T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRILMIŞ AHŞAP MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE SU İTİCİ MADDELERİN ETKİSİ

FATİH EMİROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
AĞAÇ İŞLERİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ HÜSEYİN PELİT

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTRILMIŞ AHŞAP MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE SU İTİCİ MADDELERİN ETKİSİ

Fatih EMİROĞLU 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

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin PELİT
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin PELİT (Danışman)
Düzce Üniversitesi _____

Prof. Dr. Mehmet BUDAKÇI
Düzce Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Hasan Özgür İMİRZİ
Gazi Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 12/10/2018

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.

12 Ekim 2018

Fatih EMİROĞLU

TEŞEKKÜR

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

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen abim Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU'na, yardımlarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Mesut YALÇIN'a, tezin son şeklini almasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Mehmet BUDAKÇI ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan Özgür İMİRZİ'ye, aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2017.07.01.522 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

12 Ekim 2018 **Fatih EMİROĞLU**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ VIII

ÇİZELGE LİSTESİ IX

KISALTMALAR XII

SİMGELER XIII

ÖZET XIV

ABSTRACT XV

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİLER 3

2.1. AĞAÇ MALZEME YOĞUNLUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER 3

2.1.1. Hava Boşluğu Oranı (Porozite) 3

2.1.2. Yıllık Halka Genişliği 3

2.1.3. Ağaçta Bulunduğu Yer 4

2.1.4. Reaksiyon Odunu 4

2.1.5. Su Miktarı 4

2.1.6. İlkbahar ve Yaz Odunu Oranı 4

2.1.7. Ağaç Yaş Artışı 5

2.1.8. Yetiştirme Yeri Şartları 5

2.2. AĞAÇ MALZEMENİN YOĞUNLAŞTIRILMASI 5

2.2.1. Yoğunlaştırma Yöntemleri 6

2.3. AĞAÇ MALZEMEDE EMPRENYE İŞLEMİ 8

2.3.1. Emprenyenin Amacı ve Önemi 8

2.3.2. Emprenye Yöntemleri 9

2.3.2.1. *Basınç Uygulanan Yöntemler 9*

2.3.2.2. *Basınç Uygulanmayan Yöntemler 10*

2.3.3. Su İtici Maddeler 10

2.3.3.1. *Parafin 10*

2.3.3.2. *Bezir Yağı 11*

2.3.3.3. *Stiren* *11*
2.4. AĞAÇ MALZEME **12**
2.4.1. Uludağ Göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) **12**
2.4.2. Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) **12**
2.5. LİTERATÜR ÖZETİ **14**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **21**
3.1. MALZEME **21**
3.1.1. Ağaç Malzeme **21**
3.1.2. Su İtici Maddeler **21**
3.1.2.1. *Parafin* *21*
3.1.2.2. *Bezir Yağı* *22*
3.1.2.3. *Stiren* *22*
3.1.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması **22**
3.1.4. Emprenye İşlemi **23**
3.1.5. Yoğunlaştırma **25**
3.1.6. Deney Örneklerinin Ölçülendirilmesi **27**
3.2. YÖNTEM **28**
3.2.1. Retensiyon Değerinin Belirlenmesi **28**
3.2.2. Geri Esneme Oranının Belirlenmesi **28**
3.2.3. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi **29**
3.2.4. Su Alma ve Sıkıştırma Yönü Şişme Oranının Belirlenmesi **30**
3.2.5. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi **31**
3.2.6. Liflere Paralel Basınç Direncinin Belirlenmesi **32**
3.2.7. Janka Sertliğin Belirlenmesi **33**
3.2.8. Verilerin Değerlendirilmesi **34**
4. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ **35**
4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER **35**
4.1.1. Retensiyon **35**
4.1.2. Geri Esneme (Spring-back) Oranı **35**
4.1.3. Hava Kurusu Yoğunluk **40**
4.1.4. Su Alma Oranı **45**
4.1.5. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı **51**
4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER **56**

4.2.1. Statik Eğilme Direnci 56
4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü 60
4.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci 65
4.2.4. Janka Sertlik 69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 74
5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER 74
5.1.1. Geri Esneme (Spring-back) Oranı 74
5.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk 76
5.1.3. Su Alma Oranı 77
5.1.4. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı 79
5.2. MEKANİK ÖZELLİKLER 80
5.2.1. Eğilme Direnci 80
5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü 81
5.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci 83
5.2.4. Janka Sertlik 84
6. KAYNAKLAR 87
ÖZGEÇMİŞ 93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemenin neme maruz kalması sonucu meydana gelen geri esneme. 6
Şekil 2.2. THM yönteminde kullanılan kapalı sistem bir presin şematik görünümü. 7
Şekil 2.3. TM yoğunlaştırmada ahşabın hücre çeperinde meydana gelen deformasyon....7
Şekil 3.1. Taslak ölçülerinde kesilmiş örnekler 23
Şekil 3.2. Katı parafinin eritilmesi 24
Şekil 3.3. Örneklerin silindirik tank düzenekteki işlemi 24
Şekil 3.4. Emprenye çözeltisinde bekletilen örnekler 24
Şekil 3.5. Örneklerin yoğunlaştırılmasında kullanılan laboratuvar test presi....25
Şekil 3.6. Yoğunlaştırmada kullanılan metal kalıp ölçüleri 26
Şekil 3.7. Metal kalıplara yerleştirilmiş örnekler....26
Şekil 3.8. Deney örneklerinin yoğunlaştırılması....27
Şekil 3.9. Yoğunlaştırılmış örneklerin basınç altında soğutulması....27
Şekil 3.10. Örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi....29
Şekil 3.11. Örneklerin destile su içerisinde bekletilmesi....30
Şekil 3.12. Statik eğilme direnci deneyi....31
Şekil 3.13. Liflere paralel basınç direnci deneyi....33
Şekil 3.14. Janka sertlik testi 33

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Uludağ göknarı odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri 12
Çizelge 2.2. Titrek kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri 13
Çizelge 3.1. Katı parafinin özellikleri 21
Çizelge 3.2. İngiliz nevi bezir yağının özellikleri 22
Çizelge 3.3. Stiren monomerinin özellikleri 22
Çizelge 3.4. Sıkıştırma oranlarına göre deney örneklerinin taslak ölçüleri 23
Çizelge 3.5. Yoğunlaştırma varyasyonları 26
Çizelge 3.6. Uygulanacak testlere göre örnek ölçüleri ve sayıları 28
Çizelge 4.1. Deney örneklerinin retensiyon değerleri (kg/m^3) 35
Çizelge 4.2. Geri esneme oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%) 35
Çizelge 4.3. Geri esneme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları 36
Çizelge 4.4. Su itici madde düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları 37
Çizelge 4.5. Yoğunlaştırma düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları 37
Çizelge 4.6. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları 38
Çizelge 4.7. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları 38
Çizelge 4.8. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları 39
Çizelge 4.9. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları 39
Çizelge 4.10. Hava kurusu yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm^3) 40
Çizelge 4.11. Hava kurusu yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçları 41
Çizelge 4.12. Ağaç türü düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 42
Çizelge 4.13. Su itici madde düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 42
Çizelge 4.14. Yoğunlaştırma düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 42
Çizelge 4.15. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 43
Çizelge 4.16. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 43
Çizelge 4.17. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 44
Çizelge 4.18. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 44
Çizelge 4.19. Su alma oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%) 45
Çizelge 4.20. Su alma oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları 46
Çizelge 4.21. Ağaç türü düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi

karşılaştırma sonuçları.....47
Çizelge 4.22. Su itici madde düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....47
Çizelge 4.23. Yoğunlaştırma düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....48
Çizelge 4.24. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....48
Çizelge 4.25. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....49
Çizelge 4.26. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....49
Çizelge 4.27. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....50
Çizelge 4.28. Sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%) 51
Çizelge 4.29. Sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.....52
Çizelge 4.30. Ağaç türü düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 52
Çizelge 4.31. Su itici madde düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....52
Çizelge 4.32. Yoğunlaştırma düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....53
Çizelge 4.33. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 53
Çizelge 4.34. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 54
Çizelge 4.35. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 54
Çizelge 4.36. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....55
Çizelge 4.37. Eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2).....56
Çizelge 4.38. Eğilme direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları.....57
Çizelge 4.39. Ağaç türü düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....58
Çizelge 4.40. Su itici madde düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....58
Çizelge 4.41. Yoğunlaştırma düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....58
Çizelge 4.42. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....59
Çizelge 4.43. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direncinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....59
Çizelge 4.44. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....60
Çizelge 4.45. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2) 60
Çizelge 4.46. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin varyans analizi sonuçları 611
Çizelge 4.47. Ağaç türü düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 62
Çizelge 4.48. Su itici madde düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin

Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....62
Çizelge 4.49. Yoğunlaştırma düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....63
Çizelge 4.50. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 63
Çizelge 4.51. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 64
Çizelge 4.52. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....64
Çizelge 4.53. Liflere paralel basınç direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2) 65
Çizelge 4.54. Liflere paralel basınç direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları 66
Çizelge 4.55. Ağaç türü düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 66
Çizelge 4.56. Su itici madde düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....67
Çizelge 4.57. Yoğunlaştırma düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....67
Çizelge 4.58. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 68
Çizelge 4.59. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....68
Çizelge 4.60. Sertlik değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2) 69
Çizelge 4.61. Sertlik değerlerinin varyans analizi sonuçları 70
Çizelge 4.62. Su itici madde düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....70
Çizelge 4.63. Yoğunlaştırma düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....71
Çizelge 4.64. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....71
Çizelge 4.65. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.....72
Çizelge 4.67. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları 73

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANOVA	Analysis of Variance
ASTM	American Society for Testing and Materials
GDO	Geri Dönüş Oranı
GEO	Geri Esneme Oranı
HG	Homojenlik Grubu
ISO	International Standart Organization
Knt1	Emprenyesiz
Knt2	Yoğunlaştırılmamış
LDN	Lif Doygunluğu Noktası
LSD	En Küçük Önemli Aralık
SAO	Su Alma Oranı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SİE	Su İtici Etkinlik
SİM	Su İtici Maddeler
SO	Sıkıştırma oranı
St.S	Standart sapma
SŞO	Sıkıştırma Yönü (Radyal) Şişme Oranı
THM	Thermo Hygro Mechanical – Termo Higro Mekanik
TM	Thermo Mechanical – Termo Mekanik
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü Euro Norm
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TVM	Termo Vibro Mekanik
VTC	Viscoelastic Thermal Compression

SİMGELER

Em	Eğilmede Elastikiyet Modülü
E-mod	Elastikiyet Modülü
g	Gram
H_j	Janka Sertlik Değeri
KPa	Kilopascal
M	Kütle
MPa	Megapascal
N	Newton
r	Rutubet
V	Hacim
δ_0	Tam Kuru Yoğunluk
δ_{12}	Hava Kurusu Yoğunluk
αk	Kalınlık Artış (Şişme) Oranı
σb	Liflere Paralel Basınç Direnci
σe	Eğilme Direnci
$\bar{x}$	Aritmetik Ortalama
ΔF	Elastikiyet Bölgesindeki Kuvvet Farkı
Δf	Eğilme Miktarını

ÖZET

TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRILMIŞ AHŞAP MALZEMELERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE SU İTİCİ MADDELERİN ETKİSİ

Fatih EMİROĞLU
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin PELİT
Ekim 2018, 92 sayfa

Bu çalışmada; su itici özellikteki maddeler ile emprenye edildikten sonra farklı sıcaklık ve oranlarda termo-mekanik yöntem ile yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla, Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve titrek kavak (*Populus tremula* L.) odunlarından hazırlanmış olan örnekler, ön vakum uygulanarak atmosferik basınç ortamında parafin, bezir yağı ve stiren ile emprenye edilmiştir. Emprenyeli örnekler daha sonra hidrolik bir pres kullanılarak termo-mekanik yöntem ile üç farklı sıcaklık (120 °C, 150 °C ve 180 °C) ve iki farklı sıkıştırma oranında (%20 ve %40) preslenerek yoğunlaştırılmıştır. Deney örneklerinde, fiziksel özellikleri belirlemek için geri esneme (spring-back) 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 Janka sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, yoğunlaştırılmış göknar ve kavak örneklerin seçilmiş tüm özelliklerini emprenye ön işlemleri önemli derecede etkilemiştir. Parafin ve bezir yağı uygulamasına göre stiren ile muamele edilen örneklerde çok daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Emprenye ön işlemi yapılmış ve yoğunlaştırılmış örneklerde hava kurusu yoğunluk değeri %174 oranına kadar artış göstermiştir. Yoğunlaştırılmış örneklerde emprenye ön işlemleri sayesinde geri esneme (spring-back), su alma ve sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranları sırası ile %81, %90 ve %91'e kadar azalmıştır. Diğer taraftan, işlemsiz (kontrol) örneklere göre emprenye ve yoğunlaştırma modifikasyonu yapılmış örneklerin mekanik direnç özelliklerinde %93 ve sertlik değerinde ise %636'ya kadar çok önemli artışlar sağlanmıştır.

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

ABSTRACT

THE EFFECT OF WATER REPELLENTS ON SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THERMO-MECHANICAL DENSIFIED WOOD MATERIALS

Fatih EMİROĞLU
Düzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Wood Products Industrial Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hüseyin PELİT
October 2018, 92 pages

The aim of this study is to determine some physical, mechanical and technological properties of wood materials densified by thermo-mechanical method at different temperatures and rates after being impregnated with water repellents. For this purpose, the samples prepared from Uludağ fir (*Abies bornmülleriana Mattf.*) and aspen (*Populus tremula L.*) woods were impregnated with paraffin, linseed oil and styrene in an atmospheric pressure environment by pre-vacuum. The impregnated samples were then compressed using thermo-mechanical method at three different temperatures (120 °C, 150 °C and 180 °C) and two different compression ratios (20% and 40%) using a hydraulic press. In the test samples, 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 and Janka hardness tests were performed in order to determine mechanical properties. According to the results of the study, impregnation pre-treatment significantly affected all of the selected properties of impregnated fir and poplar samples. Compared to the application of paraffin and linseed oil, more positive results were obtained in the samples treated with styrene. Impregnation was pre-treated and the density of air drying increased up to 174% in the densified samples. Thanks to the impregnation pretreatments in the densified samples, the spring-back, water absorption and compression direction (radial) swelling ratios decreased by 81%, 90% and 91%, respectively. On the other hand, 93% increase was obtained in mechanical strength properties and 636% increase was obtained in hardness values of the impregnated and densified modified samples compared to untreated (control) samples.

Keywords: Wood material, Impregnation, Densification, Physical and mechanical properties.

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanoğlunun yaşamında vazgeçilmez bir hammadde kaynağı olan ağaç malzemenin kendine özgü birçok avantajı vardır. Ağaç malzeme demir ve çelik gibi yapı malzemeleri ile karşılaştırıldığında, hafif olmasına karşın direnci yüksektir, işlenmesi kolaydır ve işlenme sırasında enerji tüketimi daha azdır. Bunun yanı sıra, değişik renk ve desene sahip olması, ses, ısı ve elektriği az iletmesi, renklendirme, vernikleme gibi yüzey işlemleri uygulanarak daha çekici hale getirilebilmesi gibi nedenlerle ağaç malzeme, başta doğrama endüstrisi olmak üzere mobilya ve dekorasyonda tercih edilen bir materyal olarak karşımıza çıkmaktadır [1].

Ağaç malzemenin belirtilen olumlu özelliklerinin yanı sıra organik bir malzeme olmasından kaynaklanan yanabilme özelliği, böcekler ve mantarlar tarafından tahrip edilebilmesi, havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak boyutlarını değiştirebilmesi ve güneş ışınlarının etkisiyle renginin solması onun sakıncalı özellikleri olarak kabul edilmektedir [1]. Ağaç malzemenin olumsuz yönlerinin iyileştirilmesi ve hizmet ömrünün uzatılabilmesi amacıyla geçmişten günümüze farklı modifikasyon yöntemleri geliştirilmiştir.

Ağaç malzemede su itici bir engel oluşturularak, su alma oranı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Kullanılan maddelere ve miktarlarına bağlı olarak, su itici maddeler hücre boşluklarını doldurmakta, dış yüzeylerde ve kısmi olarak iç yüzeylerde depolanmaktadır. Böylece odun yüzeyi hidrofobik özellik göstermekte ve su alma oranı düşmektedir [2], [3]. Su itici maddeler tam olarak su alımını engellemese de, ağaç malzemenin dış hava koşullarında kullanılmasında en etkili maddelerdir. Su itici maddeler ayrıca, ağaç malzemede mantar ve mikroorganizmaların gelişimi için ihtiyaç duyduğu rutubet miktarını düşürerek, bu zararlılara karşı ahşabı korurlar [4], [3].

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 olarakda 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 getirilerek uygulama ve

kullanım alanları arttırılabilmektedir [5].

Ağaç malzeme basınç altında sıkıştırılarak, hücre çeperine bazı kimyasalların emdirilmesiyle (emprenye) veya sıkıştırma ile emprenye işlemlerinin birlikte kullanılması ile yoğunlaştırılabilmektedir [6], [7]. Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemenin en önemli dezavantajı, su ile temas ettiğinde veya neme maruz kaldığında, sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerine geri dönme (geri esneme) eğiliminde olmasıdır. Diğer bir ifade ile, sıkıştırma deformasyonundaki kalıcılığın sağlanamamasıdır. Buradaki geri esneme gerçek şişmenin aksine geri dönüşümü olmayan bir durumdur [8], [5].

Mekaniksel olarak sıkıştırılmış ahşabın ölçüsel stabilitesini arttırmak için ısı ve buharın kombine edildiği termo-higro-mekanik (THM) ve viskoelastik termal sıkıştırma (VTC) gibi çeşitli yoğunlaştırma metotları geliştirilmiştir. Ayrıca, sıkıştırılmış ahşaba yüksek sıcaklıkta uygulanan ısıl işlemler ile ölçüsel stabilite arttırılmaktadır [9].

Araştırmada; termo-mekanik yöntemle yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerde sıkıştırma deformasyonunun kalıcılığı (boyutsal stabilite) üzerine su itici özellikteki maddeler ile ön emprenye işlemlerinin etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, emprenye ve yoğunlaştırma işlemleri ile modifiye edilen bu ağaç malzemelerde bazı fiziksel ve mekanik özellikler analiz edilmiştir.

Çalışmada, Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve titrek kavak (*Populus tremula* L.) odunlarından hazırlanmış örnekler su itici özellikteki maddeler (parafin, bezir yağı ve stiren) ile vakum tutuculu silindirik tank düzenekte emprenye edilmiştir. Emprenyeli örnekler daha sonra hidrolik bir pres kullanılarak termo-mekanik yöntem ile üç farklı sıcaklık (120, 150 ve 180 °C) ve iki farklı sıkıştırma oranında (%20 ve %40) sıkıştırılarak yoğunlaştırılmıştır. Örneklerde fiziksel özellikleri belirlemek için retensiyon, geri esneme (spring-back) oranı, hava kurusu yoğunluk, su alma (absorpsiyon) oranı ve sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranı; mekanik özelliklerini belirlemek için ise statik eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve Janka sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonucu elde edilen veriler kontrol grupları ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve uygulamaya yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. AĞAÇ MALZEME YOĞUNLUĞUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ağaç malzemenin yoğunluğu, onun diğer özellikleri ve kullanış imkanları 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 [10].

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 [10]. Ağaç malzeme yoğunluğunu etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Hava Boşluğu Oranı (Porozite)

Ağaç malzemelerin yoğunluğundaki farklılığın başlıca sebeplerinden biri birim hacimlerindeki 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 malzemede hava boşluğu miktarı azaltılarak yoğunluğu arttırılabilir. Odunun yoğunluğu hücre çeperi maddesi yoğunluğu olan 1,5 g/cm^3 iken odunda hiç hava boşluğu bulunmaz [10].

2.1.2. 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 [11].

2.1.3. 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 değişmeleri belirgin değildir. Ağaç gövdesinde aşağıdan yukarıya doğru çıkıldıkça yoğunluk, iğne yapraklı ağaçlarda azalır, yapraklı ağaçlarda ise belirgin olmamakla birlikte artar [10].

2.1.4. 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 [10].

2.1.5. 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/cm^3 den az olan odunlarda lif doygunluk noktasına kadar su miktarı arttıkça kütledeki artış hacim artışından fazla olduğundan yoğunluk artar. Buna karşılık yoğunluğu 1,1 g/cm^3 den yüksek olanlarda ise LDN'ye kadar su miktarı arttıkça hacim artışı kütle artışından fazla olduğundan yoğunluk azalır. LDN'den sonra tekrar artış gösterir [10].

2.1.6. İlkbahar ve Yaz Odunu Oranı

Ağaç malzemede 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 [11].

2.1.7. 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 [11].

2.1.8. Yetiştirme Yeri Şartları

Yetiştirme yeri şartlarından yükselti ve yön, yoğunluğu etkiler. Örneğin; ladin ile kayında güneyden kuzeye doğru gidildikçe yoğunlukta artış tespit edilmiştir [11].

2.2. AĞAÇ MALZEMENİN YOĞUNLAŞTIRILMASI

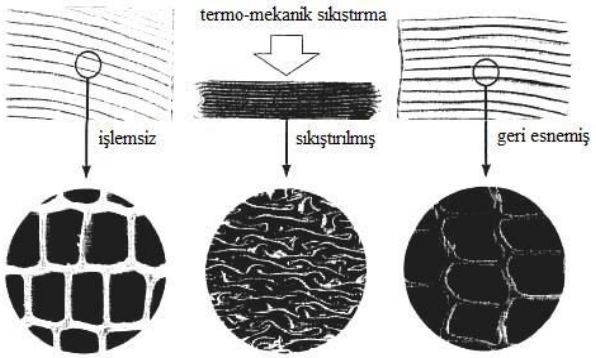
Yoğunluğu yüksek ağaç malzeme, taşıyıcı uygulamalar ve aşınma direncinin önemli olduğu yerler için gereklidir. Düşük yoğunluklu ve ticari olarak ilgi çekici olmayan ağaç türleri yoğunlaştırma işlemleri ile modifiye edilerek, yüksek performanslı ve değerli ürünler haline getirilebilir. Yoğunluğu yüksek denebilecek ağaçların bile yoğunlaştırma işlemleri uygulanarak sertlik ve direnç özellikleri daha da iyileştirilebilir [6], [12].

Ağaç malzeme basınç altında sıkıştırılarak, hücre çeperine bazı kimyasalların-reçinelerin emdirilmesiyle (impregnasyon) veya sıkıştırma ile impregnasyonun birlikte kullanılmasıyla yoğunlaştırılabilmektedir [6], [7]. Sıkıştırarak yoğunlaştırmada, ağaç malzemenin hücre çeperi çökertilerek ve boşluk hacmi azaltılarak yoğunlaştırma gerçekleştirilir [13]. 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 kaldırılabilmektedir [5], [6], [14]. 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 [12], [15].

2.2.1. Yoğunlaştırma Yöntemleri

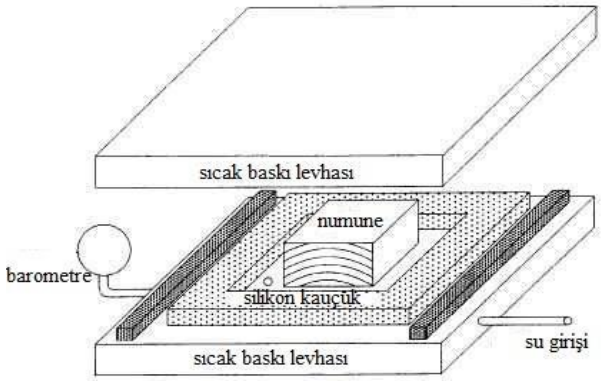
Sıkıştırılmış masif ahşap ilk kez, 1930'lu yılların başlarında ticari ismi "Lignoston" olarak Almanya'da piyasaya sunulmuştur. Ayrıca ahşap kaplamaların sıkıştırılması ile elde edilen ve ticari ismi "Lignofol" olan ürün üretilmiştir. Aynı yıllarda İngiltere'de Jicwood ve Jablo tarafından benzer ürünler (plywood) üretilmiştir. Ağaç malzemenin yoğunlaştırması ile ilgili diğer önemli iki yöntem ise, ABD'de Orman Ürünleri Laboratuarında geliştirilen "Compreg" ve "Staypak" ticari isimlerindeki ürünlerdir [5].

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 [5].



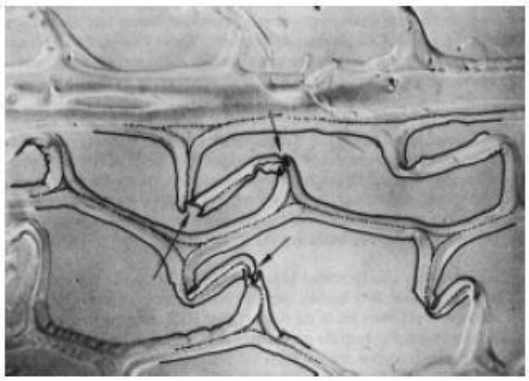
Şekil 2.1. Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemenin neme maruz kalması sonucu meydana gelen geri esneme [5].

THM yoğunlaştırma, 1997'den beri bilinen bir yöntem olup, kapalı bir sistemde sıcaklık, buhar ve basıncın etkisi altındaki ahşabın yoğunlaştırılmasıdır [16]. 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 [5].

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 higroskobiktir. 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 yaşanmamakta [5], [6], [17].



Şekil 2.3. TM yoğunlaştırmada ahşabın hücre çeperinde meydana gelen deformasyon [18].

VTC yoğunlaştırma, mekaniksel olarak sıkıştırılmış ahşabın yoğunluğunu %100 - %300 arasında arttırmak için yapılan çalışmalardır. VTC yoğunlaştırma süreci ahşap yumuşatma, sıkıştırma ve son olarak ısıl işlem-kondüsyonlama aşamalarından oluşur [5].

VTC işleminde önemli olan nokta, yüksek basınçlı bir buhar ortamında ahşabın

yumuşatılmasıdır. Ön yumuşatma işlemiyle, aşırı yük altındaki ahşabın hücre kırılmaları önlenmektedir. Sıkıştırmadan sonra ısıl işlem (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 kurumasının (desorpsiyon) daha hızlı ve daha yeknesak bir şekilde gerçekleşmesidir. VTC yoğunlaştırma yönteminde, ahşabın mekanik direnç özellikleri artarken özellikle ölçüsel stabilizasyonu yüksek derecede sağlanmaktadır [19], [6], [5].

2.3. AĞAÇ MALZEMEDE EMPRENYE İŞLEMİ

Tarih boyunca insanların en yaygın olarak kullandığı malzeme ahşap olmuştur. Sanayinin gelişmesiyle yerini metal ve plastik türevli ürünlere bıraksa da, ahşabın doğallığı, insana ferahlık veren yapısı, mekanik ve fiziksel özellikleri sebebiyle değerini hiçbir zaman kaybetmemiş, aksine hep aranan ve akla ilk gelen malzeme olmuştur. Bu üstün özelliklerinin yanı sıra, ahşap malzeme doğal bir materyal olduğu için biyolojik canlılar (mantar, böcek) tarafından kolayca ve hızlı bir şekilde tahrip edilebilmesi, rutubet ve sıcaklığa bağlı olarak ebatlarını değiştirmesi ve yanabilen bir malzeme olması sebebiyle dış ortamda kullanılırken çeşitli koruyucu maddelerle muamele edilmesi gerekmektedir [20].

Ahşap malzemenin daha uzun ömürlü olması için insanoğlu hep arayış içinde olmuştur. Tarih öncesi kalıntılarda yapılan inceleme ve araştırmalarda ahşap malzemenin ömrünü uzatabilmek için yapılan en basit uygulama malzemelerin kömürleştirilerek korunmasıdır. Bu uygulamada toprak altında kalacak ahşap malzeme yakılarak yüzey kısmının kömürleşmesi sağlanırdı. Ayrıca bitkisel ve hayvansal yağlar da ağaç malzemenin ömrünün uzatılmasında kullanılmıştır [20].

2.3.1. Emprenyenin Amacı ve Önemi

Herhangi bir koruyucu işlem görmemiş doğal haldeki ağaç malzemenin kullanım yerinde mantarlar ve böcekler tarafından tahrip edilerek çürütülmesi sonucu her yıl büyük maddi kayıplar söz konusu olmaktadır. Çünkü organik bir madde olan ağaç malzemenin

çürütülmesi ve böceklerle tahrip edilmesi doğal bir olaydır. Ancak alınacak çeşitli önlemlerle, özellikle kimyasal önlemlerle ağaç malzemenin uzun yıllar bu zararlılardan korunması mümkün olmaktadır. Günümüzdeki kimyasal önlemlerle yani zararlı organizmalar için zehirli etki yapan emprenye maddeleri kullanılarak, ağaç malzemenin hizmet ömrü uzatılmaktır [21].

2.3.2. Emprenye Yöntemleri

Koruyucu kimyasal maddelerin oduna emdirilmesi; basınç uygulanmayan, basınç uygulanan, besi suyu çıkarma, difüzyon ve yerinde bakım olmak üzere beş farklı yöntem ile yapılmaktadır. Emprenye maddesi ve yönteminin seçiminde, teknik ve ekonomik şartlar ile kullanım yeri dikkate alınır [10].

2.3.2.1. *Basınç Uygulanan Yöntemler*

Basınç uygulanan metotlar, ağaç malzemenin emprenyesinde en etkili metotlardır. Bu metotları uygulayan tesislerde ağaç malzeme çelik bir kazan içerisine yerleştirilmekte ve belli bir basınç yâda vakum altında emprenye maddesi, odun hücrelerinin içerisine sevk edilmektedir. Bu uygulama şekli ile emprenye maddesinin malzemede daha yeknesak dağılması, daha derine nüfuz etmesi daha fazla miktarda absorbe edilmesi sağlanabilir. Basınç uygulayan metotlar içinde iki metot en fazla kullanılmaktadır. Bunlar boş hücre ve dolu hücre metotlarıdır. Tesisin en önemli kısmı emprenye kazanı olup, yatık, çoğunlukla silindir, bazen dikdörtgen prizma şeklindedir. Yüksek basınçlara dayanıklı çelik malzemeden yapılmıştır. Kazanın büyüklüğüne, emprenye edilecek malzemenin ölçülerine ve kullanılan doldurma sistemine bağlı olarak kazan kapıları önde ya da her iki tarafta olabilir [22].

Dolu hücre metodunun amacı, emprenye edilen malzemede en yüksek seviyede koruma maddesi absorbe edilmesini sağlamaktır. Bu nedenle hücrelerdeki havanın mümkün olduğu kadar fazla miktarda çıkarılması ve emprenye maddesinin girmesini önleyen hava yastığının ortadan kaldırılması gerekmektedir. Böylece hücre lümenleri ve çeperleri emprenye maddesi ile dolmaktadır. İşlem sonunda, kazanda basınç kaldırıldığında hücrelerde kalan havanın genişlemesiyle emrenye maddesinin geri atılması, bu metotta en az düzeye indirilmektedir [22].

Fazla emprenye maddesi harcayan dolu hücre metodu ile yapılan uygulamanın maliyeti yüksek olduğundan daha ekonomik olan ve devamlı olarak yeterli derecede koruma sağlayacak metotların geliştirilmesi yoluna gidilmiş ve boş hücre metotları bulunmuştur.

Boş hücre metotlarından en önemlileri Rüping metodu ile Lowry metodudur. Hem Rüping hem de Lowry metotlarında uygulama ön vakum işlem dışında dolu hücre metoduna benzemektedir. Bu metotlarda emprenye maddesi verilmeden önce ve sevk sırasında vakum yapılmamaktadır. Ayrıca boş hücre metodunun uygulanmasında basınç sona erdiğinde ağaç malzeme içinde sıkışık durumda bulunan hava yardımıyla, ihtiyaç dışı emprenye maddesi dışarıya atılmaktadır. Böylece hücreler büyük oranda boş kalmaktadır [21].

2.3.2.2. *Basınç Uygulanmayan Yöntemler*

Bu gruba, fırça ile sürme, püskürtme, sulama, daldırma, batırma ve açık kazanda sıcak soğuk emprenye metotları girmektedir. Ağaç malzeme basit bir şekilde emprenye edilmek istendiğinde kullanılan bu metotlarda emprenye maddesi absorpsiyonu ve nüfuz derinliği genellikle az olmaktadır [21].

2.3.3. Su İtici Maddeler

Su iticilik sağlayan maddeler ile işlem gören ağaç malzeme dış hava etkilerine, su veya rutubete karşı vernikleme işleminden daha uzun süre korunmaktadır. Bunun yanında su itici maddeler, mantar ilaçları (fungisit) ile renk mantarlarının gelişmesini önlemekte, renk maddeleri (pigment) ile güneş ışınlarına karşı direnci artırmakta, kabarmayı önleyici maddeler ile kabarmayı engellemektedir. Ayrıca, vernikler gibi kısa sürede çatlamamakta, fakat etkileri yavaş yavaş (tedricen) azalmaktadır. Ağaç malzeme, tekrar bakım gerektirdiğinde, yüzeyleri kirden temizlenip kurutulduktan sonra su itici maddelerle tekrar muamele edilmektedir [21]. Su iticilik sağlayan bazı maddelere ilişkin genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.3.3.1. *Parafin*

Katı ve sıvı olmak üzere iki farklı formda elde edilmektedir. Genel itibariyle ham petrolün rafine edilmesi esnasında yan ürün olarak çıkan parafin; özel tekniklerle saflaştırılıp yağ oranı, donma noktası, rengi ve kokusu iyileştirildikten sonra kullanıma hazır hale getirilir. Genel olarak katı parafin 45 °C - 72 °C donma noktasına ve %1 - %35 yağ oranı arasında çeşitli özelliklerde ve kristal yapıda bulunur. Parafin başta mum sektörü olmak üzere orman ürünleri, kağıt, inşaat, tarım, kaplama, fizik tedavi, tıp ve kozmetik sektörlerinde yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Parafinin kimyası gereği su itici ve reaksiyon vermeyen (inert) nitelikte olmasından dolayı, suyun istenmediği ya da olumsuz etkiler oluşturduğu uygulamalarda su itici ajan olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca yapısı

gereği ısıl iletkenliği düşük olan parafin bir izolasyon malzemesi gibi davranış gösterdiğinden, kaplama, fizik tedavi, kozmetik ve tıp alanlarında da sıklıkla kullanılmaktadır [23].

2.3.3.2. *Bezir Yağı*

Bezir yağı kendir, kenevir tohumlarının sıcak veya soğuk preslenmesi sonucu elde edilir. Her iki yolla üretilen yağ "ham bezir" yağıdır. Soğuk yöntemle yapılan üretimde yağ verimi düşük, elde edilen yağın kalitesi yüksektir. Ham bezir yağı sadece havadan aldığı oksijenle sertleştiği için, kuruma süresi uzundur. Bu sebeple ağaç malzeme yüzeylerinde koruyucu katman hazırlamak amacı ile kullanılmaz. Daha çok boya/vernik üretiminde hammadde olarak kullanılır. Kuruma süresini kısaltmak için ham bezir yağı pişirme işlemine tabi tutulur. Pişirme işleminde, yağlarda eriyen ve oksijen verme yeteneğindeki metal oksitler ile karıştırılan yağ, kapalı kazanlarda 60-100 °C'de ısıtılır ve üzerinden basınçlı hava geçirilir [24].

Pişirme işleminde kullanılan metal oksit, yağın rengini ve katmandaki kuruma etkinliğini belirler. Kurşun oksit daha sarı renk verirken, katmanın alt kısımlarında kurumada etkili olur. Kobalt oksit daha açık sarı renkte, hafif olduğu içinde katmanın üst kısmında kurumayı hızlandırır. Ancak bu durum katmanın iç kısmındaki kurumayı geciktirir. Mangan oksit ise yağa açık sarı renk verir ve her iki yönde de kurumayı çabuklaştırıcı etkide bulunur. Yağ üretici firmalar genellikle en iyi kuruma zamanını ve kusursuz katman oluşumunu elde etmek için bu üç metal oksiti belirli oranlarda karışım halinde kullanırlar [24].

2.3.3.3. *Stiren*

Oda sıcaklığında sıvı olan stirenin 1 atm basınç altındaki kaynama noktası 145,2 °C'dir. Düşük derişimlerde hoş bir kokuya sahip olmasına rağmen yüksek derişimlerde kötü bir koku hakimdir. Belirli derişimlerde gözleri ve solunum yollarını tahriş edici özelliğe sahiptir. Ayrıca patlama özelliği olan stirenin parlama noktası 31 °C'dir. Bakır ve bakır alaşımları; stirenin rengini bozması ve polimerizasyon esnasında inhibitör görevi görmesi nedeni ile stirenle yapılan çalışmalarda kullanılmamalıdır. Bunun yanında oksijen atomu da polimerizasyona engel olması nedeniyle bir inert gaz yardımı ile stiren monomerinin üzerinden uzaklaştırılmalıdır. Stiren polimerizasyonunun egzotermik olması ve kendi kendini katalizleyebilmesi nedeni ile stiren monomeri soğuk olarak depolanmalıdır. Aksi taktirde erken polimerizasyon oluşacaktır ki bu da istenmeyen bir durumdur. Stiren

monomeri sıcaklık 95 °C'den fazla olmamak koşulu ile en az 3 ay değişime uğramadan saklanabilir [25].

2.4. AĞAÇ MALZEME

2.4.1. Uludağ Göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.)

Ülkemizde Bafra ile Uludağ arasındaki Batı Karadeniz ve Marmara Bölgesinde yayılmıştır. Uludağ göknarında ortalama boy 30-40 m, çap 1 m kadardır [11]. Diri odun ve öz odun renk bakımından farklı değildir. Olgun odun özelliğinde olup, odunun rengi sarımsı beyaz ile gri beyazdır. Yıllık halka sınırları belirgindir. Yaz odunu belirgin ve koyu kırmızımsı renktedir. Yumuşak ve oldukça hafif bir oduna sahiptir. Uludağ göknarı odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [26].

Çizelge 2.1. Uludağ göknarı odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özellik	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	D_o	0,49	g/cm^3
	D_{12}	0,43	g/cm^3
Daralma yüzdesi	βr	3,8	%
	βt	7,6	%
	βv	11,5	%
Elastikiyet modülü	E-Mod	10 000	N/mm^2
Eğilme direnci	σ***e***	71	N/mm^2
Basınç direnci	σb//	46	N/mm^2
Çekme direnci	$\sigma_ç$//	82	N/mm^2
Dinamik eğilme direnci	a	0,41	kN/cm

İyi ve çabuk kurutulur, çatlamaya ve şekil değişimine eğilimi azdır. Soyulabilir, fazla miktarda öz ışını bulunması nedeniyle kolay yarılır. İyi işlenir ve yapıştırılır. Odunu dayanıklı olmayıp, mantar ve böceklere karşı hassastır. Güç emprenye edilir. Bina inşaatında iç kısımlarda, mobilya yapımında ara ve iç bölmelerde, ambalaj ve kağıt sanayiinde kullanılmaktadır [26].

2.4.2. Titrek Kavak (*Populus tremula* L.)

Ülkemizde; Batı Trakya, Batı Anadolu ve Karadeniz mıntıkalarında çok iyi gelişme göstermekte olup, Güneydoğu ve İç Anadolu step bölgesi dışında kalan tüm orman mıntıkalarındaki yapraklı ve iğne yapraklı karışık ormanlarında kümeler halinde veya serpili olarak, yangın geçirmiş ve tıraşlama alanlarında ise saf meşcereler halinde yayılış göstermektedir. Bu ağaç türü 25 m'ye kadar boylanabilen, silindirik gövde, sık dallı, geniş

konik tepeye sahip I. sınıf bir orman ağacıdır [27], [28].

Titrek kavak odunu yeni kesildiğinde açık renkli, diri odunu beyaz, sarımsı beyaz veya fildişi rengindedir. Kuruduktan sonra öz odunun rengi uçuklaşır. Ancak koyu renkli bir öz odunu yoktur ve tamamen diri odun karakterindedir. Yaz odunu tabakası koyuca ve kokusuzdur. Genellikle odunu ince veya orta tekstürlü ve düzgün liflidir. Perforasyonu basit, spiral kalınlaşmaları ve öz lekeleri bulunmamaktadır. Tekdüze bir yapıya sahiptir. Çok hafif ve yumuşak bir odunu vardır [29]-[31]. Titrek kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir [32].

Çizelge 2.2. Titrek kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özellik	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	D_o	0,38	g/cm^3
	D_{12}	0,42	g/cm^3
Daralma yüzdesi	βr	3,94	%
	βt	8,05	%
	βv	12,04	%
Elastikiyet modülü	E-Mod	-	N/mm^2
Eğilme direnci	σ_e	76	N/mm^2
Basınç direnci	σb//	40	N/mm^2
Çekme direnci	$\sigma_ç$//	-	N/mm^2
Dinamik eğilme direnci	a	0,52	kN/cm

Titrek Kavak odununun çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Odununun yeknesak yapıda olması, yumuşak ve kolayca soyulabilmesi, eğilme direncinin yüksek olması, kimyasal maddeleri absorbe etme özelliği ve yandığında is çıkarmaması, yıllık halkalarının dar olması, koyu renkli bir özünün bulunmaması ve düzgün lifli olması nedeniyle soyma makinelerinde kolaylıkla tabakalar halinde soyulabilmesi gibi nedenlerle kibrit çöpü yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca hektar başına kuru odun maddesi veriminin yüksek olması da (hektarda 6,7 ton kuru odun maddesi verimi) Titrek kavak'ı kağıt ve selüloz üretiminde aranılan bir tür yapmaktadır. Titrek kavak odunundan yapılacak odun kaplama levhalarının hafifliği ve şeklini muhafaza ederek çarpılmaması, yeknesak bir şekilde çalışması dolayısıyla konstrüksiyon levhalarının iç ve dış kısımlarında ve kaplama levhalarına stabil bir zemin oluşturması gibi kullanım alanları da bulunmaktadır [32].

2.5. LİTERATÜR ÖZETİ

Odunun çalışmasını azaltmak amacıyla kullanılan bazı su itici maddelerin, odunun yanmayı arttırıcı özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapılan çalışmada; sarıçam odunundan hazırlanan deney örnekleri borik asit, boraks, sodyum perborat'ın sulu veya PEG-400'de çözündürülmüş preparatları, su itici maddelerden; parafin, stiren, metilmetakrilat ve izosiyanat ile emprenye edilmiştir. Sonuç olarak, borlu bileşiklerin odunun yanma direncini artırdığı ve su itici maddelerin yanmayı artırıcı etkilerini belli oranda azalttığı belirlenmiştir [33].

Sahil çamı (*Pinus pinaster*) ve kavak (*Populus Euramericana*) odunu örnekleri stiren (ST), metil metakrilat (MMA) ve stiren/metil metakrilat (ST/MMA) karışımı ile emprenye edildikten sonra örneklerin bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. ST/MMA karışımı ile muamele edilen çam örneklerinde liflere paralel basınç direnci değerinin en yüksek 625 kg/cm^2 olduğu ayrıca, çalışmada kullanılan tüm monomerlerin sahil çamı ahşabının mekanik direnç özelliklerini arttırdığı rapor edilmiştir [34].

Kızılağaç (*Alnus glutinosa*) odunu örnekleri stiren, metilmetakrilat ve stiren+metilmetakrilat (%70-%30) karışımı olmak üzere 3 farklı monomer ile emprenye edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre yüksek miktarda su itici etkinlik elde edildiği ve ayrıca, %10-15 arasında boyutsal kararlılığın sağlandığı bildirilmiştir [35].

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunundan hazırlanan örnekler borik asit, boraks ve PEG-400 ile emprenye edildikten sonra su itici maddelerden stiren, metilmetakrilat ve izosiyanat ile tekrar emprenye edilmiştir. Örnekler daha sonra 6, 24, 48 ve 72 saat süre ile yıkanma etkisinde bırakılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, su itici etkinlik değeri bakımından PEG-400 ve su itici maddelerle emprenye edilen örneklerin diğer gruplara göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir [36].

Çeşitli borlu bileşikler ve su itici maddelerle muamele edilen cennet ağacı odununun yoğunluk, yanma ve su alma gibi bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada; borlu bileşiklerden, borik asit, boraks ve borik asit+boraks karışımı, su itici maddelerden metilmetakrilat (MMA), stiren (St), MMA+St ve izosiyanat kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca ticari emprenye maddelerinden vacsol, immersol WR, PEG-400, Tanalith-CBC ve fosforik asit karşılaştırma amacıyla denenmiştir. Çalışmada kullanılan monomer maddeler, örneklerin su alma oranında önemli derecede azalma sağlarken; borlu bileşikler üzerine uygulanan monomer muamelesi de benzer etkiyi

göstermiştir. Monomerlerle emprenye edilen örneklerde, su alma oranlarının %100'lere varan oranlarda azaldığı ve MMA+St karışımının su alımını azaltan en etkili uygulama olduğu bildirilmiştir [37].

Ticari nitelikli çeşitli emprenye maddeleri, borlu bileşikler, polietilen glikol ve su itici maddelerle muamele edilen sarıçam odununda, emprenye maddelerinin retensiyon ve higroskopisite üzerine etkilerinin belirlendiği çalışmada, su itici maddelerden; stiren, metilmetakrilat ve izosiyonat kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca, borik asit ve boraks karışımının (7:3) sulu çözeltileri ve PEG-400 emprenye maddesi üzerine ikincil olarak su itici maddelerle emprenye işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; ticari ve borlu emprenye maddeleri ile muamele edilen sarıçam odununda % retensiyon değerlerinin düşük düzeyde olduğu, su itici maddelerle (SİM) muamele edilen sarıçam odununda %30-70 oranında yüksek retensiyon değerlerinin elde edildiği ayrıca, sarıçam odununda, retensiyon oranları üzerinde belirleyici etkenin çözücü madde olduğu bildirilmiştir [38].

Kayın odunundan hazırlanan deney örnekleri borik asit (BA), boraks (Bx) ve BA+Bx karışımı; ticari emprenye maddelerinden amonyum sülfat (AS), diamonyum fosfat (DAP) ve vaksol; odun hücre çeperlerini genişletme özelliğine sahip PEG-400, su itici maddelerden stiren (St), metilmetakrilat (MMA), St+MMA karışımı ve izosiyanat ile emprenye edilmiştir. Ardından örneklerin; yoğunluk, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. Sonuçlarına göre; yoğunluk değerlerinin, su itici maddelerin yalnız başına ve bor bileşikleri üzerine ikincil olarak uygulanması durumunda daha yüksek bulunduğu, borik asit ve boraks karışımı üzerine uygulanan izosiyanat muamelesi ile en yüksek eğilme direncinin elde edildiği; PEG-400 üzerine ikincil olarak uygulanan St+MMA karışımı ile de en yüksek elastikiyet modülü değerinin bulunduğu bildirilmiştir [39].

Kayın (*Fagus orientalis* L.), kızılağaç (*Alnus glutinosa* Geartn.), ladin (*Picea orientalis* L.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) tomruklarının diri odunundan hazırlanan örnekler, parafin, bezir yağı karışımına 1/3, 3 ve 24 saat süre ile daldırılarak emprenye edilmiştir. Daha sonra örnekler, destile su içerisinde 1/4, 1, 4, 16 ve 24 saat bekletilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, emprenye süresi 1/3 saatten 24 saate çıkarıldığında, ortalama su alma oranının azaldığı, su itici etkinlik değerlerinin arttığı bildirilmiştir [40].

Okaliptüs odununun retensiyon ve daralma miktarına çeşitli emprenye maddelerinin

etkisinin belirlendiği çalışmada, dört tip emprenye maddesi grubu seçilmiştir. 1.Ticari emprenye maddeleri; (Amonyum sülfat, Vacsol-WR (WR), Immersol-WR WR ve Tanalith-CBC); 2. Borlu bileşikler; (Borik asit, Boraks), 3. PEG 400; 4. su iticiler; (Stiren, Metilmetakrilat) kullanılmıştır. Çalışma sonuçlara göre; ticari ve borlu maddelerle emprenye edilen okaliptüs odununda % retensiyon değerleri düşük düzeyde gerçekleşirken; su itici maddelerle muamele edilen okaliptüs odununda daha yüksek retensiyon oranları elde edilmiştir. En yüksek % retensiyonun PEG 400'de, en düşük ise boraks'ta bulunduğu; en yüksek retensiyonun Vacsol-WR'de, en düşük ise Boraks'ta gerçekleştiği bildirilmiştir [41].

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), göknar (*Abies bornmulleriana* Mattf.), kayın (*Fagus* orientalis L.) ve meşe (*Quercus petraea* L.) odunlarından hazırlanan örnekler sıvı parafin, katı parafin, baz yağı ve vazelin ile 24 saat süresince emprenye edilmiştir. Örnekler daha sonra destile su içerisinde farklı sürelerde (2, 8, 24 ve 48 saat) bekletilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, emprenye maddelerinin örneklerde (özellikle çam ve göknar) su alma oranını önemli derecede düşürdüğü ve ölçüsel stabilite direncini arttırdığı ayrıca, su alma ve ölçüsel stabilite direncinde en iyi sonuçların sırası ile katı parafin ve vazelin ile muamele edilmiş örneklerde bulunduğu bildirilmiştir [42].

Ön işlem ajanı olarak sodyum hidroksit sulu çözeltisi yoğunlaştırma öncesi ahşap yüzeylerinin aktive edilmesi amacıyla kulanılmıştır. Ayrıca yoğunlaştırma öncesi ve sonrasında metakrilat ester monomer solüsyonu da emprenye maddesi olarak kullanılmıştır. Sıkıştırılan ahşap hücrelerinin stabilizasyonu için kullanılan monomerin polimerizasyonunda 100 ℃ sıcaklık kürü uygulanmıştır. Sonuç olarak, farklı iyileştirme işlemlerinin sonuçlar üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir [43].

Güney çamı (*Pinus taeda*) ve sarı-kavak (*Liriodendron tulipifera*) odunları farklı sıcaklık (90 ℃, 140 ℃ ve 200 ℃) ve bağıl nem (%6,5, %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 gözlendiği ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemlerinde, yoğunlaştırılmış ahşabın hücre çeperinde kırılmaların oluştuğu tespit edilmiş ve hücre çeperindeki bu değişikliklerin çekme testi sonuçlarını etkilediği bildirilmiştir [18].

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 [44].

Beyaz ladin (*Picea glauca*) odunu 20 ℃ ile 200 ℃ arasındaki sıcaklıklarda radyal yönde %12 ile %32 arasındaki sıkıştırma oranlarında Termo-Mekanik (TM) yöntemle yoğunlaştırmaya tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda eğilme direnci ve elastikiyet modülünün genellikle sıkıştırma ve sıcaklık seviyesi ile arttığını, bir istisna olarak 100 ℃'de yoğunlaştırılmış ağaç direncinin diğer sıcaklık değerlerinden daha düşük çıktığını ve bu durumun, deney sıcaklığının ağaçta kritik geçiş sıcaklığına yakın bir değerde olması ile ilişkili olduğunu belirtilmiştir [45].

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 ℃, 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 [46].

Kavak odunu üzerinde 170-210 ℃ aralığındaki beş farklı sıcaklıkta ısıl işlem ve termo mekanik yoğunlaştırma gerçekleştirilmiştir. Modifiye edilmiş odunun 50 ℃ sıcaklıkta %99 bağıl nem ortamında ve 25 ℃ 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, ısıl 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 ısıl işlemin seçilebileceği belirtilmiştir [47].

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 özelliklede hemiselülozun termal bozunmasının önemli rol oynadığı ayrıca, %30 sıkıştırma oranı ile sertlikte %50'lik bir artışın sağlanabildiği bildirilmiştir [48].

Karayip çamı (*Pinus caribaea*) odunu örnekleri termo-mekanik (TM) yöntemle, %25 ve %50 sıkıştırma oranında, iki farklı sıkıştırma modelinde ve 50 dk sürelerle yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonrası örneklerde kütle kayıplarının olduğu ve bu kayıpların rutubet miktarındaki kayıplarla eşdeğerde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünde orta dereceli bir iyileşmenin meydana geldiği, yüzey ıslanabilirlik özelliğinin azaldığı, boyutsal stabilitede bir iyileşmenin olmadığı fakat mekanik özelliklerinin iyileşme eğiliminde olduğu bildirilmiştir [49].

Norveç ladini örnekleri 140 °C - 200 °C arasında değişen sıcaklıklarda ve 0,5 - 4 saat aralığındaki sürelerde termo-mekanik olarak yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaştırılmış örneklere daha sonra 180, 200 ve 220 °C sıcalıklarda 2 ve 4 saat süresince sıcak yağ (OHT) yöntemi ile ısıl işlem uygulanmıştır. Dış mekan uygulamasında kullanım için uygun yoğunlaştırma ve ısıl işlem kombinasyonlarını belirlemek amacıyla, boyutsal değişim ve biyolojik direnç özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, boyutsal kararlılık ve geliştirilmiş dayanıklılık açısından yoğunlaştırılmış ve ısıl işlem görmüş ladin örneklerin, dış ortamda kullanılmasının uygun olduğu bildirilmiştir [50].

Güney çamı keresteleri düşük moleküler ağırlıklı fenol formaldehit reçinesi ile emprenye edilmiş ve yüzeyleri ısıtılarak sıkıştırılmak suretiyle yoğunlaştırılmıştır. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında, işlem görmüş ahşabın elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerinin sırasıyla 11,57'den 16,52 MPa'a ve 90,68'den 125,63 MPa'a yükseldiği belirtilmiştir [51].

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 ısıl 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. Isıl işlem sonrası örneklerde yoğunluk ve direnç kayıplarının yaşandığı ancak %82 sıkıştırma oranı kazanımı, %73'e kadarda boyutsal kararlılığın sağlandığı ayrıca, ısıl işlemli örneklerde verniklerin yüzeye yapışma direncinin daha düşük bulunduğu bildirilmiştir [5].

Kızılağaç, kayın ve huş odunlarının yüzey pürüzlülük, ıslanabilirlik ve kütle kaybı değerleri üzerine kısa süreli termo-mekanik yoğunlaştırmanın etkisinin araştırıldığı çalışmada, kaplama tabakaları 4, 8 ve 12 MPa basınç seviyeleri kullanılarak üç farklı sıcaklıkta (100 °C, 150 °C ve 200 °C) yoğunlaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, yoğunlaştırılmış kaplama yüzeylerinin daha pürüzsüz ve su iticiliğinin daha yüksek hale geldiği bildirilmiştir. Ayrıca örneklerde kütle kaybının arttığı, pürüzlülük ve kalınlık değerlerinin önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir [52].

İskoç çamı numunelerinin açık sistem termo-mekanik yöntem ile yoğunlaştırılmasıyla, numunelerin yoğunluk, eğilme direnci ile radyal ve teğet yönde Brinell sertlik değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Yoğunlaştırma işleminin, İskoç çamlarının mukavemet özelliklerini önemli ölçüde artırdığı, yoğunlaştırma sıcaklığındaki artışın, mukavemet özelliklerini azalttığı rapor edilmiştir [53].

Kayın (*Fagus silvatica*), 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/cm^3, 0,42 g/cm^3 ve 0,50 g/cm^3 olan sırası ile Kayın, Norveç ladini ve sahil çamının yoğunlaştırma sonrasında yoğunluklarının sırası ile 1,27 g/cm^3, 1,30 g/cm^3 ve 1,32 g/cm^3 olduğunu ve mekanik testler sonucunda THM yöntemle yoğunlaştırılmış örneklerin Brinell sertlik, makaslama direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün kontrol örneklere ve Termo-Mekanik (TM) yöntemle yoğunlaştırılmış örneklere göre çok daha yüksek değerlerde olduğu bildirilmiştir [17].

Farklı kalınlıkta hazırlanan ağaç malzemeler; 175 °C pres sıcaklığında, farklı sürelerde,

%13 ve %22 sıkıştırma seviyesinde, termo-mekanik yöntemle yoğunlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Araştırma sonucunda, yoğunlaştırmanın seviyesine bağlı olarak malzeme yüzeyinde bazı çatlamaların olduğu, küçük ve sürekli olmayan bu çatlamaların yoğunlaştırması yapılacak malzemenin pres tablası ile temasından sonra meydana geldiği bildirilmiştir. Oluşan bu çatlakların %22 sıkıştırma seviyesinde işlem gören malzemede daha yaygın gerçekleştiği ancak, bu malzemelerde daha pürüzsüz bir yüzey elde edildiği belirtilmiştir. Kontrol örneklere göre sertlikte bir iyileşmenin yaşandığı, sertlikteki artış oranlarının %13 ve %22 sıkıştırma sevilerinde sırası ile %23 ve %31 olarak gerçekleştiği bildirilmiştir [54].

Uludağ göknarı, ıhlamur ve karakavak odunlarının mekanik özellikleri üzerine termo-mekanik yoğunlaştırma ve ısıl işlemin etkilerinin incelendiği çalışmada, örnekler 100 °C ve 140 °C'de %25 ve %50 sıkıştırma oranları ile yoğunlaştırılmıştır. Ardından örneklere 185 °C ve 212 °C'de 2 saat süreyle ısıl son-işlem uygulanmıştır. Yoğunlaştırılmış tüm örneklerde elastikiyet modülü (MOE), eğilme direnci (MOR) ve liflere parallel 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. Isıl son-işlem sonrası, işlem sıcaklığındaki artışa bağlı olarak örneklerin mekanik direncinin azaldığı ancak, özellikle %50 sıkıştırma oranında yoğunlaştırılmış ve ısıl son-işlem görmüş örneklerin direnç değerlerinin (MOR hariç) kontrol örneklere göre daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir [55].

Yeni bir ahşap modifikasyon yöntemi olan Termo-Vibro-Mekanik (TVM) işlemle yoğunlaştırılmış Uludağ göknarı ve Kara kavak odunu örneklerinin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlendiği çalışmada, örneklere 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. Araştımada TVM yoğunlaştırma işlemi yapılmış örneklerde kontrol örneklere göre; tam kuru yoğunluk değerlerinde %15,40-%38, renk değerlerinde 7,65-15,82, parlaklık değerlerinde %175-%1393, eğilme direnci değerlerinde %13-%52, liflere paralel basınç direnci değerlerinde %15-%67, yapışma direnci değerlerinde %5-%247, Brinell sertlik değerlerinde %62,60-%150,50 arasındaki oranlarda artış sağlandığı bildirilmiştir [56].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada, iğne yapraklı ağaçlardan Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.), geniş yapraklı ağaçlardan ise titrek kavak (*Populus tremula* L.) odunları tercih edilmiştir. Ağaçların belirlenmesinde, ağaç işleri endüstrisi ile mobilya-dekorasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ağaç türlerine göre tercih edilen bu türlerin nispeten düşük yoğunluk değerlerine sahip olmaları etkili olmuştur. Ağaç malzemeler, Düzce ilindeki bir kereste işletmesinden tesadüfi örnekleme yöntemine göre hava kurusu rutubete sahip birinci sınıf latalar halinde temin edilmiştir. Ağaçların büyüme kusuru içermemesine, çürüksüz, sağlam ve diri odunu oranının yüksek olmasına dikkat edilmiştir.

3.1.2. Su İtici Maddeler

Çalışmada, deney örneklerinin emprenye edilmesi için su itici özellikteki maddelerden katı parafin, bezir yağı ve stiren monomeri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan su itici özellikteki bu maddelere ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.2.1. *Parafin*

Çalışmada kullanılan parafin maddesi Mercan Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından üretilmiş olup, aynı firmadan katı bloklar halinde temin edilmiştir. Parafin maddesinin yağ oranının yüksek olmasına dikkat edilmiştir. Orman ürünleri endüstrisinde (lif levha ve yonga levha üretiminde) su itici olarak ve kibrit üretiminde kullanılmaktadır. Katı parafin ile ilgili özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Katı parafinin özellikleri.

Yağ Oranı (%)	Donma Noktası (°C)	Damlama Noktası (°C)	Renk
25-35	60-62	61-63	max. -16

3.1.2.2. *Bezir Yağı*

Çalışmada yarım yağ halindeki İngiliz nevi bezir yağı kullanılmıştır. Bezir yağı Alev Yatçılık Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan bezir yağı ile ilgili özellikler Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. İngiliz nevi bezir yağının özellikleri.

Yoğunluk (g/cm³)	0,930 - 0,950
Asit endisi	10
Renk	Şeffaf açık kahve
Kuruma süresi (20 °C) (saat)	18 - 20
Esas	Sentetik
Kaynama sayısı	Tek
Çözünürlük	Solvent esaslı incelticilerde incelebilir
Ambalaj	17 kg teneke

3.1.2.3. *Stiren*

Çalışmada kullanılan stiren monomeri Poliya Polyester Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir. Petrol yan ürünü olan stiren; polyester reçine incelticisi olarak, kauçuk takviyeli polistiren ve kopolimer reçine imalatında kullanılmaktadır. Kendisine has karakteristik kokusu olan, sıvı formda ve renksiz bir kimyevi malzemedir. Çalışmada kullanılan stiren monomeriyle ilgili özellikler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Stiren monomerinin özellikleri.

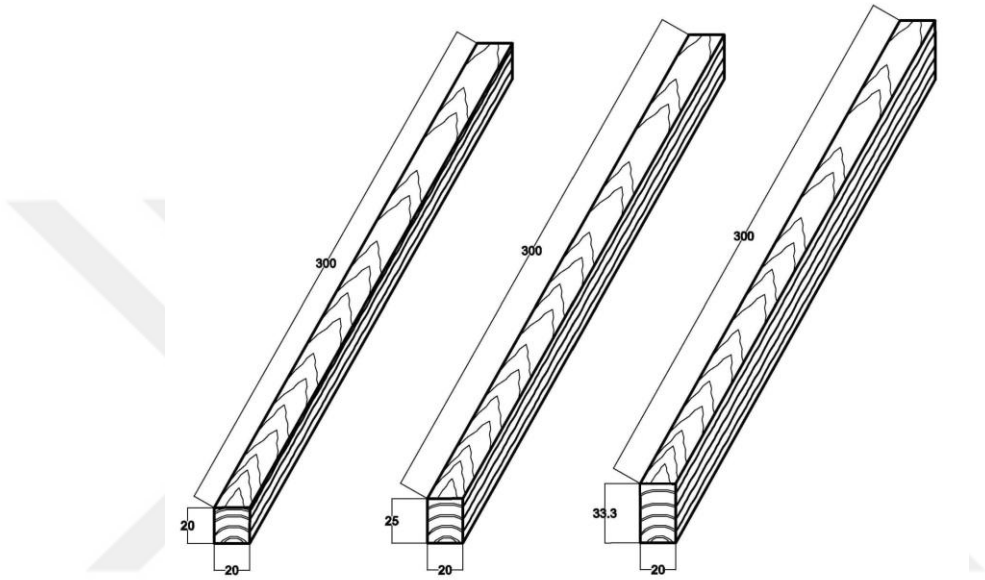
Yoğunluk (g/cm³)	0,909
Kırılma indisi	1,546
Renk	Şeffaf-renksiz
Kaynama noktası (°C)	140
Ambalaj	15 kg teneke

3.1.3. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Hava kurusu rutubetteki latalar, TS 2470'de belirtilen esaslara göre yıllık halka konumları ile test örneklerinin ölçüleri dikkate alınarak diri odun kısımlarından %10-15 toleransla kaba ölçülerde kesilmiştir [57]. Kesilen bu ağaç malzemeler 20±2 °C sıcaklıkta ve bağıl nemi %65±3 olan iklimlendirme kabininde değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir [58]. Daha sonra ağaç malzemeler sıkıştırma oranları dikkate alınarak Çizelge 3.4' de belirtilen taslak ölçülerinde yeterli miktarda kesilmiştir.

Çizelge 3.4. Sıkıştırma oranlarına göre deney örneklerinin taslak ölçüleri.

Sıkıştırma Oranı	Ölçüler (mm)		
	Genişlik (teğet yön)	Kalınlık (radyal yön)	Uzunluk (lifler yönü)
Kontrol	20	20	300
%20	20	25	300
%40	20	33,3	300



Şekil 3.1. Taslak ölçülerinde kesilmiş örnekler.

Taslak ölçülerinde hazırlanan örnekler, emprenye işlemi öncesinde su itici maddelerin ağaç malzeme boşluklarına daha iyi nüfuz etmesini sağlamak için 70 °C sıcaklıktaki etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek kurutulmuştur. Bu durumdaki örneklerin tam kuru ağırlıkları analitik terazi ile tartılmış (±0,01 g hassasiyetinde) ve kaydedilmiştir.

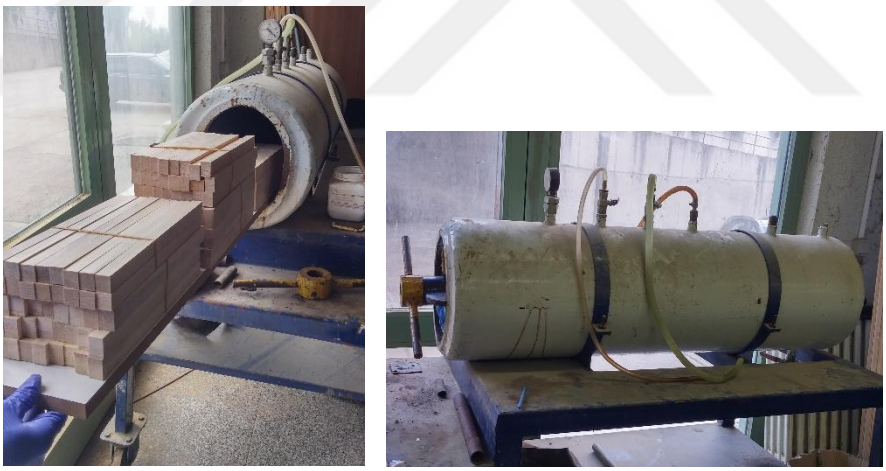
3.1.4. Emprenye İşlemi

Çalışmada kullanılan su itici özellikteki maddelerde emprenye öncesi ön hazırlık işlemleri uygulanmıştır. Katı formda olan parafin metal bir kap içerisine konulmuş ve daha sonra ısıya maruz bırakılarak sıvı hale gelinceye kadar eritilmiştir (Şekil 3.2). Ambalaj viskozitesinde olan bezir yağının içerisine 1/1 oranında sentetik tiner eklenmiş ve inceltme işlemi yapılmıştır. Stiren monomerinde ise polimerleşmenin gerçekleşebilmesi için içerisine %1 oranında katalizör (metil etil keton peroksit) ilave edilmiştir. Böylece, su itici maddeler emprenye işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.2. Katı parafinin eritilmesi.

Deney örneklerinin emprenye işlemlerinde ASTM D 1413-76 standardına uygun olarak vakum tutuculu silindirik tank düzenek kullanılmıştır [59]. Bu düzenekte örneklere 60 dk süre ile 760 mm Hg^{-1} basınca eşdeğer bir ön vakum uygulanmıştır. Ardından örnekler 24 saat süre ile atmosferik basınçta emprenye çözeltileri içerisinde difüzyona bırakılmıştır. Eritilerek sıvı hale getirilen parafinin tekrar donmasını engellemek için, parafin çözeltisi içerisindeki örnekler 24 saat boyunca 80 °C sıcaklıkta bekletilmiştir.



Şekil 3.3. Örneklerin silindirik tank düzenekteki işlemi.



Şekil 3.4. Emprenye çözeltisinde bekletilen örnekler.

Emprenye işlemleri sonrası, örneklerin üzerinde kalan fazla emprenye çözeltileri silinerek tekrar ağırlık tartımları yapılmış (±0,01 g. hassasiyetinde) ve kaydedilmiştir. Daha sonra parafin ve bezir yağı ile muamele edilen örnekler TS 2471'e göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir [58]. Stiren monomeri ile muamele edilen örnekler ise polimerleştirme işlemi için alüminyum folyolara sarılarak 90 °C sıcaklıktaki etüv fırında 2 saat süre ile bekletilmiştir. Ardından bu örnekler etüvden alınarak hemen yoğunlaştırma işlemlerine tabi tutulmuştur.

3.1.5. Yoğunlaştırma

Emprenyesi yapılmış örnekler, açık sistemde termo-mekanik (TM) yöntemle sıkıştırılarak yoğunlaştırılmıştır. Yoğunlaştırma işlemlerinde tabla ebatları 60×60 cm^2 olan sıcaklık ve basınç kontrolü yapılabilen hidrolik laboratuvar test presi kullanılmıştır (Şekil 3.5).



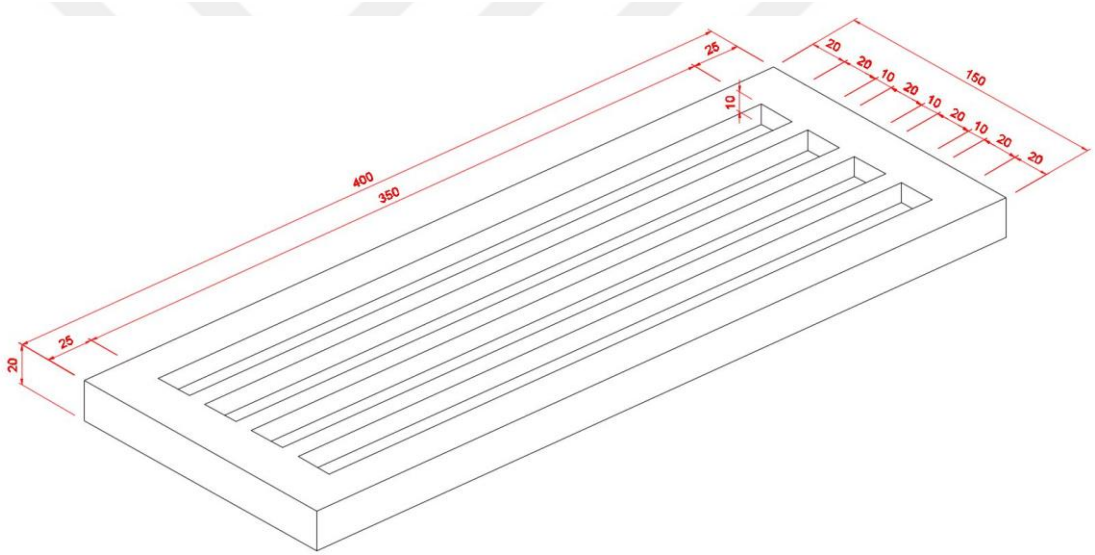
Şekil 3.5. Örneklerin yoğunlaştırılmasında kullanılan laboratuvar test presi.

Yoğunlaştırma işlemi üç farklı sıcaklık (120 °C, 150 °C, 180 °C) ve iki farklı sıkıştırma oranında (%20, %40) altı varyasyon oluşturularak yapılmıştır. Yoğunlaştırma varyasyonları Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yoğunlaştırma varyasyonları.

Yoğunlaştırma		
Sıkıştırma sıcaklığı	Sıkıştırma oranı	Süre
120 °C	%20	10 dk ısıtma + 20 dk basınç
	%40	
150 °C	%20	
	%40	
180 °C	%20	
	%40	

Örneklerin yoğunlaştırılmasında ısıl işlem çeliğinden özel olarak üretilmiş metal kalıplardan yararlanılmıştır. Eşdeğer boyutlarda altı adet üretilmiş olan bu kalıplardan birine ait ölçüler Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Deney örnekleri metal kalıplara açılmış olan kanalların içerisine oturtularak yoğunlaştırmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.7).



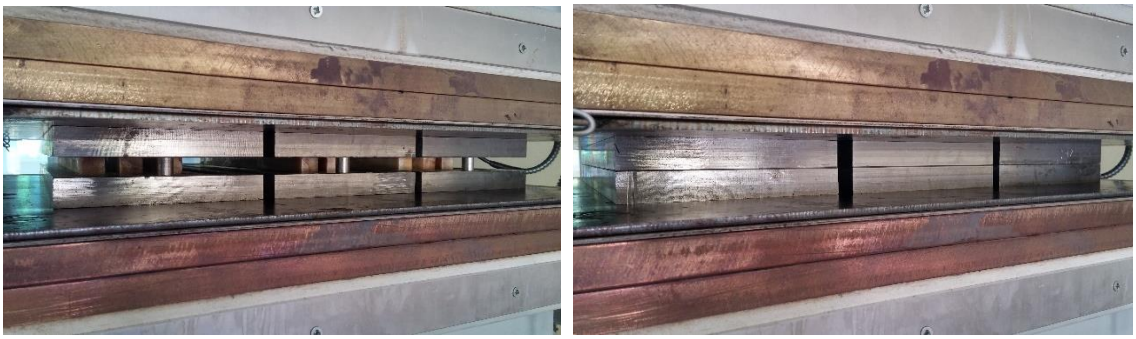
Şekil 3.6. Yoğunlaştırmada kullanılan metal kalıp ölçüleri.



Şekil 3.7. Metal kalıplara yerleştirilmiş örnekler.

Deney örneklerinin yerleştirildiği kalıplar daha sonra belirlenen sıcaklıklarda ısıtılan alt ve üst pres tablalarına temas edecek şekilde konumlandırılmıştır. Hafif bir basınç uygulanarak bu pozisyonda 10 dk süre ile örneklerin ön ısıtma işlemi yapılmıştır. Daha

sonra 60 mm/dk yükleme hızı ile örneklerin radyal yönde sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Hedeflenen sıkıştırma kalınlığını (20 mm) elde edebilmek için metal kalıplar birbirine temas edinceye kadar yükün uygulanmasına devam edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Deney örneklerinin yoğunlaştırılması.

Sıkıştırılan örnekler 20 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/cm^2'lik basınç altında oda sıcaklığına kadar soğumaları sağlanmıştır (Şekil 3.9). Örnekler daha sonra metal kalıplar arasından çıkartılarak TS 2471'e göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir [57].



Şekil 3.9. Yoğunlaştırılmış örneklerin basınç altında soğutulması.

3.1.6. Deney Örneklerinin Ölçülendirilmesi

Emprenye ve yoğunlaştırma işlemi yapılan deney örneklerinde, çalışma kapsamındaki testler ve bu testlere ait ilgili standartlar gereğince ölçülendirme yapılmıştır. Uygulanacak testlere göre örnek ölçüleri ve örnek sayıları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. 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 (spring-back) oranı	30	20	h*	384
Hava kurusu yoğunluk	30	20	20	448
Su alma oranı	30	20	20	448
Sıkıştırma yönü şişme oranı	30	20	20	448
Statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü	300	20	20	448
Liflere paralel basınç direnci	30	20	20	448
Janka sertlik	60	20	20	448

h*: 20 mm + geri esneme ölçüsü

Fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerin belirlenmesinde, her bir deney koşulu için 8 tekrarlı (n=8) olarak ve Çizelge 3.6'da belirtilen sayılarda deney örneği hazırlanmıştır. Testlerden önce deney örnekleri, 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilerek kondisyonlanmıştır.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Retensiyon Değerinin Belirlenmesi

Deney örnekleri tarafından absorbe edilen emprenye maddesi retensiyon miktarları Eşitlik 3.1. yardımıyla hesaplanmıştır.

$$R = \frac{G \times C}{V} \times 10 \qquad (3.1)$$

Eşitlikte;

R : Retensiyon miktarı (kg/m^3)

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

C : Emprenye maddesi çözeltisinin konsantrasyonu (%)

V : Örnek hacmini (cm^3) ifade etmektedir.

3.2.2. Geri Esneme Oranının Belirlenmesi

Deney örneklerinin pres aşamasında basınç altındaki kalınlığı (20 mm) ile presleme sonrası 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem koşullarında iklimlendirme sonrası kalınlıkları dijital kumpas ile (±0,01 mm hassasiyetinde) belirlenmiş ve örneklerindeki

geri esneme oranları (spring-back) Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$GEO = (\frac{K_2 - K_1}{K_1}) \times 100 \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

GEO : Geri esneme oranı (%)

K_1 : Basınç altındaki kalınlık (mm)

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

3.2.3. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi

Örneklerin hava kurusu yoğunluk değerleri TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir [60]. Örnekler 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa ulaşıncaya 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.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

δ_{12} : Hava kurusu yoğunluk (g/cm^3)

M_{12} : Hava kurusu ağırlık (g)

V_{12} : Hava kurusu hacmi (cm^3) ifade etmektedir.



Şekil 3.10. Örneklerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.

3.2.4. Su Alma ve Sıkıştırma Yönü Şişme Oranının Belirlenmesi

Örneklerin su alma ve sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranları ISO 13061-15 esaslarına uyularak belirlenmiştir [61]. Deney örnekleri öncelikle 55±2 °C sıcaklıktaki etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Ardından soğuması sağlanan örneklerin ağırlıkları ve kalınlık (radyal) yönündeki ölçüleri ±0,01 hassasiyetinde belirlenmiştir. Emprenyeli örneklerde madde kaybını önlemek için etüv fırın sıcaklığı 55 °C'ye ayarlanmıştır. Daha sonra örnekler, içerisinde 20±2 °C sıcaklıkta destile su bulunan kaba konmuş ve tamamen suya batmaları için üzerlerine tel kafes yerleştirilmiştir (Şekil 3.11). Örnekler, ağırlıkları ve kalınlık yönündeki ölçüleri değişmez hale gelene 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 3.4'e göre, sıkıştırma yönü (radyal) şişme oranları (SŞO) ise Eşitlik 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$SAO = \left(\frac{M_R - M_0}{M_0}\right) \times 100 \tag{3.4}$$

$$S\Şi O = \left(\frac{L_R - L_O}{L_0}\right) \times 100 \tag{3.5}$$

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 3.11. Örneklerin destile su içerisinde bekletilmesi.

3.2.5. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Örneklerin eğilme direnci özellikleri TS 2474 esaslarına uyularak belirlenmiştir [62]. Örnekler 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiş ve ardından eğilme direnci deneyi yapılmıştır. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri dijital kumpas ile ölçülerek (±0,01 mm hassasiyetinde) kaydedilmiştir. Üniversal test cihazının yükleme hızı, örneklerdeki kırılmanın yükleme anından itibaren 1,5±0,5 dk içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden kaydedilmiş ve eğilme direnci Eşitlik 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3.F_{max}.L_s}{2.a.b^2} \tag{3.6}$$

Eşitlikte;

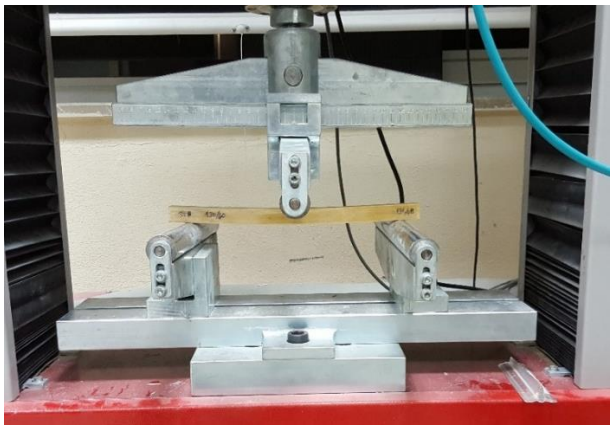
σ_e : Eğilme direnci (N/mm^2)

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 3.12. Statik eğilme direnci deneyi.

Örneklerin eğilmede elastikiyet modülü özellikleri TS 2478 esaslarına uyularak belirlenmiştir [63]. 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 3.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$Em = \frac{\Delta F . L_s^3}{4 . b . h^3 . \Delta f} \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

Em : Elastikiyet modülü (N/mm^2)

ΔF : Elastikiyet bölgesindeki kuvvet farkı (N)

Ls : Dayanak açıklığı (mm)

b : Deney örneğinin genişliği (mm)

h : Deney örneğinin yüksekliği (mm)

Δf : Eğilme miktarını (mm) ifade etmektedir.

3.2.6. Liflere Paralel Basınç Direncinin Belirlenmesi

Örneklerin liflere paralel basınç direnci değerleri ISO/DIS 13061-17 esaslarına uyularak belirlenmiştir [64]. Deney örnekleri 20±2 ℃ sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiş ve ardından liflere paralel basınç direnci deneyi yapılmıştır. Deneylerden önce örneklerin orta kısımlarından kalınlık ve genişlikleri dijital kumpas ile ölçülerek (±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 3.8'e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{a . b} \quad (3.8)$$

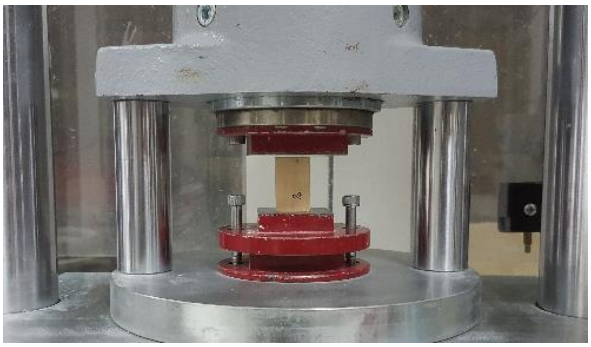
Eşitlikte;

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 3.13. Liflere paralel basınç direnci deneyi.

3.2.7. Janka Sertliğin Belirlenmesi

Örneklerin sıkıştırma yönündeki (radyal yön) Janka sertlik değerleri TS 2479 esaslarına uyularak belirlenmiştir [63]. Deney örnekleri 20±2 ℃ sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiş ve ardından sertlik deneyi yapılmıştır. Üniversal test cihazının yükleme hızı, 3-6 mm/dk hızla hareketi sonucu deney örneklerinin teğet kesit yüzeylerinin orta noktalarında yarım küre ucun yarıçapına (5,64 mm) eşit olan derinlikte bir oyuk açacak şekilde ayarlanmıştır. Bu derinliğe ulaşıldığı andaki veya bu derinliğe ulaşılıncaya kadar deney örneğinin çatlaması durumunda 2,82 mm derinliğe ulaşıldığı andaki yük %1 duyarlıkta okunmuştur. Örneklerin statik sertlik değeri Eşitlik 3.9'a göre hesaplanmıştır.

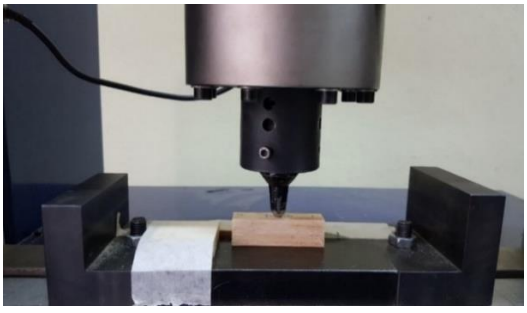
$$H_j = K \times F_{max} \tag{3.9}$$

Eşitlikte;

H_j : Janka sertlik değeri (N/mm^2)

K : Yükleme ucunun 5,64 mm derinliğe girmesi halinde 1'e, 2,82 mm derinliğe girmesi halinde ise 4/3'e eşit olan katsayı

F_{max} : Yükleme ucunun deney örneğinde belirli derinliğe girmesi sırasındaki kuvveti (N) ifade etmektedir.



Şekil 3.14. Janka sertlik testi.

3.2.8. Verilerin Değerlendirilmesi

Deneylerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde MSTAT-C istatistik paket programı kullanılmıştır. Göknar ve kavak odunu örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine emprenye ön işlemi ile yoğunlaştırma modifikasyonunun etkisini belirlemek amacıyla çoklu varyans analizleri (ANOVA) yapılmıştır. Ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörlerinin kendi içerisindeki ve birbirleri arasındaki fark, Duncan testleri ile en küçük önemli fark (LSD) değerine göre homojenlik gruplarına ayrılarak karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR VE VERİ ANALİZİ

4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Su itici özellikteki maddeler ile emprenye edildikten sonra termo-mekanik (TM) yöntemle sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış deney örneklerinde; geri esneme (spring-back) oranı, hava kurusu yoğunluk, su alma oranı ve radyal sıkıştırma yönündeki şişme oranına ait fiziksel özellikler bu bölümde verilmiştir.

4.1.1. Retensiyon

Deney örneklerinde emprenye işlemleri sonrası belirlenen retensiyon değeri ortalamaları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney örneklerinin retensiyon değerleri (kg/m^3).

Su itici madde	Ağaç türü					
	Göknar			Kavak		
	$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Parafin	148,08	9,47	6,40	155,35	10,04	6,46
Bezir yağı	230,09	20,38	8,86	230,16	21,41	9,30
Stiren	300,37	18,17	6,05	311,56	21,71	6,97

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.1'e göre; en yüksek retensiyon değeri, stiren ile muamele edilmiş kavak örneklerde (311,56 kg/m^3), en düşük ise parafin ile muamele edilmiş göknar örneklerde (148,08 kg/m^3) elde edilmiştir.

4.1.2. Geri Esneme (Spring-back) Oranı

Deney örneklerinin geri esneme oranı değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Geri esneme oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		x̄	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	120 °C / %20	2,31	0,23	9,96	2,71	0,27	9,96

Çizelge 4.2. (devam). Geri esneme oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%).

Knt1	120 °C / %40	4,22	0,34	8,06	3,04	0,31	10,20
	150 °C / %20	5,78	0,43	7,44	5,07	0,49	9,66
	150 °C / %40	7,63	0,93	12,19	5,50	0,50	9,09
	180 °C / %20	4,64	0,47	10,13	3,95	0,22	5,57
	180 °C / %40	8,36	0,76	9,09	6,11	0,67	10,97
Parafin	120 °C / %20	2,31	0,29	12,55	2,35	0,20	8,51
	120 °C / %40	3,93	0,38	9,67	3,59	0,44	12,26
	150 °C / %20	3,18	0,44	13,84	3,59	0,34	9,47
	150 °C / %40	4,17	0,40	9,59	4,30	0,42	9,77
	180 °C / %20	2,71	0,32	11,81	4,16	0,53	12,74
	180 °C / %40	2,25	0,27	12,00	3,48	0,26	7,47
Bezir yağı	120 °C / %20	2,43	0,25	10,29	3,64	0,15	4,12
	120 °C / %40	5,34	0,51	9,55	6,22	0,53	8,52
	150 °C / %20	2,79	0,29	10,39	3,87	0,33	8,53
	150 °C / %40	5,86	0,61	10,41	7,78	0,47	6,04
	180 °C / %20	3,71	0,32	8,63	4,31	0,37	8,58
	180 °C / %40	6,59	0,79	11,99	6,72	0,55	8,18
Stiren	120 °C / %20	5,51	0,64	11,62	7,24	0,60	8,29
	120 °C / %40	7,62	0,90	11,81	9,26	0,50	5,40
	150 °C / %20	5,10	0,55	10,78	1,77	0,16	9,04
	150 °C / %40	4,99	0,53	10,62	3,41	0,27	7,92
	180 °C / %20	1,83	0,20	10,93	1,09	0,12	11,01
	180 °C / %40	1,60	0,24	15,00	1,16	0,13	11,21

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.2'nin sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Geri esneme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	0,050	0,050	0,2394	Ns
Su itici madde (B)	3	167,641	55,880	267,8133	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	5	274,912	54,982	263,5095	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	61,689	20,563	98,5512	0,0000*
Etkileşim (AC)	5	23,995	4,799	23,0001	0,0000*
Etkileşim (BC)	15	868,894	57,926	277,6185	0,0000*
Etkileşim (ABC)	15	88,582	5,905	28,3026	0,0000*
Hata	336	70,108	0,209		
Toplam	383	1555,871			

*: 0,05'e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin geri esneme oranı üzerinde ağaç türü faktörü önemsiz, diğer faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Su itici madde düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	4,94	A*
Parafin	3,33	C**
Bezir yağı	4,94	A*
Stiren	4,21	B
LSD: ± 0,1298		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.4'e göre; en yüksek geri esneme oranı, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) örneklerde ve bezir yağı ile muamele edilen örneklerde (%4,94), en düşük ise parafin ile muamele edilen örneklerde (%3,33) elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Yoğunlaştırma düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
120 °C / %20	3,56	D
120 °C / %40	5,40	A*
150 °C / %20	3,89	C
150 °C / %40	5,45	A*
180 °C / %20	3,30	E**
180 °C / %40	4,53	B
LSD: ± 0,1590		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.5'e göre; en yüksek geri esneme oranı, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 120 °C ve 150 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (%5,40 ve %5,45), en düşük ise 180 °C pres sıcaklığında %20 sıkıştırılan örneklerde (%3,30) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	5,49	A*	4,40	B
Parafin	3,09	E**	3,58	D
Bezir yağı	4,45	B	5,42	A*
Stiren	4,44	B	3,99	C
LSD: ± 0,1836				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.6'ya göre; en yüksek geri esneme oranı, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) göknar ve bezir yağı ile muamele edilen kavak örneklerde (%5,49 ve %5,42), en düşük ise parafin ile muamele edilen göknar örneklerde (%3,09) elde edilmiştir.

Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
120 °C / %20	3,14	H**	3,99	E
120 °C / %40	5,28	B	5,53	A*
150 °C / %20	4,21	D	3,57	F
150 °C / %40	5,66	A*	5,25	B
180 °C / %20	3,22	GH	3,37	FG
180 °C / %40	4,70	C	4,37	D
LSD: ± 0,2248				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.7'ye göre; en yüksek geri esneme oranı, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 150 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan göknar örneklerde (%5,66) ve 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan kavak örneklerde (%5,53), en düşük ise 120 °C pres sıcaklığında %20 sıkıştırılan göknar örneklerde (%3,14) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.8'de

verilmiştir.

Çizelge 4.8. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
120 ℃ / %20	2,51	M	2,33	M	3,03	KL	6,37	D
120 ℃ / %40	3,63	IJ	3,76	HI	5,78	E	8,44	A*
150 ℃ / %20	5,42	F	3,38	J	3,33	JK	3,43	J
150 ℃ / %40	6,57	CD	4,23	G	6,82	C	4,20	G
180 ℃ / %20	4,29	G	3,43	J	4,01	GH	1,46	N**
180 ℃ / %40	7,24	B	2,87	L	6,66	CD	1,38	N**
LSD: ± 0,3179								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.8'e göre; en yüksek geri esneme oranı, stiren ile muamele edilmiş 120 ℃ pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (%8,44), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere stiren ile muamele edilmiş 180 ℃ pres sıcaklığında %20 ve %40 sıkıştırılan örneklerde (%1,46 ve %1,38) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde, geri esneme oranları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
		Göknar		Kavak	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	120 ℃ / %20	2,31	WX	2,71	U-W
	120 ℃ / %40	4,22	MN	3,04	S-U
	150 ℃ / %20	5,78	G-I	5,07	J-L
	150 ℃ / %40	7,63	CD	5,50	H-J
	180 ℃ / %20	4,64	LM	3,95	N-O
	180 ℃ / %40	8,36	B	6,11	G
Parafin	120 ℃ / %20	2,31	WX	2,35	V-X
	120 ℃ / %40	3,93	NO	3,59	O-R
	150 ℃ / %20	3,18	R-T	3,59	O-R
	150 ℃ / %40	4,17	N	4,30	MN
	180 ℃ / %20	2,71	U-W	4,16	N
	180 ℃ / %40	2,25	XY	3,48	P-S

Çizelge 4.9. (devam). Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde geri esneme oranlarının Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Bezir yağı	120 ℃ / %20	2,43	V-X	3,64	O-Q
	120 ℃ / %40	5,34	I-K	6,22	FG
	150 ℃ / %20	2,79	T-V	3,87	N-P
	150 ℃ / %40	5,86	GH	7,78	C
	180 ℃ / %20	3,71	O-Q	4,31	MN
	180 ℃ / %40	6,59	EF	6,72	E
Stiren	120 ℃ / %20	5,51	H-J	7,24	D
	120 ℃ / %40	7,62	CD	9,26	A*
	150 ℃ / %20	5,10	JK	1,77	Z
	150 ℃ / %40	4,99	KL	3,41	Q-S
	180 ℃ / %20	1,83	YZ	1,09	**
	180 ℃ / %40	1,60	Z[	1,16	[\
LSD: ± 0,4496					

x̄: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.9'a göre; en yüksek geri esneme oranı, stiren ile muamele edilmiş 120 ℃ pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan kavak örneklerde (%9,26), en düşük ise stiren ile muamele edilmiş 180 ℃ pres sıcaklığında %20 sıkıştırılan kavak örneklerde (%1,09) elde edilmiştir.

4.1.3. Hava Kurusu Yoğunluk

Deney örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Hava kurusu yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm^3).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	Knt2	0,45	0,03	6,05	0,37	0,02	6,42
	120 ℃ / %20	0,56	0,04	6,63	0,49	0,04	8,23
	120 ℃ / %40	0,70	0,04	5,84	0,63	0,01	2,24
	150 ℃ / %20	0,52	0,02	4,23	0,49	0,03	5,15
	150 ℃ / %40	0,65	0,04	6,03	0,60	0,03	4,71
	180 ℃ / %20	0,52	0,03	5,95	0,47	0,03	7,30
	180 ℃ / %40	0,66	0,04	5,90	0,60	0,04	6,49
Parafin	Knt2	0,56	0,04	6,27	0,48	0,03	6,83
	120 ℃ / %20	0,58	0,05	7,71	0,57	0,05	8,85
	120 ℃ / %40	0,73	0,06	8,38	0,70	0,02	3,28

Çizelge 4.10. (devam). Hava kurusu yoğunluk değerlerine ait aritmetik ortalamalar (g/cm^3).

Parafin	150 ℃ / %20	0,57	0,03	5,13	0,55	0,03	5,43
	150 ℃ / %40	0,72	0,03	4,44	0,65	0,04	5,56
	180 ℃ / %20	0,57	0,03	4,75	0,56	0,05	8,23
	180 ℃ / %40	0,71	0,03	3,69	0,68	0,03	4,39
Bezir yağı	Knt2	0,51	0,04	7,66	0,48	0,05	10,00
	120 ℃ / %20	0,61	0,04	6,87	0,56	0,06	10,77
	120 ℃ / %40	0,77	0,03	4,04	0,74	0,04	5,79
	150 ℃ / %20	0,58	0,05	8,58	0,58	0,06	9,64
	150 ℃ / %40	0,76	0,06	7,59	0,65	0,04	6,31
	180 ℃ / %20	0,55	0,03	5,09	0,53	0,03	5,81
	180 ℃ / %40	0,68	0,02	2,20	0,67	0,02	2,86
Stiren	Knt2	0,57	0,04	7,75	0,54	0,03	6,27
	120 ℃ / %20	0,65	0,05	7,41	0,59	0,03	5,44
	120 ℃ / %40	0,93	0,07	6,97	0,92	0,06	6,61
	150 ℃ / %20	0,65	0,03	4,15	0,74	0,04	5,95
	150 ℃ / %40	0,95	0,07	7,36	1,01	0,07	6,45
	180 ℃ / %20	0,65	0,03	4,92	0,72	0,05	7,08
	180 ℃ / %40	0,97	0,04	3,73	1,02	0,05	4,99

x̄: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.10'un sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmış, saonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Hava kurusu yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	0,079	0,079	47,6223	0,0000*
Su itici madde (B)	3	3,205	1,068	644,0120	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	6	4,621	0,770	464,2572	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	0,111	0,037	22,2571	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	0,059	0,010	5,9734	0,0000*
Etkileşim (BC)	18	0,846	0,047	28,3381	0,0000*
Etkileşim (ABC)	18	0,074	0,004	2,4695	0,0008*
Hata	392	0,650	0,002		
Toplam	447	9,645			

*: 0,05'e göre önemli, NS: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin hava kurusu yoğunluğu üzerinde ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri ile bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli

bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Ağaç türü düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Göknar	0,654	A*
Kavak	0,628	B
LSD: ± 0,008308		

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

Çizelge 4.12'ye göre; hava kurusu yoğunluk değeri göknar örneklerinde yüksek (0,654 g/cm^3), kavak örneklerinde daha düşük (0,628 g/cm^3) bulunmuştur.

Çizelge 4.13. Su itici madde düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	0,549	C**
Parafin	0,616	B
Bezir yağı	0,620	B
Stiren	0,779	A*
LSD: ± 0,01175		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.13'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde (0,779 g/cm^3), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) örneklerde (0,549 g/cm^3) elde edilmiştir.

Çizelge 4.14. Yoğunlaştırma düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Knt2	0,495	D**
120 °C / %20	0,575	C
120 °C / %40	0,765	A*
150 °C / %20	0,585	C
150 °C / %40	0,748	B
180 °C / %20	0,571	C
180 °C / %40	0,748	B
LSD: ± 0,01554		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.14'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (0,765 g/cm^3), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (0,495 g/cm^3) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	0,579	E	0,519	F**
Parafin	0,633	C	0,599	D
Bezir yağı	0,638	C	0,601	D
Stiren	0,767	B	0,792	A*
LSD: ± 0,01662				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.15'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, stiren ile muamele edilen kavak örneklerde (0,792 g/cm^3), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) kavak örneklerde (0,519 g/cm^3) elde edilmiştir.

Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	0,520	H	0,470	I**
120 °C / %20	0,600	E	0,549	G
120 °C / %40	0,782	A*	0,748	C
150 °C / %20	0,580	EF	0,589	EF
150 °C / %40	0,770	AB	0,725	D
180 °C / %20	0,572	F	0,570	FG
180 °C / %40	0,754	BC	0,743	CD
LSD: ± 0,02198				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.16'ya göre; en yüksek yoğunluk değeri, 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan göknar örneklerde (0,782 g/cm^3), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (0,470 g/cm^3) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	0,410	M**	0,520	KL	0,494	L	0,555	IJ
120 °C / %20	0,522	KL	0,575	I	0,584	I	0,618	H
120 °C / %40	0,664	G	0,715	D	0,755	C	0,928	B
150 °C / %20	0,503	L	0,558	IJ	0,582	I	0,695	D-F
150 °C / %40	0,621	H	0,684	E-G	0,707	DE	0,979	A*
180 °C / %20	0,493	L	0,564	IJ	0,542	JK	0,685	D-G
180 °C / %40	0,631	H	0,694	D-G	0,674	FG	0,994	A*
LSD: ± 0.03109								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.17'ye göre; en yüksek yoğunluk değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere stiren ile muamele edilmiş 150 °C ve 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (0,979 g/cm^3 ve 0,994 g/cm^3), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerde (0,410 g/cm^3) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde, hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
		Göknar		Kavak	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	Knt2	0,446	X	0,374	Y**
	120 °C / %20	0,558	O-T	0,486	V-X
	120 °C / %40	0,702	F-I	0,625	K-M
	150 °C / %20	0,520	T-V	0,485	V-X

Çizelge 4.18. (devam). Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde hava kurusu yoğunluk değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Knt1	150 °C / %40	0,647	J-L	0,595	M-P
	180 °C / %20	0,521	T-V	0,466	WX
	180 °C / %40	0,661	I-K	0,601	M-O
Parafin	Knt2	0,558	O-T	0,483	V-X
	120 °C / %20	0,584	M-R	0,565	O-S
	120 °C / %40	0,728	D-F	0,702	F-I
	150 °C / %20	0,565	O-S	0,552	P-U
	150 °C / %40	0,720	E-G	0,647	J-L
	180 °C / %20	0,569	N-S	0,559	O-T
	180 °C / %40	0,705	F-H	0,683	G-J
Bezir yağı	Knt2	0,509	U-W	0,480	V-X
	120 °C / %20	0,611	L-N	0,557	P-D
	120 °C / %40	0,767	D	0,743	D-F
	150 °C / %20	0,583	M-R	0,581	N-R
	150 °C / %40	0,764	D-E	0,650	J-L
	180 °C / %20	0,550	Q-U	0,534	S-U
	180 °C / %40	0,683	G-J	0,665	H-K
Stiren	Knt2	0,568	N-S	0,542	R-U
	120 °C / %20	0,648	J-L	0,588	M-Q
	120 °C / %40	0,933	C	0,923	C
	150 °C / %20	0,651	J-L	0,739	D-F
	150 °C / %40	0,951	C	1,008	AB
	180 °C / %20	0,650	J-L	0,720	FG
	180 °C / %40	0,966	BC	1,023	A*
LSD: ± 0,04396					

x̄: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.18'e göre; en yüksek yoğunluk değeri, stiren ile muamele edilmiş 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan kavak örneklerde (1,023 g/cm^3), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) yoğunlaştırılmamış (Knt2) kavak örneklerde (0,374 g/cm^3) elde edilmiştir.

4.1.5. Su Alma Oranı

Deney örneklerinin su alma oranı değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Su alma oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	Knt2	139,40	7,40	5,31	188,90	11,10	5,88
	120 °C / %20	133,50	7,80	5,84	174,50	11,90	6,82
	120 °C / %40	152,00	9,60	6,32	177,60	7,50	4,22

Çizelge 4.19. (devam). Su alma oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%).

Knt1	150 °C / %20	126,00	4,70	3,73	159,80	11,10	6,95
	150 °C / %40	147,10	5,90	4,01	176,10	4,80	2,73
	180 °C / %20	125,80	7,10	5,64	156,20	11,20	7,17
	180 °C / %40	142,00	10,00	7,04	168,00	5,80	3,45
Parafin	Knt2	38,80	3,50	9,02	98,20	7,10	7,23
	120 °C / %20	90,00	5,50	6,11	102,70	10,00	9,74
	120 °C / %40	120,10	10,60	8,83	131,30	9,50	7,24
	150 °C / %20	89,40	6,40	7,16	107,30	4,40	4,10
	150 °C / %40	119,50	8,00	6,69	143,30	16,50	11,51
	180 °C / %20	87,30	4,90	5,61	100,40	6,20	6,18
	180 °C / %40	98,90	7,80	7,89	116,80	7,80	6,68
Bezir yağı	Knt2	85,00	7,30	8,59	133,60	8,60	6,44
	120 °C / %20	100,60	5,90	5,86	130,40	8,90	6,83
	120 °C / %40	105,70	9,00	8,51	130,50	12,10	9,27
	150 °C / %20	100,80	9,10	9,03	127,50	11,80	9,25
	150 °C / %40	101,40	8,20	8,09	137,20	7,90	5,76
	180 °C / %20	88,60	7,70	8,69	116,00	8,30	7,16
	180 °C / %40	91,10	6,80	7,46	115,90	8,80	7,59
Stiren	Knt2	65,70	5,00	7,61	86,40	6,80	7,87
	120 °C / %20	61,70	3,40	5,51	94,50	5,10	5,40
	120 °C / %40	46,10	3,20	6,94	48,00	4,40	9,17
	150 °C / %20	71,10	4,50	6,33	43,90	4,50	10,25
	150 °C / %40	37,40	2,80	7,49	22,70	2,80	12,33
	180 °C / %20	58,70	4,30	7,33	55,70	4,90	8,80
	180 °C / %40	28,00	2,10	7,50	16,90	1,70	10,06

x̄: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.19'un sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmış, saonuçları Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Su alma oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	52909,074	52909,074	889,0750	0,0000*
Su itici madde (B)	3	590143,523	196714,508	3305,5567	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	6	15999,485	2666,581	44,8088	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	19761,899	6587,300	110,6918	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	12378,877	2063,146	34,6688	0,0000*
Etkileşim (BC)	18	83557,414	4642,079	78,0047	0,0000*
Etkileşim (ABC)	18	8456,101	469,783	7,8942	0,0000*
Hata	392	23328,018	59,510		
Toplam	447	806534,392			

*: 0,05'e göre önemli, NS: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin su alma oranı üzerinde ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri ile bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur (P ≤ 0,05).

Ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.21, Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Ağaç türü düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Göknar	94,7	B
Kavak	116,4	A*
LSD: ± 1,433		

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

Çizelge 4.21'e göre; su alma oranı, kavak örneklerinde yüksek (%116,4), göknar örneklerinde daha düşük (%94,7) bulunmuştur.

Çizelge 4.22. Su itici madde düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	154,8	A*
Parafin	103,1	C
Bezir yağı	111,7	B
Stiren	52,6	D**
LSD: ± 2,027		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.22'ye göre; en yüksek su alma oranı, Knt1 (emprenyesiz) örneklerde (%154,8), en düşük ise stiren ile muamele edilen örneklerde (%52,6) elde edilmiştir.

Çizelge 4.23. Yoğunlaştırma düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Knt2	104,5	C
120 °C / %20	111,0	B
120 °C / %40	113,9	A*
150 °C / %20	103,2	C
150 °C / %40	110,6	B
180 °C / %20	98,6	D**
180 °C / %40	97,2	D**
LSD: ± 2,681		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.23'e göre; en yüksek su alma oranı, 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (%113,9), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere 180 °C pres sıcaklığında %20 ve %40 sıkıştırılan örneklerde (%98,6 ve %97,2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	138,0	B	171,6	A*
Parafin	92,0	F	114,3	D
Bezir yağı	96,2	E	127,3	C
Stiren	52,7	G**	52,6	G**
LSD: ± 2,866				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.24'e göre; en yüksek su alma oranı, Knt1 (emprenyesiz) kavak örneklerde (%171,6), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere stiren ile muamele edilen göknar ve kavak örneklerde (%52,7 ve %52,6) elde edilmiştir.

Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge

4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	82,2	I**	126,8	A*
120 °C / %20	96,5	G	125,5	AB
120 °C / %40	106,0	DE	121,9	BC
150 °C / %20	96,8	G	109,6	D
150 °C / %40	101,4	F	119,9	C
180 °C / %20	90,1	H	107,0	DE
180 °C / %40	90,0	H	104,4	EF
LSD: ± 3,792				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.25'e göre; en yüksek su alma oranı, Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (%126,8), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) göknar örneklerde (%82,2) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	164,2	A*	68,5	M	109,3	GH	76,0	L
120 °C / %20	154,0	B	96,3	K	115,5	F	78,1	L
120 °C / %40	164,8	A*	125,7	E	118,1	F	47,1	O
150 °C / %20	142,9	C	98,3	JK	114,1	FG	57,5	N
150 °C / %40	161,6	A*	131,4	D	119,3	F	30,1	P
180 °C / %20	141,0	C	93,8	K	102,3	J	57,2	N
180 °C / %40	155,0	B	107,9	HI	103,5	IJ	22,5	Q**
LSD: ± 5,362								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.26'ya göre; en yüksek su alma oranı, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerde (%164,2) ve Knt1 (emprenyesiz) 120 °C ve 150 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (%164,8

ve %161,6), en düşük ise stiren ile muamele edilmiş 180 ℃ pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (%22,5) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde, su alma oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde su alma oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
		Göknar		Kavak	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	Knt2	139,4	HI	188,9	A*
	120 ℃ / %20	133,5	I-L	174,5	BC
	120 ℃ / %40	152,0	EF	177,6	B
	150 ℃ / %20	126,0	L-O	159,9	D
	150 ℃ / %40	147,1	FG	176,1	B
	180 ℃ / %20	125,8	M-O	156,2	DE
	180 ℃ / %40	142,0	GH	168,0	C
Parafin	Knt2	38,8	[\	98,2	R-T
	120 ℃ / %20	90,0	UV	102,7	QR
	120 ℃ / %40	120,1	N-P	131,3	J-M
	150 ℃ / %20	89,4	UV	107,3	Q
	150 ℃ / %40	119,6	OP	143,3	GH
	180 ℃ / %20	87,3	UV	100,4	Q-S
	180 ℃ / %40	98,9	RS	116,8	P
Bezir yağı	Knt2	85,1	V	133,6	I-K
	120 ℃ / %20	100,6	Q-S	130,4	J-M
	120 ℃ / %40	105,7	QR	130,5	J-M
	150 ℃ / %20	100,8	Q-S	127,5	K-N
	150 ℃ / %40	101,4	Q-S	137,2	H-J
	180 ℃ / %20	88,6	UV	116,0	P
	180 ℃ / %40	91,1	T-V	115,9	P
Stiren	Knt2	65,7	WX	86,4	V
	120 ℃ / %20	61,7	XY	94,5	S-U
	120 ℃ / %40	46,1	Z[	48,1	Z
	150 ℃ / %20	71,1	W	43,9	Z[\
	150 ℃ / %40	37,5	\	22,8	]^
	180 ℃ / %20	58,7	XY	55,6	Y
	180 ℃ / %40	28,0	]	16,9	^**
LSD: ±7,583					

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.27'ye göre; en yüksek su alma oranı, Knt1 (emprenyesiz) yoğunlaştırılmamış (Knt2) kavak örneklerde (%188,9), en düşük ise stiren ile muamele edilmiş 180 ℃ pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan kavak örneklerde (%16,9) elde edilmiştir.

4.1.5. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı

Deney örneklerinin sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerine ait aritmetik ortalamalar (%).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	Knt2	3,80	0,20	5,26	3,20	0,30	9,38
	120 °C / %20	26,20	1,60	6,11	23,80	1,30	5,46
	120 °C / %40	62,20	1,80	2,89	61,30	1,50	2,45
	150 °C / %20	21,30	0,70	3,29	19,00	1,60	8,42
	150 °C / %40	57,90	1,10	1,90	55,20	1,40	2,54
	180 °C / %20	20,80	1,30	6,25	19,20	0,30	1,56
	180 °C / %40	48,90	2,20	4,50	46,50	3,30	7,10
Parafin	Knt2	2,80	0,20	7,14	2,90	0,20	6,90
	120 °C / %20	24,70	0,80	3,24	24,90	0,70	2,81
	120 °C / %40	59,40	1,50	2,53	58,00	1,20	2,07
	150 °C / %20	21,00	1,40	6,67	21,80	0,70	3,21
	150 °C / %40	54,20	3,90	7,20	54,10	1,30	2,40
	180 °C / %20	17,60	0,90	5,11	18,00	0,90	5,00
	180 °C / %40	40,80	2,90	7,11	45,80	1,80	3,93
Bezir yağı	Knt2	3,50	0,10	2,86	3,60	0,20	5,56
	120 °C / %20	22,40	1,60	7,14	22,70	1,10	4,85
	120 °C / %40	53,00	2,90	5,47	51,30	2,50	4,87
	150 °C / %20	20,80	1,60	7,69	21,20	1,30	6,13
	150 °C / %40	42,10	2,00	4,75	44,70	2,80	6,26
	180 °C / %20	14,70	1,50	10,20	16,60	0,90	5,42
	180 °C / %40	27,80	2,00	7,19	33,70	1,90	5,64
Stiren	Knt2	3,40	0,20	5,88	2,70	0,20	7,41
	120 °C / %20	10,30	0,70	6,80	15,40	1,10	7,14
	120 °C / %40	19,40	0,90	4,64	17,90	1,30	7,26
	150 °C / %20	11,60	1,00	8,62	6,80	0,80	11,76
	150 °C / %40	14,90	1,20	8,05	6,40	0,30	4,69
	180 °C / %20	7,00	0,50	7,14	5,60	0,40	7,14
	180 °C / %40	7,30	0,60	8,22	4,20	0,30	7,14

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.28'in sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmış, saonuçları Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	24,811	24,811	11,1954	0,0009*
Su itici madde (B)	3	40673,310	13557,770	6117,5326	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	6	93854,865	15642,477	7058,1937	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	260,097	86,699	39,1203	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	155,149	25,858	11,6677	0,0000*
Etkileşim (BC)	18	21743,340	1207,963	545,0568	0,0000*
Etkileşim (ABC)	18	513,904	28,550	12,8824	0,0000*
Hata	392	868,756	2,216		
Toplam	447	158094,232			

*: 0,05'e göre önemli, NS: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin sıkıştırma yönü şişme oranı üzerinde ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri ile bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur (P ≤ 0,05).

Ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, sıkıştırma yönü şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.30, Çizelge 4.31 ve Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Ağaç türü düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Göknar	25,71	A*
Kavak	25,23	B
LSD: ±0,2765		

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

Çizelge 4.30'a göre; sıkıştırma yönü şişme oranı değeri göknar örneklerinde yüksek (%25,71), kavak örneklerinde daha düşük (%25,23) bulunmuştur.

Çizelge 4.31. Su itici madde düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	33,52	A*
Parafin	31,86	B
Bezir yağı	27,00	C
Stiren	9,50	D**
LSD: ± 0,3911		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.31'e göre; en yüksek sıkıştırma yönü şişme oranı, Knt1 (emprenyesiz) örneklerde (%33,52), en düşük ise stiren ile muamele edilen örneklerde (%9,50) elde edilmiştir.

Çizelge 4.32. Yoğunlaştırma düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Knt2	3,24	G
120 °C / %20	21,32	D
120 °C / %40	47,81	A*
150 °C / %20	17,92	E
150 °C / %40	41,19	B
180 °C / %20	14,93	F**
180 °C / %40	31,88	C
LSD: ± 0,5174		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.32'ye göre; en yüksek sıkıştırma yönü şişme oranı, 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (%47,81), en düşük ise 180 °C pres sıcaklığında %20 sıkıştırılan örneklerde (%14,93) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, sıkıştırma yönü şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.33'de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	34,43	A*	32,62	B
Parafin	31,51	C	32,20	B
Bezir yağı	26,32	E	27,69	D
Stiren	10,56	F	8,43	G**
LSD: ± 0,5531				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.33'e göre; en yüksek sıkıştırma yönü şişme oranı, Knt1 (emprenyesiz) göknar örneklerde (%34,43), en düşük ise stiren ile muamele edilen kavak örneklerde (%8,43) elde edilmiştir.

Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, sıkıştırma yönü şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.34'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	3,37	L**	3,11	L**
120 °C / %20	20,93	H	21,71	G
120 °C / %40	48,49	A*	47,12	B
150 °C / %20	18,65	I	17,20	J
150 °C / %40	42,28	C	40,10	D
180 °C / %20	15,01	K	14,85	K
180 °C / %40	31,21	F	32,55	E
LSD: ± 0,7317				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.34'e göre; en yüksek sıkıştırma yönü şişme oranı, 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan göknar örneklerde (%48,49), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt2 (yoğunlaştırılmamış) göknar ve kavak örneklerde (%3,37 ve %3,11) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, sıkıştırma yönü şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.35'de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	3,52	S**	2,83	S**	3,53	S**	3,08	S**
120 °C / %20	25,03	I	24,84	I	22,54	J	12,86	O
120 °C / %40	61,74	A*	58,69	B	52,16	E	18,64	M
150 °C / %20	20,13	L	21,35	K	21,00	KL	9,21	Q
150 °C / %40	56,55	C	54,15	D	43,42	G	10,64	P
180 °C / %20	19,98	L	17,80	M	15,64	N	6,03	R
180 °C / %40	47,72	F	43,33	G	30,72	H	5,75	R
LSD: ± 1,035								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.35'e göre; en yüksek sıkıştırma yönü şişme oranı, Knt1 (emprenyesiz) 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (%58,69), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt2 (yoğunlaştırılmamış) emprenyesiz (Knt1), parafin, bezir yağı ve stiren ile muamele edilmiş örneklerde (%3,52), (%2,83), (%3,53) ve (%3,08) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde, sıkıştırma yönü şişme oranı değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde sıkıştırma yönü şişme oranı değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
		Göknar		Kavak	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	Knt2	3,80	^**	3,24	^**
	120 °C / %20	26,22	M	23,84	NO
	120 °C / %40	62,16	A*	61,31	A*
	150 °C / %20	21,27	P-R	19,00	T-V
	150 °C / %40	57,87	C	55,23	D
	180 °C / %20	20,77	RS	19,19	TU
	180 °C / %40	48,91	G	46,54	H
Parafin	Knt2	2,80	^**	2,87	^**
	120 °C / %20	24,75	O-Q	24,94	MN
	120 °C / %40	54,39	E	57,99	BC
	150 °C / %20	20,96	RS	21,75	P-R
	150 °C / %40	54,22	J	54,08	DE
	180 °C / %20	17,64	Y	17,96	T-W
	180 °C / %40	20,84	L	45,81	HI
Bezir yağı	Knt2	3,47	^**	3,59	^**
	120 °C / %20	22,42	O-Q	22,67	OP
	120 °C / %40	53,02	E	51,30	F
	150 °C / %20	20,76	RS	21,24	P-R
	150 °C / %40	42,13	J	44,72	I
	180 °C / %20	14,66	Y	16,62	WX
	180 °C / %40	27,76	L	33,67	K
Stiren	Knt2	3,42	^**	2,74	^**
	120 °C / %20	10,34	Z	15,38	XY
	120 °C / %40	19,40	ST	17,88	U-W
	150 °C / %20	11,61	Z	6,80	[\
	150 °C / %40	14,90	Y	6,37	[\
	180 °C / %20	6,96	[\	5,65	\]
	180 °C / %40	7,32	[	4,19	]^
LSD: ± 1,463					

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.36'ya göre; en yüksek sıkıştırma yönü şişme oranı, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) 120 ℃ pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan göknar ve kavak örneklerde (%62,16 ve %61,31), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt2 (yoğunlaştırılmamış) emprenyesiz (Knt1), parafin, bezir yağı ve stiren ile muamele edilmiş göknar ve kavak örneklerde (%3,8), (%2,8), (%3,47), (%3,42), (%3,24), (%2,87), (%3,59) ve (%2,74) elde edilmiştir.

4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

Su itici özellikteki maddeler ile emprenye edildikten sonra termo-mekanik (TM) yöntemle sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış deney örneklerinde; statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve Janka sertlik direncine ait mekanik özellikler bu bölümde verilmiştir.

4.2.1. Statik Eğilme Direnci

Deney örneklerinin eğilme direnci değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	Knt2	70,24	5,75	8,19	57,88	5,33	9,21
	120 ℃ / %20	97,85	7,65	7,82	82,12	8,57	10,44
	120 ℃ / %40	118,11	6,90	5,84	99,59	7,00	7,03
	150 ℃ / %20	93,76	2,99	3,19	83,99	7,88	9,38
	150 ℃ / %40	116,47	7,73	6,64	100,21	7,26	7,24
	180 ℃ / %20	96,22	7,58	7,88	80,48	8,58	10,66
	180 ℃ / %40	122,94	6,74	5,48	102,78	9,74	9,48
Parafin	Knt2	74,37	4,71	6,33	60,96	2,49	4,08
	120 ℃ / %20	99,84	4,74	4,75	87,82	6,64	7,56
	120 ℃ / %40	122,89	8,23	6,70	106,13	7,05	6,64
	150 ℃ / %20	99,12	7,16	7,22	86,08	6,71	7,80
	150 ℃ / %40	126,71	5,20	4,10	107,60	4,23	3,93
	180 ℃ / %20	101,04	7,45	7,37	87,14	5,99	6,87
	180 ℃ / %40	131,55	5,81	4,42	114,20	6,59	5,77
Bezir yağı	Knt2	70,96	7,50	10,57	58,62	4,00	6,82
	120 ℃ / %20	93,46	8,42	9,01	80,59	7,54	9,36
	120 ℃ / %40	108,67	8,23	7,57	94,88	7,24	7,63

Çizelge 4.37. (devam). Eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2).

Bezir yağı	150 °C / %20	89,36	8,30	9,29	82,01	7,85	9,57
	150 °C / %40	108,98	9,47	8,69	90,00	2,99	3,32
	180 °C / %20	85,72	7,60	8,87	80,86	6,34	7,84
	180 °C / %40	105,67	8,23	7,79	89,11	6,09	6,83
Stiren	Knt2	76,76	7,01	9,13	64,74	5,83	9,01
	120 °C / %20	105,72	8,78	8,30	91,42	6,84	7,48
	120 °C / %40	129,60	5,84	4,51	122,56	9,25	7,55
	150 °C / %20	110,55	9,05	8,19	110,40	6,90	6,25
	150 °C / %40	137,00	4,11	3,00	137,05	7,51	5,48
	180 °C / %20	125,31	6,10	4,87	119,88	5,06	4,22
	180 °C / %40	153,58	10,74	6,99	146,82	9,72	6,62

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.37'nin sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmış, saonuçları Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Eğilme direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	17155,835	17155,835	340,5555	0,0000*
Su itici madde (B)	3	48862,477	16287,492	323,3183	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	6	130405,507	21734,251	431,4404	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	1439,308	479,769	9,5238	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	684,263	144,044	2,2639	0,0368*
Etkileşim (BC)	18	14616,312	812,017	16,1191	0,0000*
Etkileşim (ABC)	18	1064,468	59,137	1,1739	NS
Hata	392	19747,403	50,376		
Toplam	447	233975,572			

*: 0,05'e göre önemli, NS: Önemsiz

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

Ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, eğilme direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.39, Çizelge 4.40 ve Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.39. Ağaç türü düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Göknar	106,20	A*
Kavak	93,78	B**
LSD: ± 1,319		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.39'a göre; eğilme direnci değeri göknar örneklerinde yüksek (106,20 N/mm^2), kavak örneklerinde daha düşük (93,78 N/mm^2) bulunmuştur.

Çizelge 4.40. Su itici madde düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	94,47	C
Parafin	100,40	B
Bezir yağı	88,49	D**
Stiren	116,50	A*
LSD: ± 1,865		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.40'a göre; en yüksek eğilme direnci değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde (116,5 N/mm^2), en düşük ise bezir yağı ile muamele edilen örneklerde (88,49 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 4.41. Yoğunlaştırma düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Knt2	66,82	F**
120 °C / %20	92,35	E
120 °C / %40	112,80	C
150 °C / %20	94,41	E
150 °C / %40	115,50	B
180 °C / %20	97,08	D
180 °C / %40	120,08	A*
LSD: ± 2,467		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.41'e göre; en yüksek eğilme direnci, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (120,08 N/mm^2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (66,82 N/mm^2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, eğilme direnci arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.42'de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	102,20	D	86,72	F
Parafin	107,90	C	92,85	E
Bezir yağı	94,69	E	82,30	G**
Stiren	119,80	A*	113,30	B
LSD: ± 2,637				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.42'ye göre; en yüksek eğilme direnci, stiren ile muamele edilen göknar örneklerde (119,80 N/mm^2), en düşük ise bezir yağı ile muamele edilen kavak örneklerde (82,30 N/mm^2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, eğilme direnci arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.43'de verilmiştir.

Çizelge 4.43. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direncinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	73,08	I	60,55	J**
120 °C / %20	99,22	EF	85,49	H
120 °C / %40	119,80	B	105,80	D
150 °C / %20	98,20	F	90,62	G
150 °C / %40	122,30	B	108,70	D
180 °C / %20	102,10	E	92,09	G
180 °C / %40	128,40	A*	113,20	C
LSD: ± 3,489				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.43'e göre; en yüksek eğilme direnci, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan göknar örneklerde (128,4 N/mm^2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (60,55 N/mm^2) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, eğilme direnci arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.44'de verilmiştir.

Çizelge 4.44. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilme direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	64,06	O**	67,67	NO	64,79	O**	70,75	N
120 °C / %20	89,98	J-L	93,83	H-J	87,03	LM	98,57	GH
120 °C / %40	108,80	F	114,50	DE	101,80	G	126,10	C
150 °C / %20	88,88	KL	92,60	I-K	85,68	LM	110,5	EF
150 °C / %40	108,30	F	117,20	D	99,49	G	137,00	B
180 °C / %20	88,35	KL	94,09	H-J	83,29	M	122,60	C
180 °C / %40	112,90	D-F	122,90	C	97,39	G-I	150,20	A*
LSD: ± 4,934								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.44'e göre; en yüksek eğilme direnci, stiren ile muamele edilmiş 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (150,20 N/mm^2), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) ve bezir yağı ile muamele edilmiş yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerde (64,79 N/mm^2 ve 64,06 N/mm^2) elde edilmiştir.

4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deney örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.45'de verilmiştir.

Çizelge 4.45. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin aritmetik ortalamaları (N/mm^2).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	Knt2	7611	816	10,72	5321	459	8,63
	120 °C / %20	10683	902	8,44	8229	665	8,08
	120 °C / %40	12875	691	5,37	10681	588	5,51
	150 °C / %20	10015	581	5,80	8168	567	6,94
	150 °C / %40	12371	600	4,85	10454	845	8,08
	180 °C / %20	10260	930	9,06	8034	755	9,40
	180 °C / %40	12700	618	4,87	10461	724	6,92
Parafin	Knt2	8274	630	7,61	6203	265	4,27
	120 °C / %20	10600	680	6,42	8425	500	5,93

Çizelge 4.45. (devam). Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin aritmetik ortalamaları (N/mm^2).

Parafin	120 °C / %40	12744	562	4,41	10935	557	5,09
	150 °C / %20	10374	902	8,69	8395	709	8,45
	150 °C / %40	13206	658	4,98	10652	676	6,35
	180 °C / %20	10719	863	8,05	8301	648	7,81
	180 °C / %40	13348	424	3,18	10920	266	2,44
Bezir yağı	Knt2	7320	677	9,25	5300	585	11,04
	120 °C / %20	10193	655	6,43	8080	765	9,47
	120 °C / %40	12380	873	7,05	9577	352	3,68
	150 °C / %20	9820	700	7,13	8057	674	8,37
	150 °C / %40	11770	577	4,90	9338	370	3,96
	180 °C / %20	10151	759	7,48	8098	872	10,77
	180 °C / %40	11947	671	5,62	9491	397	4,18
Stiren	Knt2	8675	663	7,64	6637	669	10,08
	120 °C / %20	11062	860	7,77	9124	688	7,54
	120 °C / %40	13007	733	5,64	11687	743	6,36
	150 °C / %20	11160	774	6,94	10914	595	5,45
	150 °C / %40	14080	656	4,66	13515	851	6,30
	180 °C / %20	12115	746	6,16	11720	578	4,93
	180 °C / %40	15760	588	3,73	14485	313	2,16

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.45'in sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmış, saonuçları Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.46. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	416862693,752	416862693,75	928,0477	0,0000*
Su itici madde (B)	3	338131358,596	112710452,86	250,9236	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	6	1387199912,46	231199985,41	514,7129	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	25073592,542	8357864,181	18,6068	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	6052219,107	1008703,185	2,2456	0,0383*
Etkileşim (BC)	18	101535825,857	5640879,214	12,5581	0,0000*
Etkileşim (ABC)	18	12419883,536	689993,530	1,5361	Ns
Hata	392	176079496,625	449182,389		
Toplam	447	2463354982,48			

*: 0,05'e göre önemli, NS: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin eğilmede elastikiyet modülü üzerinde ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi önemsiz, diğer faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur ($P \leq 0,05$).

Ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.47, Çizelge 4.48 ve Çizelge 4.49'da verilmiştir.

Çizelge 4.47. Ağaç türü düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Göknar	11260	A*
Kavak	9329	B
LSD: ± 124,5		

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

Çizelge 4.47'ye göre; eğilmede elastikiyet modülü değeri göknar örneklerinde yüksek (11260 N/mm^2), kavak örneklerinde daha düşük (9329 N/mm^2) bulunmuştur.

Çizelge 4.48. Su itici madde düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	9847	C
Parafin	10220	B
Bezir yağı	9395	D**
Stiren	11710	A*
LSD: ± 176,1		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.48'e göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde (11710 N/mm^2), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) örneklerde (9395 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 4.49. Yoğunlaştırma düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Knt2	6918	E**
120 °C / %20	9549	D
120 °C / %40	11740	B
150 °C / %20	9613	D
150 °C / %40	11920	B
180 °C / %20	9925	C
180 °C / %40	12390	A*
LSD: ± 232,9		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.49'a göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (12390 N/mm^2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (6918 N/mm^2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.50'de verilmiştir.

Çizelge 4.50. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	10930	C	8764	F
Parafin	11320	B	9119	E
Bezir yağı	10510	D	8277	G**
Stiren	12270	A*	11150	BC
LSD: ± 249,0				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.50'ye göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri, stiren ile muamele edilen göknar örneklerde (12270 N/mm^2), en düşük ise bezir yağı ile muamele edilen kavak örneklerde (8277 N/mm^2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.51'de verilmiştir.

Çizelge 4.51. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	7970	I	5865	J**
120 °C / %20	10630	EF	8464	H
120 °C / %40	12750	B	10720	DE
150 °C / %20	10340	F	8884	G
150 °C / %40	12860	B	10990	D
180 °C / %20	10810	DE	9038	G
180 °C / %40	13440	A*	11340	C
LSD: ± 329,4				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.51'e göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan göknar örneklerde (13440 N/mm^2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (5865 N/mm^2) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.52'de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	6466	N**	7239	M	6311	N**	7656	M
120 °C / %20	9456	K	9513	K	9137	KL	10090	J
120 °C / %40	11780	D-F	11840	D-F	10980	G-I	12350	C
150 °C / %20	9091	KL	9385	KL	8938	L	11040	GH
150 °C / %40	11410	FG	11930	C-E	10550	IJ	13800	B
180 °C / %20	9147	KL	9510	K	9125	KL	11920	C-E
180 °C / %40	11580	EF	12130	CD	10720	HI	15120	A*
LSD: ± 465,9								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.52'ye göre; en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri, stiren ile muamele edilmiş 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (15120 N/mm^2), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) ve bezir yağı ile muamele edilmiş yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerde (6466 N/mm^2 ve 6311 N/mm^2) elde

edilmiştir.

4.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci

Deney örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.53'de verilmiştir.

Çizelge 4.53. Liflere paralel basınç direnci değerlerinin aritmetik ortalamaları (N/mm^2).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	Knt2	39,50	2,46	6,23	34,12	2,66	7,80
	120 ℃ / %20	56,06	3,98	7,10	48,14	3,40	7,06
	120 ℃ / %40	68,41	3,73	5,45	61,60	3,51	5,70
	150 ℃ / %20	54,98	4,19	7,62	47,85	2,66	5,56
	150 ℃ / %40	66,29	4,99	7,53	58,82	3,01	5,12
	180 ℃ / %20	52,30	3,47	6,63	47,20	3,30	6,99
	180 ℃ / %40	64,18	3,85	6,00	55,55	4,92	8,86
Parafin	Knt2	47,78	3,12	6,53	41,25	2,93	7,10
	120 ℃ / %20	57,88	4,22	7,29	52,68	4,43	8,41
	120 ℃ / %40	76,89	5,75	7,48	67,07	4,42	6,59
	150 ℃ / %20	57,36	4,25	7,41	50,08	2,66	5,31
	150 ℃ / %40	79,85	4,65	5,82	69,22	4,38	6,33
	180 ℃ / %20	62,50	3,58	5,73	51,90	3,88	7,48
	180 ℃ / %40	81,63	3,70	4,53	74,27	4,77	6,42
Bezir yağı	Knt2	42,80	3,07	7,17	37,69	3,13	8,30
	120 ℃ / %20	55,07	3,75	6,81	51,44	4,96	9,64
	120 ℃ / %40	64,47	3,22	4,99	58,24	3,76	6,46
	150 ℃ / %20	57,87	4,68	8,09	52,18	3,57	6,84
	150 ℃ / %40	65,72	5,41	8,23	57,79	1,95	3,37
	180 ℃ / %20	58,31	3,07	5,26	52,33	3,03	5,79
	180 ℃ / %40	71,08	3,17	4,46	62,02	3,41	5,50
Stiren	Knt2	48,95	4,66	9,52	45,41	2,75	6,06
	120 ℃ / %20	65,44	4,91	7,50	60,22	4,41	7,32
	120 ℃ / %40	90,07	2,86	3,18	83,80	6,33	7,55
	150 ℃ / %20	69,50	4,07	5,86	70,17	5,14	7,33
	150 ℃ / %40	101,43	7,07	6,97	102,18	6,54	6,40
	180 ℃ / %20	77,24	5,65	7,31	74,95	6,24	8,33
	180 ℃ / %40	115,12	7,91	6,87	114,46	6,53	5,71

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.53'ün sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA) yapılmış, saonuçları Çizelge 4.54'de verilmiştir.

Çizelge 4.54. Liflere paralel basınç direnci değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	3939,121	3939,121	210,3162	0,0000*
Su itici madde (B)	3	46524,359	15508,120	828,0042	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	6	65590,779	10931,796	583,6667	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	530,697	176,899	9,4449	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	67,112	11,185	0,5972	NS
Etkileşim (BC)	18	16968,658	942,703	50,3325	0,0000*
Etkileşim (ABC)	18	346,506	19,250	1,0278	NS
Hata	392	7341,971	18,730		
Toplam	447	141309,203			

*: 0,05'e göre önemli, NS: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin liflere paralel basınç direnci üzerinde ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi ve ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi önemsiz, diğer faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur (P ≤ 0,05).

Ağaç türü, su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, liflere paralel basınç direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.55, Çizelge 4.56 ve Çizelge 4.57'de verilmiştir.

Çizelge 4.55. Ağaç türü düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Göknar	66,03	A*
Kavak	60,09	B
LSD: ± 0,8040		

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

Çizelge 4.55'e göre; liflere paralel basınç direnci değeri göknar örneklerinde yüksek (66,03 N/mm^2), kavak örneklerinde daha düşük (60,09 N/mm^2) bulunmuştur.

Çizelge 4.56. Su itici madde düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	53,93	D**
Parafin	62,17	B
Bezir yağı	56,22	C
Stiren	79,92	A*
LSD: ± 1,137		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.56'ya göre; en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde (79,92 N/mm^2), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) örneklerde (53,93 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 4.57. Yoğunlaştırma düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Knt2	42,19	G**
120 °C / %20	55,87	F
120 °C / %40	71,32	C
150 °C / %20	57,50	E
150 °C / %40	75,16	B
180 °C / %20	59,59	D
180 °C / %40	79,79	A*
LSD: ± 1,504		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.57'ye göre; en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (79,79 N/mm^2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (42,19 N/mm^2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, liflere paralel basınç direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.58'de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	57,39	E	50,47	G**
Parafin	66,27	C	58,07	DE
Bezir yağı	59,33	D	53,10	F
Stiren	81,11	A*	78,74	B
LSD: ± 1,608				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.58'e göre; en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri, stiren ile muamele edilen göknar örneklerde (81,11 N/mm^2), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) kavak örneklerde (50,47 N/mm^2) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, liflere paralel basınç direnci değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.59'da verilmiştir.

Çizelge 4.59. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde liflere paralel basınç direnci değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	36,81	T**	44,51	R	40,25	S	47,18	QR
120 °C / %20	52,10	N-P	55,28	LM	53,26	M-O	62,83	IJ
120 °C / %40	65,01	HI	71,99	FG	61,36	J	86,94	C
150 °C / %20	51,41	OP	53,72	M-O	55,03	L-N	69,84	G
150 °C / %40	62,55	IJ	74,53	EF	61,76	J	101,80	B
180 °C / %20	49,75	PQ	57,20	KL	55,32	LM	76,09	DE
180 °C / %40	59,87	JK	77,95	D	66,55	H	114,80	A*
LSD: ±								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.59'a göre; en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri, stiren ile muamele edilmiş 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (114,80 N/mm^2), en düşük ise Knt1 (emprenyesiz) yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerde (36,81 N/mm^2) elde edilmiştir.

4.2.4. Janka Sertlik

Deney örneklerinin Janka sertlik değerlerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 4.60'da verilmiştir.

Çizelge 4.60. Sertlik değerlerine ait aritmetik ortalamalar (N/mm^2).

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü					
		Göknar			Kavak		
		$\bar{x}$	St.S	V.K	$\bar{x}$	St.S	V.K
Knt1	Knt2	15,53	2,23	14,36	13,52	1,42	10,50
	120 °C / %20	22,79	3,00	13,16	17,92	3,07	17,13
	120 °C / %40	31,37	3,85	12,27	26,46	1,91	7,22
	150 °C / %20	20,84	2,08	9,98	17,62	2,36	13,39
	150 °C / %40	29,91	2,56	8,56	25,44	2,93	11,52
	180 °C / %20	19,47	3,11	15,97	17,70	2,00	11,30
	180 °C / %40	27,54	2,81	10,20	25,10	1,30	5,18
Parafin	Knt2	15,74	2,27	14,42	13,29	2,19	16,48
	120 °C / %20	22,05	2,62	11,88	19,09	2,98	15,61
	120 °C / %40	32,81	3,03	9,23	30,54	2,77	9,07
	150 °C / %20	21,92	1,86	8,49	18,49	1,43	7,73
	150 °C / %40	30,36	2,48	8,17	26,37	2,91	11,04
	180 °C / %20	23,67	1,78	7,52	20,98	1,58	7,53
	180 °C / %40	31,84	2,40	7,54	27,54	1,89	6,86
Bezir yağı	Knt2	16,53	2,19	13,25	14,65	2,20	15,02
	120 °C / %20	21,08	2,60	12,33	17,64	2,87	16,27
	120 °C / %40	28,62	2,65	9,26	25,37	1,86	7,33
	150 °C / %20	20,44	2,25	11,01	19,01	2,18	11,47
	150 °C / %40	28,75	1,79	6,23	24,92	2,81	11,28
	180 °C / %20	19,14	3,01	15,73	18,09	2,67	14,76
	180 °C / %40	24,63	2,24	9,09	22,49	2,81	12,49
Stiren	Knt2	20,22	2,40	11,87	19,65	1,67	8,50
	120 °C / %20	34,94	3,57	10,22	30,15	2,65	8,79
	120 °C / %40	58,93	5,88	9,98	62,35	6,56	10,52
	150 °C / %20	37,69	2,15	5,70	49,31	4,24	8,60
	150 °C / %40	76,24	6,88	9,02	89,77	6,87	7,65
	180 °C / %20	41,65	4,20	10,08	55,43	4,09	7,38
	180 °C / %40	85,11	5,26	6,18	99,56	7,96	8,00

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, St.S: Standart sapma, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, V.K: Varyasyon katsayısı

Çizelge 4.60'ın sonucuna göre ağaç türü, su itici madde çeşidi, yoğunlaştırma faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri arasında farklılık tespit edilmiştir. Bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığını belirlemek amacı ile çoklu varyans analizi (ANOVA)

yapılmış, saonuçları Çizelge 4.61'de verilmiştir.

Çizelge 4.61. Sertlik değerlerinin varyans analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	18,424	18,424	1,7101	NS
Su itici madde (B)	3	85302,120	28434,040	2639,3363	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	6	39281,424	6546,904	607,7041	0,0000*
Etkileşim (AB)	3	2258,518	752,839	69,8809	0,0000*
Etkileşim (AC)	6	450,066	75,011	6,9628	0,0000*
Etkileşim (BC)	18	34862,747	1936,819	179,7816	0,0000*
Etkileşim (ABC)	18	1131,270	62,848	5,8338	0,0000*
Hata	392	4223,086	10,773		
Toplam	447	167527,654			

*: 0,05'e göre önemli, NS: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin sertlik değerleri üzerinde ağaç türü faktörü önemsiz, diğer faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur (P ≤ 0,05).

Su itici madde ve yoğunlaştırma faktörleri düzeyinde, hava kurusu yoğunluk değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları sırası ile Çizelge 4.62 ve Çizelge 4.63'de verilmiştir.

Çizelge 4.62. Su itici madde düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	$\bar{x}$	HG
Knt1	22,23	C**
Parafin	23,91	B
Bezir yağı	21,52	C**
Stiren	54,36	A*
LSD: ± 0,8623		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.62'ye göre; en yüksek yoğunluk değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde (54,36 N/mm^2), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) ve bezir yağı ile muamele edilmiş örneklerde (22,23 N/mm^2 ve 21,52 N/mm^2) elde edilmiştir.

Çizelge 4.63. Yoğunlaştırma düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Knt2	16,14	G**
120 °C / %20	23,21	F
120 °C / %40	37,06	C
150 °C / %20	25,66	E
150 °C / %40	41,47	B
180 °C / %20	27,02	D
180 °C / %40	42,97	A*
LSD: ± 1,141		

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.63'e göre; en yüksek sertlik değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (42,97 N/mm^2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (16,14 N/mm^2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde, sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.64'de verilmiştir.

Çizelge 4.64. Ağaç türü-su itici madde ikili etkileşimi düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	23,92	D	20,54	F**
Parafin	25,48	C	22,33	E
Bezir yağı	22,74	DE	20,31	F**
Stiren	50,68	B	58,03	A*
LSD: ± 1,219				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.64'e göre; en yüksek sertlik değeri, stiren ile muamele edilen kavak örneklerde (58,03 N/mm^2), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz) ve bezir yağı ile muamele edilmiş kavak örneklerde (20,54 N/mm^2 ve 20,31 N/mm^2) elde edilmiştir.

Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.65'de verilmiştir.

Çizelge 4.65. Ağaç türü-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
	Göknar		Kavak	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	17,01	H	15,28	I**
120 °C / %20	25,21	F	21,20	G
120 °C / %40	37,93	C	36,18	D
150 °C / %20	25,22	F	26,11	F
150 °C / %40	41,32	B	41,62	B
180 °C / %20	25,98	F	28,05	E
180 °C / %40	42,28	AB	43,67	A*
LSD: ± 1,613				

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.65'e göre; en yüksek sertlik değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan kavak örneklerde (43,67 N/mm^2), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) kavak örneklerde (15,28 N/mm^2) elde edilmiştir.

Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde, sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.66'da verilmiştir.

Çizelge 4.66. Su itici madde-yoğunlaştırma ikili etkileşimi düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Yoğunlaştırma	Su itici madde							
	Knt1		Parafin		Bezir yağı		Stiren	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt2	14,52	N**	14,52	N**	15,59	N**	19,94	M
120 °C / %20	20,36	LM	20,57	LM	19,36	M	32,54	F
120 °C / %40	28,91	HI	31,67	FG	26,99	IJ	60,64	C
150 °C / %20	19,23	M	20,20	LM	19,73	M	43,50	E
150 °C / %40	27,67	H-J	28,36	H-J	26,84	IJ	83,00	B
180 °C / %20	18,59	M	22,33	KL	18,61	M	48,54	D
180 °C / %40	26,32	J	29,69	GH	23,56	K	92,33	A*
LSD: ± 2,281								

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.66'ya göre; en yüksek sertlik değeri, stiren ile muamele edilmiş 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde (92,33 N/mm^2), en düşük ise aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (emprenyesiz), parafin ve bezir yağı ile muamele edilmiş yoğunlaştırılmamış (Knt2) örneklerde (14,52 N/mm^2, 14,52 N/mm^2 ve 15,59 N/mm^2)

elde edilmiştir.

Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde, sertlik değerleri arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.67'de verilmiştir.

Çizelge 4.67. Ağaç türü-su itici madde-yoğunlaştırma üçlü etkileşimi düzeyinde sertlik değerlerinin Duncan testi karşılaştırma sonuçları.

Su itici madde	Yoğunlaştırma	Ağaç türü			
		Göknar		Kavak	
		$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Knt1	Knt2	15,53	[\	13,52	\]**
	120 °C / %20	22,79	S-V	17,92	YZ
	120 °C / %40	31,37	LM	26,46	O-R
	150 °C / %20	20,84	U-Z	17,62	Z
	150 °C / %40	29,91	L-N	25,44	P-S
	180 °C / %20	19,47	W-Z	17,70	Z
	180 °C / %40	27,54	N-Q	25,10	Q-T
Parafin	Knt2	15,74	[\	13,29	]
	120 °C / %20	22,05	T-X	19,09	X-Z
	120 °C / %40	32,81	KL	30,54	L-N
	150 °C / %20	21,92	T-X	18,49	YZ
	150 °C / %40	30,36	L-N	26,37	O-R
	180 °C / %20	23,67	R-U	20,98	U-Y
	180 °C / %40	31,84	K-M	27,54	N-Q
Bezir yağı	Knt2	16,53	[	14,65	[\]
	120 °C / %20	21,08	U-Y	17,64	Z
	120 °C / %40	28,62	M-P	25,37	Q-S
	150 °C / %20	20,44	V-Z	19,01	X-Z
	150 °C / %40	28,75	M-O	24,92	Q-T
	180 °C / %20	19,14	X-Z	18,09	YZ
	180 °C / %40	24,63	Q-T	22,49	S-W
Stiren	Knt2	20,22	V-Z	19,65	V-Z
	120 °C / %20	34,94	JK	30,15	L-N
	120 °C / %40	58,93	F	62,35	E
	150 °C / %20	37,69	J	49,31	H
	150 °C / %40	76,24	D	89,77	B
	180 °C / %20	41,65	I	55,43	G
	180 °C / %40	85,11	C	99,56	A*
LSD: ± 3,226					

$\bar{x}$: Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Emprenyesiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış, (*): En yüksek ve (**) en düşük geri esneme oranı

Çizelge 4.67'ye göre; en yüksek sertlik değeri, stiren ile muamele edilmiş 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan kavak örneklerde (99,56 N/mm^2), en düşük ise parafin ile muamele edilmiş (Knt2) yoğunlaştırılmamış kavak örneklerde (13,52 N/mm^2) elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; göknar ve kavak odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine emprenye 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.

5.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

5.1.1. Geri Esneme Oranı

Ağaç türü düzeyinde, göknar ve kavak odunu örneklerinde geri esneme oranı bakımından benzer sonuçlar elde edilmiş ve iki ağaç türünün geri esneme oranları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu durum, emprenye ve yoğunlaştırma işlemleri yapılmış göknar ve kavak odunlarının bu işlemlerden sonra benzer davranış sergilemelerinden kaynaklanmış olabilir.

Deney örneklerinin geri esneme oranı üzerine su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. Göknar odunu için en yüksek geri esneme oranı, Knt1 (emprenyesiz) deney örneklerinde belirlenmiş ve bunu bezir yağı ve stiren ile muamele edilen örnekler izlemiştir. En düşük geri esneme oranı ise parafin ile muamele edilen göknar örneklerinde tespit edilmiştir. Kavak odunu için ise en yüksek geri esneme oranı, bezir yağı ile muamele edilen örneklerde belirlenmiş ve bunu sırası ile Knt1 (emprenyesiz) ve stiren ile muamele edilen örnekler izlemiştir. En düşük geri esneme oranı ise parafin ile muamele edilen kavak örneklerinde elde edilmiştir. Su itici maddeler ile işlem gören göknar ve kavak örneklerin geri esneme oranları (bezir yağı ile işlem gören kavak örnekler hariç) emprenyesiz (Knt1) örneklere göre azalmıştır. Emprenye yapılmış örneklerde denge rutubeti miktarındaki düşüşlerin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Göknar örneklerin ortalama denge rutubet miktarı; Knt1 (emprenyesiz) örneklerde %10,2, parafinli örneklerde %8,1, bezir yağlı örneklerde %9,0 ve stirenli örneklerde %6,6 olarak tespit edilmiştir. Kavak örneklerin ortalama denge rutubet miktarı ise; Knt1 (emprenyesiz) örneklerde %9,8, parafinli örneklerde %7,6, bezir yağlı örneklerde %8,6 ve stirenli örneklerde %5,4 olarak belirlenmiştir. Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre,

parafin ile muamele edilen göknar ve kavak örneklerinde geri esneme oranı sırası ile %44 ve %19 oranında azalmıştır.

Örneklerin geri esneme oranı üzerine yoğunlaştırma işleminin etkisi önemli bulunmuştur. Göknar odunu için en yüksek geri esneme oranı, 150 °C pres sıcaklığında %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde, en düşük ise 120 °C pres sıcaklığında %20 oranında sıkıştırılmış örneklerde belirlenmiştir. Kavak odununda ise en yüksek geri esneme oranı, 120 °C pres sıcaklığında %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde, en düşük ise 180 °C pres sıcaklığında %20 oranında sıkıştırılmış örneklerde tespit edilmiştir. Yoğunlaştırılmış göknar ve kavak örneklerin geri esneme oranı değerleri sıkıştırma oranı ve sıkıştırma sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Her iki ağaç türünde de geri esneme oranı değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş ve yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha fazla geri esneme gerçekleşmiştir. Literatürde, yüksek sıkıştırma oranlarında daha fazla geri esnemenin meydana geldiği ve bununda, yüksek oranda sıkıştırma sonucu ağaç malzeme bünyesinde daha fazla iç gerilmelerin oluşmasından kaynaklandığı bildirilmiştir [5], [65], [66]. 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 [67]. Sıkıştırma sıcaklığı bakımından, kavak örneklerde en yüksek geri esneme oranları 120 °C pres sıcaklığında, en düşük ise 180 °C pres sıcaklığında yoğunlaştırılmış örneklerde belirlenmiştir. Kavak örneklerde sıkıştırma sıcaklığı artışına bağlı olarak geri esneme oranı değerleri azalmıştır. Göknar örneklerde ise sıkıştırma sıcaklığındaki artış sonucu geri esneme oranlarında önce artış görülmüş ancak daha yüksek sıkıştırma sıcaklığında (180 °C) tekrar düşüş gözlenmiştir. Sonuçlar üzerinde, yüksek sıcaklıkta (180 °C) yoğunlaştırılan örneklerde denge rutubeti miktarındaki azalmanın etkili olduğu söylenebilir. Farklı sıcaklıklarda yoğunlaştırılmış deney örneklerinin ortalama denge rutubet miktarları 120 °C'de %8,4, 150 °C'de %8,0 ve 180 °C'de %7,4 olarak tespit edilmiştir. Önceki çalışmalarda, ısıl işlem görmüş ağaç malzemelerde işlem sıcaklığındaki artışa bağlı olarak denge rutubeti miktarının azaldığı belirtilmiştir [68]–[72].

Farklı su itici maddeler ile muamele edildikten sonra yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerin geri esneme oranı üzerine su itici madde ve yoğunlaştırma işleminin etkisi birlikte değerlendirildiğinde, stiren ile muamele edildikten sonra 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan her iki ağaç türünde de geri esneme oranı önemli derecede azalmıştır.

Aynı sıcaklık ve sıkıştırma oranında yoğunlaştırılmış Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre, bu koşullarda işlem görmüş hem göknar hem de kavak örneklerin geri esneme oranı %81 azalmıştır.

5.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk

Su itici maddeler ile muamele edildikten sonra farklı koşullarda yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluk değeri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde hava kurusu yoğunluk değeri, kavak örneklerine göre göknar örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Sonuçlar üzerinde ağaç malzemelerin başlangıç yoğunluklarının etkili olduğu söylenebilir. Zira işlemsiz göknar örneklerin hava kurusu yoğunluk değeri 0,446 g/cm^3, kavak örneklerin ise 0,374 g/cm^3 olarak belirlenmiştir.

Deney örneklerinin hava kurusu yoğunluk değeri üzerinde su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü içinde en yüksek hava kurusu yoğunluk değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde elde edilmiş bunu sırası ile bezir yağı ve parafin ile muamele edilen örnekler izlemiştir. En düşük hava kurusu yoğunluk değeri ise Knt1 (emprenyesiz) deney örneklerinde tespit edilmiştir. Sonuçlar su itici maddelerin retensiyon değerleri ile paralellik göstermiş, yüksek retensiyon değerine sahip su itici maddelerde daha yüksek yoğunluk elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Emprenye işlemleri sonrasında tüm örneklerin hava kurusu yoğunluk değeri artmıştır. Yoğunluklarda meydana gelen artışlar, su itici maddelerin ağaç malzeme tarafından emilmesi ve buna bağlı olarak malzemelerdeki kütle artışları ile açıklanabilir.

Örneklerin hava kurusu yoğunluk değeri üzerinde yoğunlaştırma koşullarının etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek hava kurusu yoğunluk değeri, 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırma işleminde tespit edilmiştir. En düşük yoğunluk değeri ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerin hava kurusu yoğunluk değeri sıkıştırma oranı ve sıcaklığına bağlı olarak artmıştır. Belirlenen yoğunluk değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş, yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha yüksek hava kurusu yoğunluk değeri elde edilmiştir. Literatürde, mekanik yoğunlaştırma sonucu ağaç malzeme yoğunluğunda meydana gelen artışların, boşluk hacmindeki azalma ve buna bağlı olarak birim hacme düşen hücre çeperi miktarındaki artış ile açıklanabileceği belirtilmiştir [12]. Önceki farklı çalışmalarda da, sıkıştırma oranı artışı ile ağaç malzeme

yoğunluğunun artış gösterdiği ifade edilmiştir [73]–[75].

Su itici maddeler ile muamele edildikten sonra farklı koşullarda yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluğu üzerine su itici madde çeşidi ve yoğunlaştırma işleminin etkisi birlikte değerlendirildiğinde, her iki ağaç türü için en yüksek yoğunluk değerleri stiren ile muamele edildikten sonra 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde belirlenmiştir (göknar=0,966 g/cm^3, kavak=1,023 g/cm^3). İşlemsiz (kontrol) örneklere göre, bu koşullarda işlem görmüş göknar ve kavak örneklerin hava kurusu yoğunluk değerinde sırası ile %117 ve %174 oranında önemli artışlar sağlanmıştır. Önceki çalışmalarda, presleme sonucu ağaç malzemede elde edilen yoğunluk artışının, ağaç türünün özelliklerine, geri esneme etkisine ve uygulanan yoğunlaştırma yöntemi ile sıkıştırmanın seviyesine bağlı olduğu belirtilmiştir [12], [76].

5.1.3. Su Alma Oranı

Deney örneklerinin su alma oranı değerleri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde su alma oranı değeri, göknar örneklere göre kavak örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Göknar örneklere göre, kavak örneklerin yoğunluğunun düşük ve boşluk hacminin fazla olması bu duruma bağlı olarak da daha fazla su absorbe etmesinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ağaç malzeme yoğunluğunu etkileyen en önemli faktörlerden birinin boşluk hacmi olduğu ve ağaç malzemede boşluk hacminin arttıkça absorbe edilen su veya emprenye maddesi miktarının da arttığı belirtilmiştir [22].

Örneklerin su alma oranı değerleri üzerinde su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek su alma oranı, Knt1 (emprenyesiz) deney örneklerinde belirlenmiş ve bunu sırası ile bezir yağı ve parafin ile muamele edilen örnekler izlemiştir. En düşük su alma oranı ise stiren ile muamele edilen deney örneklerinde tespit edilmiştir. Emprenye işlemleri sonrasında örneklerin su alma oranı değerleri önemli derecede azalmıştır. Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre, stiren ile muamele edilen göknar ve kavak örneklerde su alma oranı sırası ile %62 ve %69 azalmıştır. Önceki çalışmalarda, su iticilik sağlayan maddelerin, ağaç malzemede su alımını kontrol etmek veya önlemek için kullanıldığı ve bu maddelerin ağaç malzemede su itici bir bariyer oluşturması ile su alma oranının önemli ölçüde azaltılabildiği belirtilmiştir. Ayrıca, su itici madde çeşidine ve miktarına bağlı olarak, ağaç malzemede hücre boşluklarının doldurulduğu, böylece ağaç malzemenin hidrofobik özellik gösterdiği

ve su alma oranının azaldığı belirtilmiştir [2], [77]. Farklı bir çalışmada ise, vinil monomerlerle (stiren ve metilmetakrilat) emprenye edilen ağaç malzemede, suda bekletme testi sonrası su alma oranlarının önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir [78].

Deney örneklerinin su alma oranı değeri üzerinde yoğunlaştırma işleminin etkisi önemli bulunmuştur. Göknar örnekler için en yüksek su alma oranı değeri, 120 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırma koşullarında, en düşük Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde belirlenmiştir. Kavak örneklerde ise en yüksek su alma oranı değeri, Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde, en düşük 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırma koşullarında tespit edilmiştir. Göknar örneklerde yoğunlaştırma işlemlerinden sonra su alma oranı değeri sıkıştırma oranı ve sıcaklığına bağlı olarak artmıştır. Kavak örneklerde ise tersi bir durum gerçekleşmiş ve yoğunlaştırma işlemlerinden sonra su alma oranı değeri sıkıştırma oranı ve sıcaklığına bağlı olarak azalmıştır. Yoğunlaştırılmış örneklerde, sıkıştırma sıcaklığı bakımından en yüksek su alma oranları 120 °C'de, en düşük ise 180 °C'de işlem görenlerde belirlenmiştir. Sıkıştırma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak örneklerin su alma oranı değerleri azalmıştır.

Farklı su itici maddeler ile muamele edildikten sonra yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerin su alma oranı üzerine su itici madde çeşidi ve yoğunlaştırma işleminin etkisi birlikte değerlendirildiğinde, her iki ağaç türünde de en düşük su alma oranı, stiren ile muamele edildikten sonra 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde belirlenmiştir (göknar=%28, kavak=%17). Aynı koşullarda yoğunlaştırılmış Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre, bu koşullarda işlem görmüş göknar ve kavak örneklerin su alma oranı sırası ile %80,3 ve %89,9 oranında azalmıştır. Her iki ağaç türünde de (özellikle kavak) su alımına karşı direnç büyük ölçüde sağlanmıştır. Sonuçlar üzerinde, monomerik yapıdaki stirenin ağaç malzeme bünyesine emdirildikten sonra polimerik bir yapıya dönüştürülmesi ve yüksek oranda sıkıştırma sonucu ağaç malzemelerin boşluk hacminin azalmasının etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, ağaç malzeme hücre boşluklarını dolduran vinil monomerlerin yerinde polimerleştirilmesi sonucu özgül ağırlık, su itici etkinlik ve boyutsal kararlılık gibi fiziksel özelliklerin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir [79]. Ayrıca, yüksek sıkıştırma oranında yoğunlaştırılan ağaç malzemelerde lümen boşluklarının kısmen kapanmış olmasının su emilimini azalttığı ifade edilmiştir [66].

5.1.4. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı

Örneklerin sıkıştırma yönündeki şişme oranı değerleri üzerinde ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde şişme oranı, kavak örneklere göre göknar örneklerde biraz daha yüksek belirlenmiştir. Ağaç malzemelerin yoğunluklarına bağlı olarak, göknar örneklerde hücre çeperi hacminin fazla olmasının sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, yoğunluğu düşük hafif odunun, yoğunluğu yüksek olan ağır oduna göre daha az çalıştığı ifade edilmiştir [10].

Deney örneklerinin sıkıştırma yönündeki şişme oranı üzerine su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek şişme oranı, Knt1 (emprenyesiz) deney örneklerinde belirlenmiş ve bunu sırası ile parafin ve bezir yağı ile muamele edilen örnekler izlemiştir. En düşük şişme oranı ise stiren ile muamele edilen deney örneklerinde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar su alma oranları ile paralellik göstermiştir. Su alma oranı daha düşük olan örneklerde şişme oranı da daha az gerçekleşmiştir. Su itici maddeler ile işlem gören tüm örneklerin sıkıştırma yönündeki şişme oranı azalmıştır. Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre, stiren ile işlem gören göknar ve kavak örneklerinde sıkıştırma yönündeki şişme oranı sırası ile %69 ve %74 oranında azalmıştır. Literatürde, su itici emprenye maddeleri ile muamele edilen ağaç malzemelerde su alma oranının düştüğü ve buna bağlı olarak boyutsal stabilitenin önemli düzeyde olumlu etkilendiği ifade edilmiştir [80]. Ayrıca, ağaç malzemede boyutsal stabiliteyi artırmak için kullanılan en önemli yöntemlerden birinin, hücre lümenlerinin stiren ve metilmetakrilat ile polimerizasyonu olduğu belirtilmiştir [81].

Göknar ve kavak örneklerinin sıkıştırma yönündeki şişme oranı üzerine yoğunlaştırma işleminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek şişme oranı, 120 °C pres sıcaklığında %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde tespit edilmiştir. En düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Kontrol örneklere göre, yoğunlaştırılmış deney örneklerinde şişme oranı değeri sıkıştırma oranı ve sıkıştırma sıcaklığına bağlı olarak artmıştır. Belirlenen şişme oranı değerleri, sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş, yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha fazla şişme gerçekleşmiştir. Önceki çalışmalarda, yüksek sıkıştırma oranında yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde, suya maruz bırakma testi sonrası daha fazla kalınlık şişmesinin meydana geldiği ve bununda ağaç malzemelerin sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerine geri dönme eğiliminde olmalarından kaynaklandığı belirtilmiştir [5], [66]. Ayrıca, yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde işlemsiz örneklere göre kalınlık şişmesinin daha fazla olduğu ve bu

durumun sıkıştırma işlemlerinden sonra deney örneklerinde meydana gelen spring-back (geri esneme) etkisi ile açıklanabileceği ifade edilmiştir [75]. Sıkıştırma sıcaklığı bakımından, en yüksek şişme oranları 120 °C pres sıcaklığında, en düşük ise 180 °C pres sıcaklığında yoğunlaştırılmış örneklerde belirlenmiştir. Sıkıştırma sıcaklığı artışına bağlı olarak tüm örneklerin şişme oranı değerleri azalmıştır. Sonuçlar üzerinde örneklerin su alma oranlarının etkili olduğu söylenebilir.

Su itici maddeler ile muamele edildikten sonra yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerin sıkıştırma yönündeki şişme oranı üzerine su itici madde çeşidi ve yoğunlaştırma koşullarının etkisi birlikte değerlendirildiğinde, stiren ile muamele edildikten sonra 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan her iki ağaç türünde de sıkıştırma yönündeki şişme oranı önemli derecede azalmıştır. Aynı sıcaklık ve sıkıştırma oranında yoğunlaştırılmış Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre, bu koşullarda işlem görmüş göknar ve kavak örneklerinin sıkıştırma yönündeki şişme oranı sırası ile %85 ve %91 azalmıştır. Yoğunlaştırılmış bu örneklerde boyutsal stabilite direnci neredeyse tamamen sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, çalışmanın en önemli çıktılarından biri olarak gösterilebilir.

5.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

5.2.1. Eğilme Direnci

Su itici maddeler ile muamele edildikten sonra farklı koşullarda yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerin eğilme direnci üzerine ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde eğilme direnci değeri, kavak örneklere göre göknar örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Sonuçlar üzerinde, ağaç malzemelerde belirlenen hava kurusu yoğunluk değerlerinin ve iki ağaç türü arasındaki yapısal farklılıkların etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, ağaç malzemede mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktörün yoğunluk olduğu ve yoğunluk artışı ile mekanik özelliklerin de arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, yoğunluktan başka, budaklar, lif yönündeki sapma, reçine keseleri, ekstraktif maddeler, rutubet miktarı gibi faktörlerin direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir [82].

Deney örneklerinin eğilme direnci üzerine su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü içinde en yüksek eğilme direnci değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde elde edilmiş ve bunu sırası ile parafin ile muamele edilen ve Knt1

(emprenyesiz) deney örnekleri izlemiştir. En düşük eğilme direnci değeri ise bezir yağı ile muamele edilen örneklerde belirlenmiştir. Bezir yağı haricindeki diğer su itici maddeler ile işlem gören örneklerin eğilme direnci değeri artmıştır. Sonuçlar üzerinde, emprenye işlemleri sonrası örneklerde meydana gelen yoğunluk artışları ile geri esneme oranlarındaki düşüşlerin etkili olduğu söylenebilir. Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre, stiren ile muamele edilen göknar ve kavak örneklerinde eğilme direnci sırası ile %17 ve %31 oranında artmıştır. Bezir yağı ile muamele edilen göknar ve kavak örneklerinde ise eğilme direnci sırası ile %7 ve %5 oranında azalmıştır.

Örneklerin eğilme direnci üzerine yoğunlaştırma işleminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek eğilme direnci değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırma işleminde tespit edilmiştir. En düşük eğilme direnci değeri ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra sıkıştırma oranı ve sıkıştırma sıcaklığına bağlı olarak eğilme direnci değerleri göknar örneklerinde %34 - %76 arasındaki oranlarda, kavak örneklerinde ise %41 - %87 arasındaki oranlarda artmıştır. Belirlenen eğilme direnci değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiş, yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha yüksek eğilme direnci değerleri elde edilmiştir. Bu durum yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerdeki yoğunluk artış oranlarının farklılık göstermesi ile açıklanabilir. Zira %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde daha fazla yoğunluk artışı elde edilmiştir. Önceki çalışmalarda, ağaç malzemenin termo-mekanik işlemi sonucunda, boşluk hacminin azalmasından dolayı yoğunluğunun arttığı ve bununda mekanik özelliklerde artış sağladığı; mekanik direnç özelliklerinin de ağaç malzeme yoğunluğu ile yakından ilişkili olduğu bildirilmiştir [5], [45], [46], [56]. Ayrıca, yoğunlaştırma işlemi sonrası meydana gelen yoğunluk artışları ile; ağaç malzemede liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci ve Brinell sertlik değerlerinin arttığı ifade edilmiştir [73]. Sıkıştırma sıcaklığı bakımından, bezir yağı ile muamele edilen deney örneklerinde eğilme direnci değerleri sıkıştırma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Diğer su itici maddeler ile işlem görmüş örneklerde (özellikle stiren ile muamele edilen) eğilme direnci değerleri, sıkıştırma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak artmıştır. Knt1 (emprenyesiz) örneklerde ise çok belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.

5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Göknar ve kavak örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerine ağaç türü faktörünün

etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değeri, kavak örneklere göre göknar örneklerinde daha yüksek tespit edilmiştir. Bu sonuçların, ağaç malzemelerde belirlenen hava kurusu yoğunluk değerlerinden ve iki ağaç türü arasındaki yapısal farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir. Literatürde, ağaç malzemede yoğunluk arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerinin de arttığı belirtilmiştir [10]. Elastikiyet modülü değerinin göknar odununda 11000 N/mm^2, kavak odununda ise 8200 N/mm^2 olduğu bildirilmiştir [11].

Deney örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerine su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek elastikiyet modülü değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde belirlenmiş ve bunu sırası ile parafin ile muamele edilen ve Knt1 (emprenyesiz) deney örnekleri izlemiştir. En düşük elastikiyet modülü değeri ise bezir yağı ile muamele edilen deney örneklerinde tespit edilmiştir. Bezir yağı dışındaki diğer su itici maddeler ile muamele edilmiş örneklerin elastikiyet modülü değeri artmıştır. Elde edilen sonuçların, emprenye işlemleri sonrası deney örneklerinde meydana gelen yoğunluk artışlarından ve geri esneme oranlarındaki düşüşlerden kaynaklandığı ifade edilebilir. Emprenyesiz (Knt1) örneklere göre, stiren ile muamele edilmiş göknar ve kavak örneklerde eğilmede elastikiyet modülü sırası ile %12 ve %27 oranında artmıştır. Bezir yağı ile muamele edilen göknar ve kavak örneklerinde ise eğilmede elastikiyet modülü sırası ile %4 ve %6 oranında azalmıştır.

Örneklerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine yoğunlaştırma işleminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde en yüksek elastikiyet modülü değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırma koşullarında elde edilmiştir. En düşük elastikiyet modülü değeri ise yoğunlaştırılmamış (Knt2) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra, eğilmede elastikiyet modülü değerleri sıkıştırma oranı ve sıkıştırma sıcaklığına bağlı olarak göknar örneklerinde %30 - %69 arasındaki oranlarda, kavak örneklerinde ise %44 - %93 arasındaki oranlarda artmıştır. Elastikiyet modülü değerleri sıkıştırma oranlarına paralel olarak artış göstermiş, %20'ye göre %40 sıkıştırma oranında daha yüksek elastikiyet modülü değerleri elde edilmiştir. Bu durumun, yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerdeki yoğunluk artış oranlarının farklılık göstermesinden kaynaklandığı söylenebilir. Bu durum, sıkıştırma seviyesine bağlı olarak örneklerdeki yoğunluk artış oranları 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 belirtilmiştir [10]. Farklı çalışmalarda, yoğunlaştırılmış ağaç malzemede eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün sıkıştırma oranındaki artışa paralel olarak arttığı ifade edilmiştir [5], [45], [56]. Sıkıştırma sıcaklığı bakımından, emprenyesiz (Knt1) deney örnekleri ve bezir yağı ile muamele edilen deney örneklerinde elastikiyet modülü değerleri sıkıştırma sıcaklığındaki artış sonucu azalmıştır. Parafin ve özellikle de stren ile muamele edilen deney örneklerinde sıkıştırma sıcaklığındaki artış sonucu elastikiyet modülü değerleri artmıştır.

5.2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci

Su itici maddeler ile muamele edildikten sonra farklı koşullarda yoğunlaştırılmış olan ağaç malzemelerin liflere paralel basınç direnci üzerine ağaç türü faktörünün etkisi önemli bulunmuştur. Ağaç türü düzeyinde basınç direnci değeri, kavak örneklerine göre göknar örneklerinde daha yüksek belirlenmiştir. Sonuçlar üzerinde, ağaç malzemelerden elde edilen hava kurusu yoğunluk değerleri ile ağaç türleri arasındaki yapısal farklılığın etkili olduğu söylenebilir.

Deney örneklerinin liflere paralel basınç direnci üzerinde su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. . Her iki ağaç türü içinde en yüksek basınç direnci değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde elde edilmiş bunu sırası ile parafin ve bezir yağı ile muamele edilen örnekler izlemiştir. En düşük basınç direnci değeri ise Knt1 (emprenyesiz) deney örneklerinde belirlenmiştir. Su itici maddeler ile işlem gören tüm örneklerin liflere paralel basınç direnci değeri artmıştır. Sonuçlar üzerinde, emprenye işlemleri sonrası örneklerin yoğunluk değerlerindeki artışların ve geri esneme oranlarındaki azalmaların etkili olduğu söylenebilir. Knt1 (emprenyesiz) örneklere göre, stiren ile muamele edilmiş göknar ve kavak örneklerinde liflere paralel basınç direnci sırası ile %41 ve %56 oranında artmıştır.

Örneklerin liflere paralel basınç direnci üzerinde yoğunlaştırma işleminin etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek basınç direnci değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan deney örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük basınç direnci değeri ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerin basınç direnci değerleri sıkıştırma oranı ve sıkıştırma sıcaklığına bağlı olarak %32 - %89 arasındaki oranlarda artmıştır. Belirlenen basınç direnci değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiştir. Buna bağlı olarak yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha yüksek basınç direnci değerleri elde edilmiştir. Bu durum

örneklerdeki yoğunluk artış oranları ile açıklanabilir. Literatürde, sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemenin direnç özelliklerinin işlem görmemiş ağaç malzemeden daha yüksek olduğu ve direnç özelliklerinin genellikle yoğunluk artışı ile orantılı bir şekilde arttığı belirtilmiştir [48]. 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 belirtilmiştir [46]. Sıkıştırma sıcaklığı bakımından, basınç direnci değerleri Knt1 (emprenyesiz) deney örneklerinde sıkıştırma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Sonuçlar bu bakımdan literatür ile uyumlu çıkmıştır [5]. Emprenye işlemleri yapılmış örneklerde (özellikle stren ile muamele edilen) ise basınç direnci değerleri, sıkıştırma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak artmıştır. Sonuçlar üzerinde, deney örneklerinde belirlenen geri esneme oranları ile hava kurusu yoğunluk değerlerinin etkili olduğu düşünülmektedir.

5.2.4. Janka Sertlik

Su itici maddeler ile muamele edildikten sonra farklı koşullarda yoğunlaştırılmış olan göknar ve kavak odunu örneklerinde janka sertlik değerleri bakımından benzer sonuçlar elde edilmiş ve iki ağaç türünün sertlik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu durumun, emprenye ve yoğunlaştırma işlemlerinden sonra iki ağaç türü arasında sertlik özelliği bakımından homojen bir yapının oluşmasından ve buna bağlı olarak da benzer davranış sergilemelerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Deney örneklerinin sertlik değeri üzerinde su itici maddelerin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türü içinde en yüksek sertlik değeri, stiren ile muamele edilen örneklerde belirlenmiş ve bunu sırası ile parafin ile muamele edilen ve Knt1 (emprenyesiz) deney örnekleri izlemiştir. En düşük sertlik değeri ise bezir yağı ile muamele edilen deney örneklerinde tespit edilmiştir. Parafin ve özelliklede stiren ile muamele edilmiş göknar ve kavak odunu örneklerinde sertlik değeri artmıştır. Sonuçlar üzerinde, emprenye işlemleri sonrası deney örneklerindeki yoğunluk artışlarının ve örneklerin denge rutubeti miktarındaki düşüş oranlarının etkili olduğu söylenebilir. Zira, ortalama denge rutubeti miktarı Knt1 (emprenyesiz) örneklerde %10, parafin ile muamele edilen örneklerde %7,9, bezir yağı ile muamele edilen örneklerde %8,8 ve stiren ile muamele edilen örneklerde %6 olarak tespit edilmiştir. 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 [10], [11].

Örneklerin sertlik değeri üzerinde yoğunlaştırma işleminin etkisi önemli bulunmuştur. Her iki ağaç türünde de en yüksek sertlik değeri, 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırma işleminde tespit edilmiştir. En düşük sertlik değeri ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) deney örneklerinde belirlenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerin sertlik değeri sıkıştırma oranı ve sıkıştırma sıcaklığına bağlı olarak artmıştır. Elde edilen sertlik değerleri sıkıştırma oranları ile paralellik göstermiştir. Buna bağlı olarak yüksek sıkıştırma oranında (%40) daha yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra 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 [12], [75], [83], [84]. Sıkıştırma sıcaklığı bakımından, emprenyesiz (Knt1) deney örnekleri ile parafin ve bezir yağı ile muamele edilen deney örneklerinde sertlik değerleri sıkıştırma sıcaklığındaki artış sonucu genellikle azalmıştır. Stren ile muamele edilen deney örneklerinde ise sıkıştırma sıcaklığındaki artış sonucu sertlik değerleri artış göstermiştir.

Su itici maddeler ile muamele edildikten sonra farklı koşullarda yoğunlaştırılmış olan göknar ve kavak örneklerin sertlik değerleri üzerine su itici madde çeşidi ve yoğunlaştırma koşullarının etkisi birlikte değerlendirildiğinde, her iki ağaç türü için de en yüksek sertlik değerleri stiren ile muamele edildikten sonra 180 °C pres sıcaklığında %40 sıkıştırılan örneklerde belirlenmiştir (göknar=85,11 N/mm^2, kavak=99,56 N/mm^2). İşlemsiz (kontrol) örneklere göre, bu koşullarda işlem görmüş göknar ve kavak örneklerin sertlik değerinde sırası ile %448 ve %636 oranında çok önemli artışlar sağlanmıştır.

Emprenye ve yoğunlaştırma işlemleri çalışmada kullanılan ağaç malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemiştir. Mekaniksel olarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde yaşanan en önemli problem, yoğunlaştırılmış ahşap malzemelerin suya maruz kalması halinde sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerine geri dönmesidir. Çalışma esasen bu ana problemin çözümüne yönelik tasarlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, su itici özellikteki maddeler ile (özellikle stiren) ön muamele edilen yoğunlaştırılmış göknar ve kavak örneklerde su alımı önemli ölçüde azalmış ve sıkıştırma deformasyonunun kalıcılığı (boyutsal stabilite) neredeyse tamamen sağlanmıştır. Buna göre, mekaniksel olarak yoğunlaştırılmış göknar ve kavak örneklerin suya maruz

kalabilecek yerlerde kullanılması düşünülüyor ise, su itici özellikteki maddeler (özellikle stiren) ile ön emprenye işlemi yapılması önerilebilir.

Emprenye ve yoğunlaştırma modifikasyonu yapılmış örneklerde su itici madde çeşidi ve sıkıştırma oranlarına bağlı olarak yoğunluk, mekanik direnç ve sertlik özellikleri önemli oranlarda artmıştır. Buna göre, nispeten düşük yoğunluklu ve kullanım alanı çok fazla yaygın olmayan ağaç malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde emprenye ve yoğunlaştırma modifikasyonlarının birlikte uygulanması önerilebilir.

Sonuç olarak, özellikle stiren ile ön muamele işlemi yapılan yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde su alımının azalması ve boyutsal stabilitenin büyük ölçüde sağlanmış olması nedeniyle bu malzemelerin park ve bahçe mobilyaları, cephe kaplamaları gibi dış mekan uygulamaları ile ahşap yat ve tekne imalatında kullanılması önerilebilir. Ayrıca mekanik direnç ve sertlik özelliklerindeki artış nedeniyle bu malzemeler taşıyıcı uygulamalarda, parke uygulamalarında ve iç mekan mobilyalarında kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

[1] A. Kurtoğlu, "*Ağaç malzeme yüzey işlemleri*," 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 2000, ss. 100.

[2] A. Koski and R. Ahonen, "Applicability of crude tall oil for wood protection," Ph. D. dissertation, Faculty of Technology, University of Oulu, Oulu, Finland, 2008.

[3] E. D. Tomak, "Masif odundan bor bileşiklerinin yıkanmasını önlemede yağlı ısıl işlemin ve emülsiyon teknikleri ile emprenye işleminin etkisi," Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2011.

[4] R. S. Williams and W. C. Feist, "Selection and application of exterior stains for wood," United States Department of Agriculture, Madison, USA, General Technology Report No: GTR-106, 1999.

[5] H. Pelit, "Yoğunlaştırma ve ısıl işlemin doğu kayını ve sarıçamın bazı teknolojik özellikleriyle üstyüzey işlemlerine etkisi," Doktora tezi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.

[6] A. Kutnar and M. Šernek, "Densification of wood," *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, vol. 82, pp. 53–62, 2007.

[7] H. Pelit, A. Sönmez and M. Budakçı, "Effects of ThermoWood process combined with thermo-mechanical densification on some physical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)," *BioResources*, vol. 9, no. 3, pp. 4552–4567, 2014.

[8] R. M. Seborg, M. A. Millett and A. J. Stamm, "Heat-stabilized compressed wood (Staypak)," United States Department of Agriculture, Madison, USA, Forest Products Laboratory Report No: 1580, 1956.

[9] H. Pelit and M. Yalçın, "Resistance of mechanically densified and thermally post-treated pine sapwood to wood decay fungi," *Journal of Wood Science*, vol. 63, no. 5, pp. 514–522, 2017.

[10] Y. Örs ve H. Keskin, *Ağaç malzeme teknolojisi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2008, ss. 125-140.

[11] A. Y. Bozkurt ve N. Erdin, *Ağaç teknolojisi*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 2011, ss. 300-335.

[12] H. Pelit, A. Sönmez and M. Budakçı, "Effects of thermomechanical densification and heat treatment on density and Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Eastern beech (*Fagus orientalis* L.)," *BioResources*, vol. 10, no. 2, pp. 3097–3111, 2015.

[13] H. Pelit ve A. Sönmez, "Termo-Mekanik yoğunlaştırma ve ısıl işlemin doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.) odununun bazı fiziksel özelliklerine etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 2-8, 2015.

[14] L. Rautkari, M. Properzi, F. Pichelin and M. Hughes, "Properties and set-recovery of surface densified Norway spruce and European beech," *Wood Science*

Technology, vol. 44, no. 4, pp. 679–691, 2010.

[15] F. A. Kamke, "Densified radiata pine for structural composites," *Maderas Ciencia Tecnology*, vol. 8, no. 2, pp. 83–92, 2006.

[16] P. Navi, P. Huguenin and F. Girardet, "Development of synthetic-free plasticized wood by thermohygromechanical treatment," *Building Products From Recycled Wood Waste*, Madison, USA, 1997, pp. 168–171.

[17] P. Navi and F. Girardet, "Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood," *Holzforschung*, vol. 54, no. 3, pp. 287–293, 2000.

[18] E. V. Kultikova, "Structure and properties relationships of densified wood," M.S. thesis, Virginia Tech, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA, 1999.

[19] F. A. Kamke and S. Harrison, "Viscoelastic thermal compression of wood," USA, US Patent Application No: US 7.404.422 B2, July, 29, 2008.

[20] M. Gecer, E. Baysal, H.Toker, T. Turkoglu, E. Vargun and M. Yuksel, "The effect of boron compounds impregnation on physical and mechanical properties of wood polymer composites," *Wood Research*, vol. 60, no. 5, pp. 723–738, 2015.

[21] A. Y. Bozkurt, Y. Göker ve N. Erdin, *Emprenye tekniği*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 1993, ss. 20-80.

[22] A. Y. Bozkurt ve N. Erdin, *Ağaç teknolojisi*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 1997, ss. 1-40.

[23] Mercan Kimya. (2018, 12 Mayıs). [Online]. Erişim: http://www.mercankimya.com.tr/parafin

[24] A. Sönmez ve M. Budakçı, *Ağaçişlerinde üst yüzey işlemleri-II-koruyucu katman ve boya/vernik sistemleri*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Üniversitesi Yayınevi, 2004, ss. 48-55.

[25] R. Berber ve T. Erol, "Kesikli polimerizasyon reaktörlerinde ürün kalitesinin kontrolü için optimum sıcaklık izinin öngörülmesi," Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Türkiye, Misag-100, 2000.

[26] N. Erdin ve A. Y. Bozkurt, *Odun Anatomisi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 2013, ss. 10-97.

[27] Y. Şimşek, "İstikbali ormancılık ve ekonomik yönünden mühim olan ağaç türü: titrek kavak (*Populus tremula* L.)," *Türkiye Milli Kavak Komitesi Üçüncü Toplantısı*, Ankara, Türkiye, 1968, ss. 25.

[28] C. Atik, "Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) ve Kâğıt Sanayi," Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1995.

[29] M. Sarıbaş, "Türkiye'nin euro-siberien (euxine) bölgesinde doğal olarak yetişen kavakların morfolojik (dış morfolojik, iç morfolojik ve palinolojik) özellikleri üzerine araştırmalar," *Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Teknik Bülteni*, s. 2, c. 148, ss. 152, 1989.

[30] Y. Bozkurt, "Önemli bazı ağaç türleri odunlarının tanımı, teknolojik özellikleri ve kullanış alanları," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 2, s. 177, ss. 89, 1971.

[31] A. Berkel, "Orman ağaç ve ağaççıkları odunlarını teşhis kılavuzu," *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, s.451, ss. 374, 1950.

[32] M. N. Öner, "Kütahya-Gediz-Yağmurlar yöresinde doğal olarak yetişen titrek kavak (*Populus tremula* L.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine araştırmalar," Yüksek lisans tezi, Ağaç Malzeme Eğitimi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 1996.

[33] Y. Örs, M. Atar ve H. Peker, "Sarıçam Odununun Yanma Özelliklerine Bazı Borlu Bileşikler ve Su İtici Maddelerin Etkileri," *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, c. 23, ss. 501–509, 1999.

[34] U. C. Yildiz, S. Yildiz and E. D. Gezer, "Mechanical properties and decay resistance of wood–polymer composites prepared from fast growing species in Turkey," *Bioresource Technology*, vol. 96, no. 9, pp. 1003–1011, 2005.

[35] A. Temiz, "Çeşitli emprenye maddelerinin kızılağaç odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkileri," Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2000.

[36] A. Atılgan, H. Peker, H. Tan ve D. Bakır, "Çevre dostu borlu bileşiklerin mobilya endüstrisinde kullanım olanakları," *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 138, 2011.

[37] E. Baysal, "Borlu bileşikler ve su itici maddelerin cennet ağacı odununun fiziksel özellikleri üzerine etkileri," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 20, s. 1–2, ss. 65, 2016.

[38] E. Baysal, H. Peker ve M. Çolak, "Çeşitli emprenye maddeleri ile muamele edilen sarıçam (*Pinus sylvestris* l.) odununda retensiyon ve higroskopisite miktarları," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 20, s. 1, ss. 166–179, 2016.

[39] E. Baysal, H. Peker, M. Çolak ve O. Göktaş, "Çeşitli emprenye maddeleri ile muamele edilen kayın odununun yoğunluğu, eğilme direnci ve elastikiyet modülü," *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 15, s. 3, ss. 17, 2003.

[40] A. A. Var, "Ahşap malzemede su alımının parafin vaks/bezir yağı karışımıyla azaltılması," *Turkish Journal of Forestry*, c. 2, s. 0, ss. 97–110, 2001.

[41] S. Bardak, H. Yel, D. Bakır ve H. Peker, "Emprenye maddelerinin okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* dehn.) odununun fiziksel özelliklerine etkileri," *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 19, ss. 26–34, 2011.

[42] H. Pelit, M. Korkmaz ve M. Budakçı, "Farklı ahşap malzemelerin bazı fiziksel özelliklerine su itici maddelerin etkileri," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 1027–1036, 2017.

[43] B. Neyses, O. Hagman, A. Nilsson, D. Sandberg and B. Sundqvist, "Continuous wood surface densification: chemical treatments to reduce the set-recovery," *The 13th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium – Bio-based composites for a sustainable future*, Concepción, Chile, 2016, pp. 66–77.

[44] H. Li, X. Jiang, H. S. Ramaswamy, S. Zhu and Y. Yu, "High-Pressure treatment effects on density profile, surface roughness, hardness and abrasion resistance of paulownia wood boards," *Asabe*, vol. 61, no. 3, pp. 16, 2018.

[45] T. Tabarsa and Y. H. Chui, "Effects of hot-pressing on properties of white spruce,"

Forest Products Journal, vol. 47, no. 5, pp. 71, 1997.

[46] O. Ulker, O. Imirzi and E. Burdurlu, "The effect of densification temperature on some physical and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)," *Bioresource Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 5581–5592, 2012.

[47] T. Li, J. Cai, S. Avramidis, D. Cheng, M. E. P. Wålinder and D. Zhou, "Effect of conditioning history on the characterization of hardness of thermo-mechanical densified and heat treated poplar wood," *Holzforschung*, vol. 71, no. 6, pp. 515–520, 2017.

[48] N. Morsing, "Densification of Wood: The influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to gain," Ph. D. dissertation, Department of structural engineering and materıals, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 1998.

[49] C. M. T. Santos, C. H. Del Menezzi and M. R. De Souza, "Properties of thermo-mechanically treated wood from Pinus caribaea var hondurensis," *BioResources*, vol. 7, no. 2, pp. 1850–1865, 2012.

[50] C. R. Welzbacher, J. Wehsener, A. O. Rapp and P. Haller, "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*, vol. 66, no. 1, pp. 39, 2008.

[51] H. Yu, C. Y. Hse and Z. Jiang, "Effect of pf impregnation and surface densification on the mechanical properties of small-scale wood laminated poles," *Advanced biomass science and technology for bio-based products*, Beijing, China, 2009, pp. 357–363.

[52] P. Bekhta, S. Proszyk, T. Krystofiak, J. Sedliacik, I. Novak and M. Mamonova, "Effects of short-term thermomechanical densification on the structure and properties of wood veneers," *Wood Materials Science Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 40–54, 2017.

[53] L. Rautkari, K. Laine, A. Kutnar, S. Medved and M. Hughes, "Hardness and density profile of surface densified and thermally modified Scots pine in relation to degree of densification," *Journal Materials Science*, vol. 48, no. 6, pp. 2370–2375, 2013.

[54] R. Adlam, "Thermomechanical densification of timber: initial investigations of the potential of softwood timber," Forest and Wood Products Research and Development Corporation, St Lucia Queensland, Australian, Report No: PN03.3802, 2005.

[55] H. Pelit, M. Budakçı and A. Sönmez, "Density and some mechanical properties of densified and heat post-treated Uludağ fir, linden and black poplar woods," *European Journal Wood Wood Products*, vol. 76, no. 1, pp. 79–87, 2018.

[56] S. Şenol, "Termo-vibro-mekanik (vtm) işlem görmüş bazı ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi", Doktora tezi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.

[57] *Wood-sampling methods and general requirements for physical and mechanical tests*, TS 2470, 1976.

[58] *Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini,* TS 2471, 1976.

[59] *Standard Test Method for Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures,* Astm D. 1413-76, 1976.

[60] *Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için hacim ağırlığı tayini,* TS 2472, 1976.

[61] *Physical and mechanical properties of wood - Determination of radial and tangential swelling,* ISO 13061-15, 2017.

[62] *Wood-Determination of ultimate strength in static bending,* TS EN 2474, 1976.

[63] *Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini,* TS 2478, 1976.

[64] *Test methods for small clear wood specimens-determination of ultimate stress in compression parallel to grain,* ISO/DIS 13061-17, 2015.

[65] K. Laine, L. Rautkari, M. Hughes and A. Kutnar, "Reducing the set-recovery of surface densified solid Scots pine wood by hydrothermal post-treatment," *European Journal Wood Wood Products,* vol. 71, no. 1, pp. 17–23, 2013.

[66] H. Pelit, M. Budakçı and A. Sönmez, "Effects of heat post-treatment on dimensional stability and water absorption behaviours of mechanically densified Uludağ fir and black poplar woods," *BioResources,* vol. 11, no. 2, pp. 3215–3229, 2016.

[67] M. L. Garcia-Romeu, J. Ciurana and I. Ferrer, "Springback determination of sheet metals in an air bending process based on an experimental work," *Journal of Materials Processing Technology,* vol. 191, no. 1–3, pp. 174–177, 2007.

[68] S. Yıldız, "Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri," Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2002.

[69] M. Boonstra, "A two-stage thermal modification of wood," Ph. D. dissertation, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Nancy, France, 2008.

[70] B. Esteves, A. V. Marques, I. Domingos and H. Pereira, "Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood," *Wood Science Technology,* vol. 41, no. 3, pp. 193, 2007.

[71] D. Aydemir, "Göknar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik veteknolojik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisi," Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2007.

[72] S. Korkut ve D. Kocaefe, "Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi," *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi,* c. 5, s. 2, ss. 11–34, 2009.

[73] J. Blomberg, B. Persson and A. Blomberg, "Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density," *Wood Science Technology,* vol. 39, no. 5, pp. 339–350, 2005.

[74] L. M. Arruda and C. H. S. Del Menezzi, "Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers," *International Wood Products Journal,* vol. 4, no. 4, pp. 217–224, 2013.

[75] O. Unsal, Z. Candan, U. Buyuksari, S. Korkut, Y. S. Chang and H. M. Yeo, "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,* vol. 39, no. 2, pp. 148–155, 2011.

[76] L. Rautkari, “Surface modification of solid wood using different techniques,” Ph. D. dissertation, Department of forest products technology, Aalto University, Helsinki, Finland, 2012.

[77] E. D. Tomak ve Ü. C. Yıldız, “Bitkisel yağların ahşap koruyucu bir madde olarak kullanılabilirliği,” *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 142–157, 2012.

[78] E. Baysal, H. Peker, M. Çolak ve İ. Tarımer, “Verniklenmiş ağaç malzemenin yanma özellikleri ve borlu bileşiklerle ön emprenye işleminin yanmayı geciktirici etkisi,” *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 15, s. 4, ss. 654, 2003.

[79] R. M. Rowell and P. Konkol, “Treatments that enhance physical properties of wood,” Forest Products Laboratory, United States, Flp-gtr-55, 1987.

[80] H. Hafızoğlu, M. K. Yalınkılıç, Ü. C. Yıldız, E. Baysal, H. Peker ve Z. Demirci, “Türkiye bor kaynaklarının odun koruma (emprenye) endüstrisinde değerlendirilme imkânları,” Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Türkiye, Toag:875 , 1994.

[81] J. A. Meyer, “Wood-polymer materials,” *Wood Science*, vol. 14, no. 49, ss. 257–289, 1984.

[82] Y. Bozkurt ve N. Erdin, “Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler,” *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 45, s. 2, ss. 11–34, 1995.

[83] L. Rautkari, M. Properzi, F. Pichelin and M. Hughes, “Surface modification of wood using friction,” *Wood Science and technology*, vol. 43, no. 34, pp. 291, 2009.

[84] M. Budakçı, H. Pelit, A. Sönmez and M. Korkmaz, “The effects of densification and heat post-treatment on hardness and morphological properties of wood materials,” *BioResources*, vol. 11, no. 3, pp. 7822–7838, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fatih EMİROĞLU

Doğum Tarihi ve Yeri : 02.04.1986 / ELAZIĞ

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : femiroglu23@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Ağaç İşleri Endüstri Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Mobilya Dekorasyon Öğrt.	Dumlupınar Üniversitesi	2010
Lise	Matematik-Fen	Balakgazi Lisesi	2002