladin ve kara kavak örneklerinde basınç direnci sırası ile %22 ve %11 oranında artmıştır. Bu durum, ısıtma işlem sonrası örneklerdeki denge rutubet miktarının düşmesinden kaynaklanmış olabilir. Literatürde, ağaç malzemede özgül ağırlık arttıkça direnç ve sertlik değerlerinin de artış gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca, ağaç malzemede Lif Doygunluğu Noktasına (LDN) kadar rutubet miktarı arttıkça sertlik değerlerinin azaldığı, tam kuru haldeki malzemenin en yüksek sertliğe sahip olduğu belirtilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1995; Örs ve Keskin, 2008).

Örneklerin liflere paralel basınç direnci üzerinde sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü için en yüksek basınç direnci değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde belirlenmiştir. En düşük basınç direnci değeri ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde tespit edilmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerin basınç direnci değerleri sıkıştırma oranına bağlı olarak artmıştır.

Belirlenen basınç direnci değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş ve %20 sıkıştırma oranına göre %40 sıkıştırma oranında daha yüksek direnç değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar üzerinde, sıkıştırma oranına bağlı olarak örneklerdeki yoğunluk artış oranlarının etkili olduğu söylenebilir. Yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerle göre; %20 ve %40 oranında sıkıştırılmış ladin örneklerin basınç direncinde sırası ile %12 ve %29 oranında, kara kavak örneklerin basınç direncinde ise sırası ile %14 ve %31 oranında artış sağlanmıştır. Literatürde, sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemenin direnç özelliklerinin işlem görmemiş ağaç malzemedan daha yüksek olduğu ve direnç özelliklerinin genellikle yoğunluk artışı ile orantılı bir şekilde arttığı belirtilmiştir (Morsing, 2000). Başka bir çalışmada ise, yoğunlaştırma işleminden sonra direnç değerlerindeki artışların, ağaç malzemenin boşluk hacmindeki azalmadan ve yük taşıma özelliğine sahip birim hacimdeki hücre çeperi maddesi artışından kaynaklandığı bildirilmiştir (Ülker vd., 2012).

6.2.4. Brinell Sertlik

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısı ön-işlem uygulandıktan sonra yoğunlaştırılmış olan deney örneklerinin radyal ve teğet yöndeki sertlik değerleri üzerine ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Her iki yöndeki sertlik değeri ladin örneklerle göre kara kavak örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Isıl işlem ve yoğunlaştırma işlemleri sonrası kara kavak örneklerdeki yoğunluk değerinin daha yüksek olmasının sonuçlar üzerinde, etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktörün yoğunluk olduğu, yoğunluk artışı ile mekanik özelliklerinde arttığı belirtilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1995). Ayrıca, ağır odunun direnci, esnekliği ve sertliğinin hafif odundan daha fazla olduğu bildirilmiştir (Örs ve Keskin, 2008).

Deney örneklerinin radyal ve teğet yöndeki sertlik değerleri üzerinde ısı işlem koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü içinde en yüksek radyal ve teğet yön sertlik değerleri, 140 °C’de 9 saat ısı işlem uygulanmış örneklerde belirlenmiştir. Ancak kara kavak örneklerin teğet yöndeki sertlik değeri Knt1 (ısı işlemli) örneklerde daha yüksek bulunmuştur. En düşük sertlik değerleri ise 200 °C’de 9 saat ısı işlem uygulanmış örneklerde tespit edilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda (140 °C ve 160 °C) ısı işlemli örneklerin radyal yöndeki sertlik değerleri ısı işlemli (Knt1) örneklerle göre artış eğilimindedir. Ancak, 180 °C sınırından itibaren işlem sıcaklık ve süresindeki artışa paralel olarak örneklerin radyal yöndeki sertlik değerleri azalmıştır. Isıl işlem uygulanmış

örneklerin teğet yönündeki sertlik değerleri ise işlem sıcaklığı ve süresinin artışı ile azalmıştır. Isıl işlemsiz (Knt1) örnekler göre, 200 °C sıcaklıkta 9 saat ısıtım işlem gören ladin ve kara kavak örneklerin radyal yönündeki sertlik değerleri sırası ile %23 ve %11 oranında, teğet yönündeki sertlik değerleri ise sırası ile %25 ve %28 oranında azalmıştır. Sertlik değerlerindeki bu azalmaların, ısıtım işlem uygulaması sonrası ağaç malzeme bileşenlerinde meydana gelen termal bozunma ve örneklerdeki yoğunluk kayıplarından kaynaklandığı söylenebilir. Önceki çalışmalarda da, ısıtım işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça sertlik değerlerinde azalma meydana geldiği belirtilmiştir (Korkut vd., 2008; Perçin, 2012; Yıldız, 2002). Ayrıca, termo-mekanik yöntemle yoğunlaştırma sonrasında uygulanan ısıtım işlemin Brinell sertlik değerlerini azaltan bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Fang vd., 2012; Pelit vd., 2015).

Örneklerin radyal ve teğet yönündeki sertlik değerleri üzerine sıkıştırma oranının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek radyal ve teğet yön sertlik değerleri %40 oranında sıkıştırılan deney örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük sertlik değerleri ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerin radyal ve teğet yönündeki sertlik değerleri sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak artmıştır. Radyal yönündeki sertlik değerleri için; yoğunlaştırılmamış (Knt2) örnekler göre %20 ve %40 oranında sıkıştırılmış ladin örneklerde sırası ile %14 ve %37, kara kavak örneklerde ise sırası ile %17 ve %50 oranında artış sağlanmıştır. Teğet yönündeki sertlik değerleri için; yoğunlaştırılmamış (Knt2) örnekler göre %20 ve %40 oranında sıkıştırılmış ladin örneklerde sırası ile %51 ve %125, kara kavak örneklerde ise sırası ile %53 ve %138 oranında artış sağlanmıştır. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra radyal ve teğet yönündeki sertlik değerlerindeki artışlar, örneklerdeki yoğunluk artışları ile açıklanabilir. Önceki çalışmalarda, yoğunlaştırılmış ağaç malzeme sertliğinin sıkıştırma oranı ile yakından ilişkili olduğu ve sıkıştırma oranı arttıkça sertlik değerlerinin de artış gösterdiği ifade edilmiştir (Budakçı vd., 2016; Pelit vd., 2015; Rautkari vd., 2009; Ünsal vd., 2011).

Isıtım işlem ve yoğunlaştırma işlemleri çalışmada kullanılan ağaç malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Isıtım işleme tabi tutulan ağaç malzemelerin mekanik direnç ve sertlik özellikleri işlem sıcaklığı ve süresindeki artışa bağlı olarak olarak genellikle azalmıştır. Ancak bu örneklerde, yoğunlaştırma modifikasyonu sonrası mekanik direnç ve sertlik özellikleri sıkıştırma oranına bağlı olarak önemli ölçüde artmıştır. Buna göre, ısıtım işlem uygulaması ile meydana gelen direnç

ve sertlik özelliklerindeki kayıpların giderilmesi veya bu özelliklerin artışı için yoğunlaştırma son işleminin yapılması ve sıkıştırma oranının yüksek tutulması (%40 gibi) önerilebilir.

Termo-mekanik olarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde yaşanan en önemli problem, yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin su ile teması halinde sıkıştırma öncesi ilk başlangıç ölçülerine geri dönmesidir. Çalışma sonuçlarına göre, yoğunlaştırılmış ahşap örneklerin suda bekletme testi sonrası sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerine neredeyse tamamen geri döndüğü belirlenmiştir. Ancak, ön ısıt işlemler sayesinde işlem sıcaklığı ve süresindeki artışa da bağlı olarak su alma oranı azalmış ve boyutsal stabilite direncinde önemli iyileşmeler sağlanmıştır. Buna göre, termo-mekanik olarak yoğunlaştırılmış ladin ve kavak örneklerin suya maruz kalabilecek yerlerde kullanılması düşünülüyor ise, mutlaka ön ısıt işlem yapılması ve bu işlemin sıcaklık ve süresinin yüksek tutulması (en az 200 °C sıcaklık ve 9 saat işlem süresi) önerilebilir.

Sonuç olarak, nispeten düşük yoğunluklu ve kullanım alanı çok fazla yaygın olmayan ladin ve kara kavak gibi ağaç türlerinin taşıyıcı uygulamalar ile dış mekan (park ve bahçe mobilyaları, dış cephe kaplaması vb.) veya iç mekan (parke, lambri, mobilya elemanları, sauna vb.) uygulamalarında kullanılabilirliğini arttırmak için ısıt işlem ve yoğunlaştırma modifikasyon yöntemlerinin birlikte kullanılması önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

- Akkılıç, H., Kaymakcı, A., Ünsal, Ö. (2014). Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin dış cephe kaplaması olarak değerlendirilme potansiyeli. *7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, İstanbul.
- Altınok, M., Perçin, O., & Doruk, Ş. (2010). Isıl işlemin (thermo-process) ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23(3), 71-84.
- Anşın, R., & Özkan Z. C. (1993). *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*. 2. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No: 167/19, Trabzon.
- Arruda, L. M., & Del Menezzi, C. H. (2013). Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers. *International Wood Products Journal*, 4(4), 217-224.
- As, N. (2007). *Ahşabın Yapıda Kullanımı Lisans Ders Notu, Ders Notu (Yayınlanmamış)*. Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi.
- Aydemir, D., & Gündüz, G. (2009). Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(15), 71-81.
- Aydemir, D. (2007). 'Gökmar (Abies bormülleriana Mattf.) ve Gürgen (Carpinus betulus L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi', Yüksek lisans tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye.
- Aydemir, D., Gündüz, G., Altuntaş, E., Ertas, M., Şahin, H. T., & Alma, M. H. (2011). Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and Uludağ fir wood. *BioResources*, 6(2), 1308-1321.
- Aytin A., (2013). 'Yabani Kiraz (Cerasus Avium (L.) Monench) Odununun Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Yüksek Sıcaklık Uygulamasının Etkisi', Doktora tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye.
- Aytin, A., Korkut, S., Ünsal, Ö., & Çakicier, N. (2015). The effects of heat treatment with the ThermoWood® method on the equilibrium moisture content and dimensional stability of wild cherry wood. *BioResources*, 10(2), 2083-2093.
- Baydağ, M. (2014). 'Isıl İşlem ve Hızlı Yaşlandırma Uygulanmış Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri', Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.

- Bekhta, P., & Niemz, P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57(5), 539-546.
- Bektaş, İ., Sözbir, G. D., Bal, B. C., & Altuntaş, E. (2017). Kavak odununun kimyasal özellikleri üzerine termal ve basınçlı termal modifikasyon işlemlerinin etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 31-37.
- Blomberg, J., Persson, B., & Blomberg, A. (2005). Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density. *Wood Science Technology*, 39(5), 339–350.
- Boonstra, M. J. (2008). ‘A Two-Stage Thermal Modification of Wood’, PhD. dissertation, Cosupervised by Ghent University, Ghent, Belgium, and Université Henry Poincaré, Nancy, France.
- Bourgeois, J. Bartholin, M. C., & Guyonnet, R. (1989). Thermal treatment of wood: analysis of the obtained product. *Wood Science and Technology*, 23(4), 303–310.
- Bozkurt, A. Y., & Erdin, N. (1995). Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 45(2), 11–345
- Bozkurt, A. Y., & Erdin, N. (1997). *Ağaç teknolojisi*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, ss. 1-40.
- Bozkurt, A. Y., & Erdin, N. (2011). *Ağaç teknolojisi*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Erdin, N., & Bozkurt, A. Y. (2013). *Odun Anatomisi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Bozkurt, A.Y., & Göker, Y. (1996). *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, O.F. Yayın No. 436, ISBN 975-404-420-1.
- Budakçı, M., Pelit, H., Sönmez, A., & Korkmaz, M. (2016). The effects of densification and heat post-treatment on hardness and morphological properties of wood materials. *BioResources*, 11(3), 7822–7838.
- Demirci, A. (1991). ‘Doğu Ladini (*Picea orientalis* L.), Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Karışık Meşcerelerinin Gençleştirilmesi’, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Emiroğlu, F., (2018). ‘Termo-Mekanik Yoğunlaştırılmış Ahşap Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Su İtici Maddelerin Etkisi’, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye.
- Esteves, B., Velez, M. A., Domingos, I., & Pereira, H. (2007). Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science Technology*, 41(3), 193-207.

- Esteves, B. M., & Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4(1), 370-404.
- Fang, C.H., Cloutier, A., Blanchet, P., & Koubaa, A. (2012). Densification of wood veneers combined with oil-heat treatment, Part II: Hygroscopicity and mechanical properties. *BioResources*, 7(1), 925-935.
- Finnish Thermowood Association. (2003). *ThermoWood Handbook*. FIN-00171, Helsinki, Finland, 1-66.
- Garcia-Romeu, M. L., Ciurana, J., & Ferrer, I. (2007). Springback determination of sheet metals in an air bending process based on an experimental work. *Journal of Materials Processing Technology*, 191(1-3), 174–177.
- Görgün, H. V., Ünsal,Ö., & Dündar, T. (2016). Yapısal amaçlı ağaç malzemede mühendislik sorunları ve çözüm önerileri. 8. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, İstanbul.
- Hill, C.A.S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal And Other Processes*. John Wiley, Chichester.
- İşleyen, O. (2012). ‘Isıl İşlem Uygulanmış Ağaç Malzemenin Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Kamdem, P. (2002). Heat Treatment : Can It Replace Preservatives? CWWA (Canadian Wood Preservation Association) Proceedings, ss. 122-131.
- Kamke, F.A. (2006). Densified radiata pine for structural composites. *Maderas Ciencia Tecnologia*, 8(2), 83–92.
- Kamke, F.A., & Harrison, S. (2008), *Viscoelastic Thermal Compression Of Wood*. USA, US Patent Application No: US 7.404.422 B2, July, 29.
- Kariz, M., Kuzman, M. K., Sernek, M., Hughes, M., Rautkari, L., Kamke, F. A., & Kutnar, A. (2017). Influence of temperature of thermal treatment on surface densification of spruce. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(1), 113-123.
- Kayacık, H. (1952). Doğu Ladininin Türkiye'deki Coğrafi Yayılışı, Silvi kültürel Esasları ve Tabii Sınırlarının Genişletilmesi İmkanlarının Araştırılması. İstanbul Orman Fakültesi Yayını No : 103/20, 122 s.
- Kayacık, H. (1967). Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği, I. Cilt, Gymnospermae (Açık Tohumlar), İ.Ü. Yayınlarından No: 2642, Orman Fakültesi No:281, Başak Matbaası, İstanbul.
- Kocaefe, D., Poncsak, S., & Boluk, Y. (2008). Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. *BioResources*, 3(2), 517-537.

- Kollman, F. F. P., Kuenzi, E. W., & Stamm, A. J. (1975). *Principles of Wood Science and Technology: II. Wood Based Materials. Principles of wood science and technology*, Springer Science & Business Media.
- Korkut, S., & Kocaefe, D. (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11–34.
- Korkut, S., Kök, M.S., Korkut, D.S., & Gürleyen, T., (2008). The effects of heat treatment on technological properties in red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood. *Bioresource Technology*, 99(6), 1538-1543.
- Kultikova, E. V. (1999). ‘Structure and properties relationships of densified wood’, M.S. thesis, Virginia Tech, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA.
- Kurtoğlu, A. (2000). Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri I. Cilt, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 3878, İstanbul, s. 398.
- Kutnar, A., & Šernek, M. (2007). Densification of wood. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 82, 53–62.
- Laine, K., Rautkari, L., Hughes, M. & Kutnar, A. (2013). Reducing the set-recovery of surface densified solid Scots pine wood by hydrothermal post-treatment. *European Journal Wood Wood Products*, 71(1), 17–23.
- Lamason, C., & Gong, M. (2007). Optimization of pressing parameters for mechanically surface-densified aspen. *Forest Products Journal*, 57(10), 64-68.
- Li, H., Jiang, X., Ramaswamy, H. S., Zhu, S., & Yu, Y. (2018). High-Pressure treatment effects on density profile, surface roughness, hardness and abrasion resistance of paulownia wood boards. *Asabe*, 61(3), 16.
- Li, T., Cai, J., Avramidis, S., Cheng, D., Wålinder, M., & Zhou, D. (2017). Effect of conditioning history on the characterization of hardness of thermo-mechanical densified and heat treated poplar wood. *Holzforschung*, 71(6), 515–520.
- Mayes, D., & Oksanen, O. (2002). *ThermoWood Handbook*. Finnforest, Finland, 66.
- Morsing, N. (2000). ‘Densification of Wood - The Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to the Grain’, PhD. dissertation, Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- Navi, P., & Girardet, F. (2000). Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood. *Holzforschung*, 54(3), 287–293.
- Navi, P., Huguenin, P., & Girardet, F. (1997). Development of synthetic-free plasticized wood by thermohygro-mechanical treatment. *Building Products From Recycled Wood Waste*, Madison, USA, ss. 168–171.
- Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için hacim ağırlığı tayini, TS 2472, 1976.

- Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler, TS 2470, 1976.
- Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini, TS 2471, 1976.
- Odunun statik eğilme dayanımının tayini, TS EN 2474, 1976.
- Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, TS 2478, 1976.
- Odunun statik sertliğinin tayini, TS 2479, 1976.
- Örs, Y., & Keskin, H. (2008). *Ağaç malzeme teknolojisi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, ss. 125-140.
- Özçifçi, A., Altun, S., & Yapıcı, F. (2009). Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- Pelit, H. (2014). ‘Yoğunlaştırma ve Isıl İşlemin Doğu Kayını Ve Sarıçamın Bazı Teknolojik Özellikleriyle Üstyüzey İşlemlerine Etkisi’, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Pelit, H., Budakçı, M., & Sönmez, A. (2016). Effects of heat post-treatment on dimensional stability and water absorption behaviours of mechanically densified Uludağ fir and black poplar woods. *BioResources*, 11(2), 3215–3229.
- Pelit, H., Budakçı, M., & Sönmez, A. (2018). Density and some mechanical properties of densified and heat post-treated Uludağ fir, linden and black poplar woods. *European Journal Wood Wood Products*, 76(1), 79–87.
- Pelit, H., Sönmez, A., & Budakçı, M. (2014). Effects of ThermoWood process combined with thermo-mechanical densification on some physical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *BioResources*, 9(3), 4552–4567.
- Pelit, H., & Sönmez, A. (2015). Thermo-Mekanik yoğunlaştırma ve ısııl işlemin doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odununun bazı fiziksel özelliklerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 2-8.
- Pelit, H., Sönmez, A., & Budakçı, M. (2015). 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*, 10(2), 3097-3111.
- Perçin, O. (2012). ‘Isıl İşlemin Lamine Ahşap Malzemenin Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi’, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Physical and mechanical properties of wood - Determination of radial and tangential swelling, ISO 13061-15, 2017.
- Rapp, A. O., & Sailer, M. (2001). “Oil Heat Treatment of Wood İn Germany-State Of The Art” in Review on Heat Treatments of Wood, COST ACTION E22 Environmental Optimisation Of Wood Protection, Proceedings Of Special Seminar Held İn Antibes, France, Edited by Rapp AO, ss. 47-64.

- Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F., & Hughes, M. (2009). Surface modification of wood using friction. *Wood Science and technology*, 43(34), 291.
- Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F., & Hughes, M. (2010). Properties and set-recovery of surface densified Norway spruce and European beech. *Wood Science and Technology*, 44(4), 679–691
- Rowell RM., & Konkol P. (1987). Treatments that enhance physical properties of wood, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-55, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Seborg, R. M., Millett, M. A., & Stamm, A. J.(1956). *Heat-stabilized compressed wood (Staypak)*, United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory Report No: 1580, Madison, USA.
- Söğütlü, C. (1998). ‘Konut Mutfak Tezgahlarında Kullanılan Malzemelerin Mekanik Etkilere Karşı Performanslarının Karşılaştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Şahin Kol, H. (2010). Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing. *Journal of Environmental Biology*, 31(6), 1007-1011.
- Şenol, S., & Budakçı, M. (2016). Mechanical Wood Modification Methods. *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(2), 53-59
- Şenol, S. (2018). ‘Termo-Vibro-Mekanik (Vtm) İşlem Görmüş Bazı Ağaç Malzemelerin Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi’, Doktora tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye.
- Tabarsa, T., & Chui, Y. H. (1997). Effects of hot-pressing on properties of white spruce. *Forest Products Journal*, 47(5), 71-76.
- Test methods for small clear wood specimens-determination of ultimate stress in compression parallel to grain. ISO 13061-17, 2017.
- Tjeerdsma, B. F., & Militz, H. (2005). Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Als Roh - Und Werkstoff*, 63(2), 102-111.
- Unsal, O., Candan, Z., Buyuksari, U., Korkut, S., Chang, Y. S., & Yeo, H. M. (2011). Effect of thermal compression treatment on the surface hardness, vertical density propile and thickness swelling of eucalyptus wood boards by hot-pressing. *Journal Korean Wood Science Technology*, 39(2), 148–155.
- Ülker, O., İmirzi, Ö., & Burdurlu, E. (2012). The effect of densification temperature on some physical and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *BioResources*, 7(4), 5581-5592.
- Welzbacher, C. R., Wehsener, J., Rapp, A. O., & Haller, P. (2008). Thermo-mechanical densification combined with thermal modification of Norway spruce (*Picea abies* Karst) in industrial scale–Dimensional stability and durability aspects. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 66(1), 39-49.

- Yıldız, S., (2002). ‘Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik, Teknolojik Ve Kimyasal Özellikleri’, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Yıldız, S., Gezer, E.D., & Yıldız, Ü.C. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building & Environment*, 41(12), 1762-1766.

8. EKLER

EK:1 Ağaç türlerine göre testlerde en olumlu sonuçların elde edildiği işlem koşulları

Özellik	Test	Doğu ladini	Kara kavak
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Hava Kuru Yoğunluk	Isıl ön işlemsiz %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde	Isıl işlemsiz %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde
	Geri Esneme Oranı	200 °C’de 9 saat ısı ön işlemli %20 oranında sıkıştırılmış örneklerde	200 °C’de 9 saat ısı ön işlemli %20 oranında sıkıştırılmış örneklerde
	Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı	200 °C’de 9 saat ısı ön işlemli yoğunlaştırılmamış örneklerde	200 °C’de 9 saat ısı ön işlemli yoğunlaştırılmamış örneklerde
	Su Alma Oranı	200 °C’de 9 saat ısı ön işlemli yoğunlaştırılmamış örneklerde	200 °C’de 9 saat ısı ön işlemli yoğunlaştırılmamış örneklerde
MEKANİK ve TEKNOLOJİK ÖZELLİKLER	Statik Eğilme Direnci	Isıl ön işlemsiz %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde	Isıl ön işlemsiz %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde
	Eğilmede Elastikiyet Modülü	140 °C’de 9 saat ısı ön işlemli %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde	160 °C’de 9 saat ısı ön işlemli %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde
	Liflere Paralel Basınç Direnci	180 °C’de 7 saat ısı ön işlemli %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde	180 °C’de 7 saat ısı ön işlemli %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde
	Brinell Sertlik (Radyal Yön)	140 °C’de 9 saat ısı ön işlemli %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde	140 °C’de 9 saat ısı ön işlemli %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde
	Brinell Sertlik (Teğet Yön)	140 °C’de 9 saat ısı ön işlemli %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde	Isıl ön işlemsiz %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ramazan YORULMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.01.1985 Denizli/Çardak
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ramazan-yorulmaz@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği(Tamamlama)	Gazi Üniversitesi	2015
Lisans	Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği	Dumlupınar Üniversitesi	2008

İŞ DENEYİMİ

2010-2011	Öğretmen	Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi GÖLKÖY/ORDU, Teknik Öğretmen (Kamu)
2010-2019	Öğretmen (Görevde)	İnönü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi BAYRAMPAŞA/İSTANBUL Teknik Öğretmen (Kamu)

YAYINLAR

Yorulmaz R., Pelit H., “Isıl işlemli ladin odununun bazı fiziksel özelliklerine mekanik yağunlaştırmanın etkisinin incelenmesi,” 5. Uluslararası Mobilya Kongresi, ss. 549-558, 2018.