

**THERMOWOOD YÖNTEMİYLE ISIL İŞLEM
UYGULANMIŞ GÖKNAR VE KAYIN
ODUNLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİ**

**2010
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ**

Yusuf SEFİL

**THERMOWOOD YÖNTEMİYLE ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ GÖKNAR
VE KAYIN ODUNLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

Yusuf SEFİL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

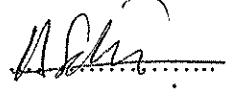
KARABÜK

Ocak 2010

Yusuf SEFİL tarafından hazırlanan “THERMOWOOD YÖNTEMİYLE ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ GÖKNAR VE KAYIN ODUNLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

Tez Danışmanı, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/ 01/ 2010

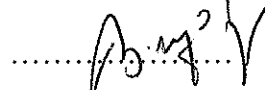
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Burhanettin UYSAL (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ (KASÜ)

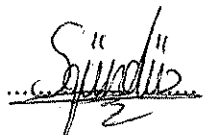


...../...../2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."


Yusuf SEFİL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

THERMOWOOD YÖNTEMİYLE ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ GÖKNAR VE KAYIN ODUNLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Yusuf SEFİL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

Ocak 2010, 93 sayfa

Bu çalışmada, ThermoWood yöntemiyle ısıtma işlemi uygulanan Doğu kayını ve Uludağ göknarı odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu iki ağaç türü beş farklı sıcaklıkta (170, 180, 190, 200 ve 212 °C) ve iki saat süreyle ThermoWood yöntemiyle ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Bir kontrol grubu oluşturulmuş ve tüm sıcaklıklarda ısıtma işlemi görmüş örnekler bu kontrol grubuyla kıyaslanmıştır.

Isıtma işlemine tabi tutulan test örneklerinde fiziksel özelliklerden; hava kurusu yoğunluk, denge rutubet miktarı, teğet genişleme, radyal, teğet ve hacimsel boyutsal değişim, ısı iletkenliği, aşınma direnci ve toplam renk değişimi değerleri, mekanik özelliklerden; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci değerleri belirlenmiştir ve kontrole göre değişim oranları hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; sıcaklığa bağlı olarak ağırlık kaybı artmıştır. Isıtma işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisinin genel olarak olumlu yönde olduğu

gözenmiştir. Isıl işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte denge rutubet miktarı azalmış, boyutsal stabilizasyon önemli oranda artmış, odunların ısı yalıtkanlık değerleri artmış, toplam renk homojen bir şekilde koyulaşmıştır. Mekanik özelliklerden eğilme direncinde ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak düşüş gözlenmiş, elastikiyet modülünde çok az bir artış gözlenmiş ve liflere paralel basınç direnci artış göstermiştir. Aşınma direncinde ise ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak önemli oranlarda düşüş gözlenmiştir. Ayrıca ısı işlem sıcaklığının odun türleri üzerine etkisi incelendiğinde kayın odunu özelliklerinin göknar odunu özelliklerine göre daha yüksek oranlarda değişim gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Isıl İşlem, Doğu Kayını, Uludağ Göknarı, ThermoWood, Fiziksel Özellikler, Mekanik Özellikler

Bilim Kodu : 626.27.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIR AND BEECH WOODS HEAT-TREATED USING THE THERMOWOOD PROCESS

Yusuf SEFİL

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Furniture and Decoration Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

January, 2010, 93 pages

In this study, the physical and mechanical properties of fir and beech wood species heat-treated using Thermowood process were investigated. The wood species were heat-treated at temperatures 170 °C, 180 °C, 190 °C and 212 °C for 2 h with ThermoWood method. The physical and mechanical properties of the heat-treated samples were measured and compared with those of unheated samples.

As physical properties; mass loss, oven-dry and air-dry density, equilibrium moisture content (EMC), dimensional stability (ASE) in radial and tangential directions, thermal conductivity (TC) and total colour changes, as mechanical properties; compression strength parallel to the grain (CS), static bending (MOR), modulus of elasticity in bending (MOE) and abrasion resistance (AR) were determined.

The results show that increasing temperatures resulted more weight loss on the heat-treated samples than control samples. The effects of heat treatment on physical properties of samples in regard to equilibrium moisture content, dimensional stability and colour changes were found satisfactory. Considering all heat-treating temperatures, generally by increasing heat-treatment temperature, the thermal conductivity of wood decreased. The heat treatment method clearly decreased the static bending and abrasion resistance. However, a small increase was observed for compression strength and modulus of elasticity values of heat treated wood species. In addition, the changes in the mechanical and physical properties studied in beech were larger than that of fir.

Key Words : Heat treatment, Beech, Fir, ThermoWood, Physical properties,
Mechanical properties

Science Code : 626.27.01

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bilimsel düşünceleri ile beni aydınlatan tavsiyelerini aldığım hocalarım Prof. Dr. Burhanettin UYSAL ve Yrd. Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ'a teşekkür ederim. Ayrıca, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyeleri, çok kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN, Öğr. Gör. Günay ÖZBAY ve Öğr. Gör. Nuri YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmada kullanılan tomrukları temin etmeme yardımcı olan Bolu Orman İşletme Müdürlüğü orman mühendisi Oktay AYATAY'a, ısıl işlem çalışmalarını yaptığım Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş'nin Gerede de bulunan Thermowood Kereste Üretim Fabrikası müdürü ve teknik personeline teşekkür ederim.

Sevgili eşime manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda olduğu için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GENEL BİLGİLER	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
1.3. ISIL İŞLEM YÖNTEMİ	2
1.3.1. Yüksek Isıda Kurutma Safhası	2
1.3.2. ThermoWood Safhası	3
1.3.3. Soğutma ve Denkleştirme Safhası.....	3
1.4. THERMOWOOD’UN SINIFLANDIRILMASI	3
1.5. ISIL İŞLEMİN ODUN ÜZERİNE ETKİLERİ	5
1.5.1. Fiziksel Etkileri	5
1.5.1.1. Ağırlık Kaybı ve Yoğunluk.....	5
1.5.1.2. Renk	6
1.5.1.3. Isı iletkenliği.....	6
1.5.1.4. Denge Rutubet Miktarı ve Boyutsal Değişim	6
1.5.1.5. Sıvı Haldeki Suyu Alma	7
1.5.2. Kimyasal Etkileri.....	7
1.5.2.1. Karbonhidratlar	7
1.5.2.2. Lignin.....	9

	<u>Sayfa</u>
1.5.2.3. Mekanik Etkileri.....	10
1.5.2.4. Elastomekanik Özellikler.....	10
1.5.2.5. Brinell Sertlik.....	10
1.5.2.6. Şok Direnci.....	11
1.6. LİTERATÜR ÖZETİ.....	11
BÖLÜM 2.....	15
MATERYAL VE METOD.....	15
2.1. MATERYAL.....	15
2.1.1. Ağaç Malzeme.....	15
2.1.1.1. Doğu Kayını.....	15
2.1.1.2. Uludağ Göknarı.....	16
2.2. METOD.....	16
2.2.1. Örnek Ağaçların Seçimi ve Örneklerin Hazırlanması.....	16
2.2.2. Isıl İşlem Uygulanması.....	18
2.2.3. Deneysel Çalışmalar.....	19
2.2.3.1. Ağırlık Kaybı.....	19
2.2.3.2. Denge Rutubet Miktarı.....	20
2.2.3.3. Hava Kurusu Yoğunluk.....	20
2.2.3.4. Boyutsal Değişim.....	21
2.2.3.5. Renk Değişimi.....	23
2.2.3.6. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi Deneyi.....	24
2.2.3.7. Aşınma Direnci.....	25
2.2.3.8. Liflere Paralel Basınç Direnci.....	26
2.2.3.9. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü.....	27
2.2.3.10. Yüzde değişimlerin hesaplanması.....	29
2.2.3.11. Verilerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi.....	29
BÖLÜM 3.....	29
BULGULAR.....	29
3.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	29
3.1.1. Ağırlık Kaybı ve Denge Rutubet Miktarı.....	29

	<u>Sayfa</u>
3.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk	34
3.1.3. Boyutsal Değişim	37
3.1.3.1. Genişleme Oranları	37
3.1.3.2. Daralma Oranları	42
3.1.4. Renk Değişimi	48
3.1.5. Isı İletkenliği	51
3.2. MEKANİK ÖZELLİKLER	56
3.2.1. Liflere Paralel Basınç Direnci	56
3.2.2. Eğilme Direnci	59
3.2.3. Elastikiyet Modülü	62
3.2.4. Aşınma Direnci	65
BÖLÜM 4	69
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	69
4.1. AĞIRLIK KAYBI VE DENGE RUTUBET MİKTARI	69
4.2. YOĞUNLUK	71
4.3. BOYUTSAL DEĞİŞİM	72
4.4. RENK DEĞİŞİMİ	74
4.5. ISI İLETKENLİĞİ	76
4.6. LİFLERE PARALEL BASINÇ DİRENCİ	77
4.7. EĞİLME DİRENCİ	79
4.8. ELASTİKİYET MODÜLÜ	81
4.9. AŞINMA DİRENCİ	82
BÖLÜM 5	84
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Hemiselülozun olası degridasyon oluşumu	8
Şekil 1.2. Selülozun olası degridasyon oluşumu	9
Şekil 2.1. Kontrol ve test örneklerinin elde edildiği taslakların tomruktan alınışı ...	18
Şekil 2.2. Boyutsal değişimi hesaplamak için kullanılan örnek boyutları	21
Şekil 2.3. Üç boyutlu CIE L*a*b* renk bölgeleridir	23
Şekil 2.4. QTM-500 cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı deneyi	24
Şekil 2.5. Taber aşındırma cihazı	25
Şekil 2.6. Üniversal test makinesinde liflere paralel basınç direnci	26
Şekil 2.7. Üniversal test cihazında eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi	28
Şekil 3.1. Ağırlık kaybının ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	30
Şekil 3.2. DRM'nin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	31
Şekil 3.3. Hava kurusu yoğunluk değerlerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	35
Şekil 3.4. Gök nar odununda genişleme yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	40
Şekil 3.5. Kayın odunu genişleme yüzdesinin ısı işlem sıcaklığına göre değişimi .	42
Şekil 3.6. Gök nar odununda daralma yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	46
Şekil 3.7. Kayın odununda daralma yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	48
Şekil 3.8. Isı işlem sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen renk değişimi.....	49
Şekil 3.9. Gök nar odununda ısı iletkenliğinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	54
Şekil 3.10. Kayın odununda ısı iletkenliğinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	55
Şekil 3.11. Liflere paralel basınç direncinin ısı işlem sıcaklığına göre değişimi	57
Şekil 3.12. Gök nar ve kayın odununda eğilme direncinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	60
Şekil 3.13. Elastikiyet modülünün ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	63
Şekil 3.14. Aşınma miktarlarının ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	66
Şekil 4.1. Isı işlem sonucu DRM'nin kontrole göre azalma oranları	70

Sayfa

Şekil 4.2. Isıl işlem sonucu yoğunluğun kontrole göre azalma oranları	72
Şekil 4.3. Hacimsel genişleme yüzdelere ait azalma oranları	73
Şekil 4.4. Hacimsel daralma miktarlarına ait azalma oranları	73
Şekil 4.5. Isıl işlem sonucu toplam rengin kontrole göre koyulaşma oranları	75
Şekil 4.6. Isı iletkenliğine ait azalma oranları	76
Şekil 4.7. Isıl işlem sonucu basınç direncinin kontrole göre artış oranları	78
Şekil 4.8. Isıl işlem sonucu eğilme direncinin kontrole göre azalma oranları	80
Şekil 4.9. Isıl işlem sonucu elastikiyet modülünün kontrole göre artış oranları.	81
Şekil 4.10. Isıl işlem sonucu aşınma miktarının kontrole göre artış oranları.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Thermo-S kullanım alanları	4
Çizelge 1.2. Thermo-D kullanım alanları.....	5
Çizelge 2.1. Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri	17
Çizelge 3.1. Denge rutubet miktarı ve ağırlık kaybı değerleri	29
Çizelge 3.2. Ağırlık kaybı ve denge rutubet miktarı üzerine, odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	31
Çizelge 3.3. Isıl işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları	32
Çizelge 3.4. Isıl işlemin DRM üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları	32
Çizelge 3.5. Isıl işlemin ağırlık kaybı ve DRM üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	33
Çizelge 3.6. Hava kurusu yoğunluk değerleri	34
Çizelge 3.7. Hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	35
Çizelge 3.8. Hava kurusu yoğunluğa ısı işlemi etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	36
Çizelge 3.9. Isıl işlemin hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	36
Çizelge 3.10. Kontrol ve ısı işleme tabi tutulmuş örneklerin genişleme yüzdeleri ..	37
Çizelge 3.11. Genişleme yüzdeleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	38
Çizelge 3.12. Gök nar odununda ısı işlemin genişleme yüzdelerine üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları	39
Çizelge 3.13. Isıl işlemin gök nar odunu genişleme yüzdelerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	39
Çizelge 3.14. Kayın odununda ısı işlemin genişleme yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları	41
Çizelge 3.15. Kayın odununda ısı işlemin genişleme yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	41
Çizelge 3.16. Kontrol ve ısı işleme tabi tutulmuş örneklerin daralma yüzdeleri	43
Çizelge 3.17. Daralma yüzdeleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	44
Çizelge 3.18. Gök nar odununda ısı işlemin daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	45

Çizelge 3.19. Göknar odununda ısıtıl işlemin daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	45
Çizelge 3.20. Kayın odununda ısıtıl işlemin daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	46
Çizelge 3.21. Kayın odununda ısıtıl işlemin daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	47
Çizelge 3.22. Isıtıl işleme tabi tutulmuş örneklerin toplam renk değışimi	48
Çizelge 3.23. Renk değışimi üzerine odun türü ve ısıtıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	49
Çizelge 3.24. Isıtıl işlemin renk değışimi üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	50
Çizelge 3.25. Isıtıl işlemin renk değışimine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	50
Çizelge 3.26. Isıtıl iletkenliği değeri	51
Çizelge 3.27. Isıtıl iletkenliği üzerine odun türü ve ısıtıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	52
Çizelge 3.28. Göknar odununda ısıtıl işlemin teğet ve radyal yöndeki ısıtıl iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	53
Çizelge 3.29. Göknar odununda ısıtıl işlemin ısıtıl iletkenliği üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	53
Çizelge 3.30. Kayın odununda ısıtıl işlemin teğet ve radyal yöndeki ısıtıl iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	54
Çizelge 3.31. Kayın odununda ısıtıl işlemin ısıtıl iletkenliği üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	55
Çizelge 3.32. Liflere paralel basınç direnci değeri	56
Çizelge 3.33. Basınç dirençleri üzerine odun türü ve ısıtıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	57
Çizelge 3.34. Isıtıl işlemin basınç dirençleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları ..	58
Çizelge 3.35. Isıtıl işlemin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	58
Çizelge 3.36. Eğilme direnci değeri	59
Çizelge 3.37. Eğilme direnci üzerine odun türü ve ısıtıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	60
Çizelge 3.38. Isıtıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	61
Çizelge 3.39. Isıtıl işlemin eğilme direncine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	61
Çizelge 3.40. Elastikiyet modülü değeri	62
Çizelge 3.41. Elastikiyet modülü üzerine odun türü ve ısıtıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	63

Sayfa

Çizelge 3.42. Isıl işlemin elastikiyet modülüne etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	64
Çizelge 3.43. Isıl işlemin elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	64
Çizelge 3.44. Kontrol ve ısıl işleme tabi tutulmuş örneklerin aşınma değerleri	65
Çizelge 3.45. Aşınma miktarı üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	66
Çizelge 3.46. Isıl işlemin aşınma miktarları üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.	67
Çizelge 3.47. Isıl işlemin aşınma miktarları üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H ₂	: Hidrojen
C	: Karbon
l	: Levulinik Asit
F	: Kuvvet
A	: alan
L	: Levoglukosan
β	: Beta

KISALTMALAR

VTT	: Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DRM	: Denge Rutubet Miktarı
mt	: Teğet yön
mr	: Radyal yön
L*	: Işık açısı
a*	: kırmızı koordinat
b*	: sarı koordinat
ΔE*ab	: Isıl işlem sonrasında örneklerde meydana gelen toplam renk değişimini,
ΔL	: Siyah-beyaz renk değişimini,
Δa	: Kırmızı-yeşil renk değişimini,
Δb	: Sarı-mavi renk değişimini, ifade etmektedir.
QTM	: Quick Thermal Conductivity
TS	: Türk Standardı
ISO	: International Organization for Standardization

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1. GİRİŞ

Sahip olduğu birçok olumlu özelliğinden dolayı endüstride birçok alanda kullanılan odun, sürekli bir araştırma konusu olmuştur. Yapılan araştırmalarda odunun olumlu özelliklerini daha da iyileştirmek, olumsuz özelliklerini ise azaltmak veya ortadan kaldırmak hedeflenmiştir. Bununla birlikte söz konusu araştırma yönteminin, odunun aynı anda birden çok özelliğini iyileştirmesi, insan sağlığı ve doğayla dost, düşük maliyetli ve uygulanabilir olması da göz önünde bulundurulmuştur. Hedeflenen bu özellikleri bünyesinde barındıran ve aynı zamanda bu çalışmaya da konu olan bir araştırmada ısıtma işlem yöntemidir.

Tarihi olarak bu yöntemin yüzyıllardır bilindiğini, Vikinglerin bin yıl önce çit malzemesi gibi dış yapılarda kullanılan oduna ısıtma işlem uygulamasından anlamaktayız (Kalaycıoğlu, 2003). Yüzyıllardır bilinmesine rağmen bu konuda ki ilk bilimsel çalışmalar Almanya'da 1930'lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafından yapılmıştır. 1940'lı yıllarda Amerika'da White ve 1950'li yıllarda Almanya'da Bavendam, Runkel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman ve Schneider 1960'lı yıllarda buldukları bilgileri yayınlamışlar ve bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır. 1970'lerde Rusche ve Burmester yine bu konuda çalışmışlardır. Bu çalışmalar 1990'lı yıllardan sonra Finlandiya, Fransa ve Hollanda'da bilim adamları tarafından ele alınmıştır (Mayes and Oksanen, 2002). Çoğu önemli; teorik ve bilimsel çalışmalar Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından yapılmıştır. Uygulama ile ilgili araştırmalar Çevre Teknoloji Enstitüsünde (IET) devam etmektedir.

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı ülkemizde yetişmekte olan ve günümüz endüstrisinde de çokça kullanılan göknar ve kayın odunlarının ThermoWood metoduyla ısıtılma tabii tutulduktan sonraki fiziksel ve mekanik özelliklerinden bazılarında meydana gelen değişimleri incelemek ve bu değişimlerle bir veri tabanı oluşturmaktır. Bu amaçla; odun örnekleri 170, 180, 190, 200 ve 212 °C sıcaklıklarda 2 saat süreyle ısıtılma tabii tutularak fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimler ortaya konmuştur.

1.3. ISIL İŞLEM YÖNTEMİ (THERMOWOOD)

Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından geliştirilen ve ThermoWood olarak adlandırılan ısıtılma yöntemi.

Bu metotla odun, iç sıcaklığı 165 °C - 212 °C arasında ısıtılırken buharla yanmaktan korunmuştur. Kullanılan buhar ve ısı odunda bir kısım kimyasal değişimlere yol açmaktadır. Bu süreç sonucunda doğayla dost ThermoWood ortaya çıkmaktadır. ThermoWood işleminin sonucunda odunun rengi değişmekte, değişen rutubet koşullarında normal bir oduna göre daha stabil hale gelmekte ve ısı yalıtım özellikleri artmaktadır.

ThermoWood metodu üç ana safhadan oluşur.

1.3.1. Yüksek Isıda Kurutma Safhası

Isıtılma uygulamasında en fazla zaman gerektiren safhadır. Isıtılma ve su buharı kullanılarak fırın sıcaklığı hızlı bir şekilde 100 °C'ye çıkarılır. Sonra, ısı durmadan 130 °C'ye yükseltilir, bu süre içerisinde ağaç kurutulur ve nem sıfıra indirilir. Kurutma aşamasının süresi odun türü, kereste kalınlığı ve odunun rutubet içeriğine bağlıdır. Hammaddenin taze veya kurutulmuş odun olabilir.

Başarılı bir kurutma iç çatlaklardan kaçınmak için önemlidir. Odun yüksek sıcaklıklarda elastik özellik kazanması sonucu geleneksel fırında kurutma yöntemine nazaran daha iyi deformasyon mukavemeti gösterir.

1.3.2. ThermoWood Safhası

Isıl işlem uygulaması işlem düzeyine bağlı olarak kapalı bir odada odun iç sıcaklığının 165-212 °C'ye artırılması ile uygulanır. Hedeflenen sıcaklığa ulaşıldığında sıcaklık, ısıl işlem uygulama amacına bağlı olarak 2-3 saatlik bir süre sabit tutulur. Isıl işlem aşaması yüksek sıcaklıkta kurutma aşamasından sonra derhal başlatılır. Isıl işlem boyunca odunun yanmasını önlemek amacıyla koruyucu buhar kullanılır.

1.3.3. Soğutma ve Denkleştirme Safhası

Isıl işlemden sonra odunu kontrollü olarak soğutmak için kondisyonlama (denkleştirme) periyodu uygulanır. Çatlaklara sebep olan odun ve dış hava arasındaki yüksek sıcaklık farklılıkları bu aşamada minimize edilir.

İlaveten odunun rutubet içeriğini son kullanım yeri için gerekli olan rutubet düzeyine getirmek için tekrar nemlendirme işlemi gerçekleştirilir. Odunun nihai nem seviyesi onun çalışma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin kuru odunun işlenmesi zordur. Kondisyonlamadan sonra odunun nem içeriği % 5-7 olmalıdır. İşlem sıcaklığı ve keresteye bağlı olan kondisyonlama safhası 5-15 saat sürer (Korkut ve Özdemir, 2003).

1.4. THERMOWOOD'UN SINIFLANDIRILMASI

Yumuşak ve sert odun türlerinin ThermoWood programları farklıdır. Çünkü odunların anatomik yapıları farklıdır.

ThermoWood uygulamasında ısının artmasına paralel olarak odun özellikleri yavaş yavaş değişikliğe uğramaktadır. Bu uygulamada genel de yumuşak odunlarda 185°C-

212 °C, sert odunlarda 165 °C - 200 °C ısı işlem uygulanmaktadır. Sıcaklık derecesi odunun biyolojik dayanımı, çekme, şişme ve renk değişimini etkileyen anahtar özelliktir.

Standart ThermoWood'da iki sınıf uygulama vardır. Bunlar Thermo-S ve Thermo-D'dir.

Thermo-S deki S stabil ve sağlamlık anlamına gelir. Dış görünüşle birlikte, stabilite bu uygulama sınıfında anahtar özelliğidir. Thermo-S sınıfı uygulanan odunun neme bağlı yüzeysel çekme ve şişme ortalaması % 6-8 dir. Thermo-S kullanım alanları Çizelge 1.1'de verilmiştir (Mayes and Oksanen, 2002).

Çizelge 1.1. Thermo-S kullanım alanları

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

Thermo-D deki D dayanıklılık anlamına gelir. Dış görünüşle birlikte, stabilite bu uygulama sınıfında anahtar özelliğidir. Thermo-D sınıfı uygulanan ahşabın neme bağlı yüzeysel çekme ve şişme ortalaması % 5-6 dır. Thermo-D kullanım alanları Çizelge 1.2'de verilmiştir (Mayes and Oksanen, 2002).

Çizelge 1.2. Thermo-D kullanım alanları

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

1.5. ISIL İŞLEMİN ODUN ÜZERİNE ETKİLERİ

Isıl işlem odunun kimyasal ve fiziksel özelliklerini kalıcı olarak değiştirir. Odun türleri arasındaki yapısal farklılıklardan dolayı ısıl işlem uygulaması sonucu odun özelliklerinde meydana gelen değişimlerde farklı olmaktadır.

1.5.1. Fiziksel Etkileri

1.5.1.1. Ağırlık Kaybı ve Yoğunluk

Isıl işlem ile meydana gelen ağırlık kayıpları, mevcut hidroksil gruplarının azalmasıyla görülen odun yapısındaki suyun kaybı, hücre çeperindeki maddesel kayıplar ve hemiselülozların parçalanmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir (Viitanen et al. 1994; Fengel and Wegener 1989).

Isıl işlem yapılmış odun, ısıl işlem yapılmamış oduna göre daha az yoğunluğa sahiptir. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça odunun hacmi daralır, ağırlık kaybı artar dolayısıyla yoğunluk azalır.

1.5.1.2. Renk

Isı etkisi ile odunun rengi koyulaşmaktadır. Odun kahverengi bir renk tonu ve karakteristik bir koku kazanır. Renk değişmesi işlem türüne ve özellikle işlemde uygulanan sıcaklık ve işlem süresine bağlıdır. Elde edilen renk tonu Ultraviyole (güneş ışını) ışınlarına karşı stabil değildir. Nispeten kısa bir süre açık hava ile temastan sonra yüzeyleri muamele görmemiş odun gibi grileşmektedir (Mayes and Oksanen 2002).

1.5.1.3. Isı iletkenliği

Isıl işlem uygulanmış odunun ısı iletkenliği düşmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda ısıl işlem görmüş odunun ısı iletkenliği kontrole kıyasla % 20-25 azalır bu nedenle ThermoWood ısı yalıtımının söz konusu olduğu kullanım alanlarında idealdir (Militz, 2002; Mayes and Oksanen, 2002)

1.5.1.4. Denge Rutubet Miktarı (DRM) ve Boyutsal Değişim

Isıl işlem odunun DRM'nı açık bir biçimde düşürür ve yüksek sıcaklık derecelerinde (220 °C) DRM ısıl işlem görmemiş oduna göre yarı yarıya değişir. Isıl işlem uygulanan odunun hidroksil grupları azaldığından dolayı odunun çeperi daha az su absorbe etmekte ve dolayısıyla odunun genişlemesi azalmaktadır. Radyal genişleme/teğet genişleme oranı değişmez teğet genişleme radyal genişlemenin iki katıdır (Mayes and Oksanen 2002).

Yapılan çalışmalar sonucunda boyutsal stabilizasyonun yalnızca kimyasal maddelerin kullanılmasıyla değil, sadece ısı muamelesiyle sağlanabileceği sonucuna varmışlardır (Yıldız and Gümüşkaya, 2007).

1.5.1.5. Sıvı Haldeki Suyu Alma

İşlem görmemiş odunla karşılaştırıldığında teğet ve radyal yönlerde kapillerlerin su alma kapasitesinde bir azalma meydana gelir. Bu olumlu etki bir binanın yağmurda ıslanan cephesinde kendini gösterir (Niemz, 2008).

1.5.2. Kimyasal Etkileri

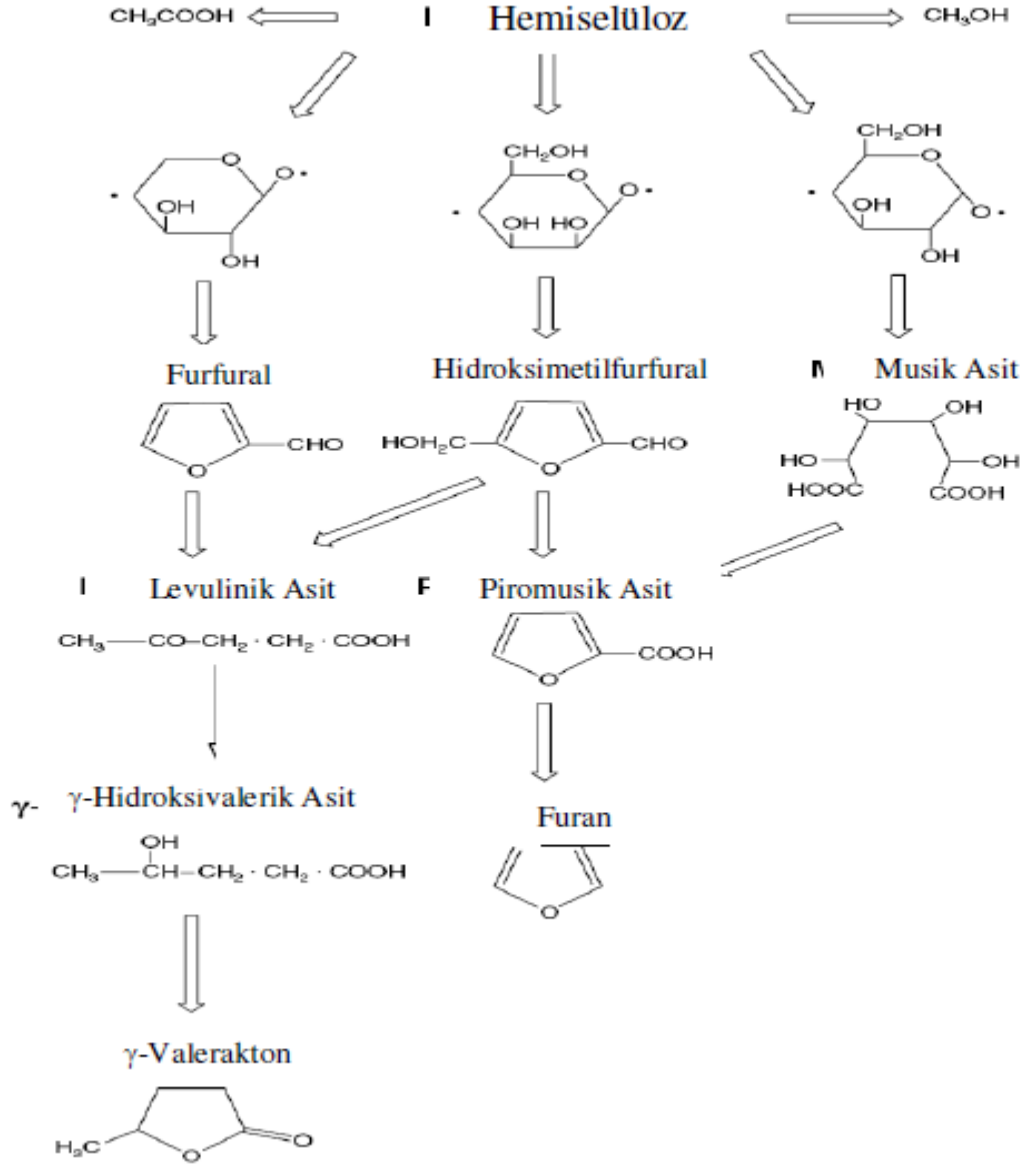
Odunun yapısını oluşturan selüloz, hemiselüloz ve lignin ısı altında farklı yollarla çözülür ve bu bileşenler ağaçtan ısı uygulaması süresince buharlaşır.

1.5.2.1. Karbonhidratlar

Selüloz ve hemiselüloz ahşabın bileşenleridir ve karbonhidrattır. Odunun % 40-50'sini selüloz ve % 25-35'ni hemiselülozlar oluşturur. Selüloz, glikoz ünitelerinden oluşmuş uzun bir zincir, hemiselülozlar çeşitli monosakkaritlerden oluşan daha kısa bir zincirdir. Hemiselülozların bileşenleri ve bileşikleri her ağaç türü için farklılık gösterir. Isıl işlem boyunca her iki grup değişimlere uğrar ama değişimlerin çoğu yüksek oksijen içerdiğinden hemiselülozlarda meydana gelir.

Isıl işlem uygulamasından sonra odun daha az hemiselüloz içerir. Bunun sonucunda hassas mantar maddesi önemli derecede azalır ve ThermoWood'un çürüme mukavemeti, normal fırında kurutulmuş oduna göre artar. Hemiselülozun parçalanmasıyla su absorbe eden hidroksil gruplarının konsantrasyonu azalır ve boyutsal stabilizasyon normal fırında kurutulmuş olana göre artar. Hemiselüloz'un parçalanma sıcaklığı 200-260 °C, selülozun ise 240-350 °C arasındadır. Yapraklı ağaçlardaki hemiselüloz miktarı iğne yapraklılara göre daha yüksektir. Bu yüzden degrade olma yapraklı ağaçlarda iğne yapraklılara göre daha kolay gerçekleşmektedir. Fakat hemiselüloz zincirlerinin parçalanması; selüloz zincirinin parçalanmasıyla meydana gelen direnç kayıpları gibi direnç üzerinde çok fazla bir etkiye sahip değildir. Onun yerine hemiselüloz zincirlerinin parçalanması odunun sıkıştırılabilirliğini artırır ve odun içinde baskı oluşumunu azaltır ve odunun sağlamlığında düşüşe sebebiyet verebilir (Mayes and Oksanen, 2002).

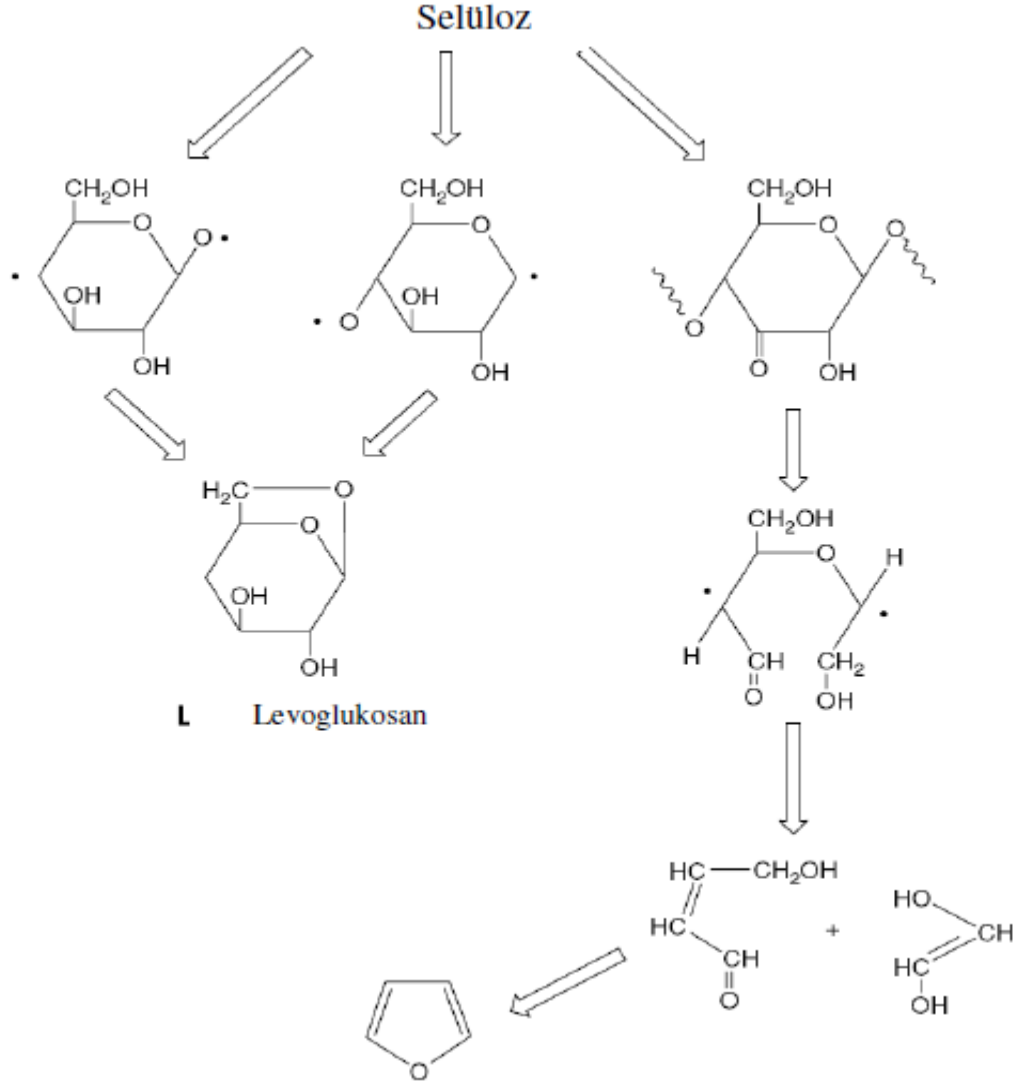
Serbest radikal ortamında Hemiselülozların degradasyonları için olası reaksiyon mekanizması Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Hemiselülozun olası degradasyon oluşumu (Fengel and Wegener, 1989)

Hemiselüloz polimerlerinin, oligosakkaritlere ve monosakkaritlere depolimerizasyonu sonucunda furfural (pentozlar) ve hidroksi metil furfural (heksozlar) meydana gelmektedir. İğne yapraklı ağaçlar yapraklı ağaçlardan termal olarak daha stabildir. Bu durum hemiselüloz içerikleri ve bileşimlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Fengel and Wegener, 1989).

Selülozun deşredasyonları için olası reaksiyon mekanizması Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Selülozun olası deşredasyon oluşumu (Fengel and Wegener, 1989)

Levoglukosan, termal deşredasyon boyunca selülozda oluşan ilk parçalanma ürünü olarak tanımlanabilir (Sanderman and Augustin, 1964).

1.5.2.2. Lignin

Lignin odun hücrelerini bir arada tutar. Odun hücrelerinin orta lamellerinin koyu materyali esas olarak lignin materyalidir. Ayrıca lignin primer ve sekonder hücre

duvarlarında da bulunur. Lignin iğne yapraklı ağaçlarda % 25-30 ve yapraklı ağaçlarda % 20-25 oranında bulunur. Lignin eter Karbon-Karbon bağlarıyla polimerizasyon derecesi 10-50 arasında birleşmiş olan fenil propan ünitelerinden meydana gelmektedir. İğne yapraklı ağaçlar guayasil fenil propan ünitesi, yapraklı ağaçlar ise hemen hemen eşit oranda guayasil ve Siringil fenil propan ünitesi içerirler. Her ikisinde de az miktarda α -Hidroksil fenil propan ünitesi bulunur. Isıl işlem süresince fenil propan üniteleri arasındaki bağlar parçalanarak ayrılır. Siringil üniteleri arasındaki aril eter bağları guayasil ünitelerinin arasındaki bağlardan daha kolay kırılırlar. Termokimyasal reaksiyonlar yan zincirler için aril alkil eter bağlarından daha yaygındır. Daha uzun oto hidroliz zamanı, daha fazla kondenzasyon reaksiyonu olur. Kondenzasyon reaksiyonu üniteleri β -Keton grupları ve karşılıklı karboksilik asit gruplarını içerir. Tüm odun bileşenlerinin yanında lignin sıcaklığa en iyi şekilde karşı koyma özelliğine sahiptir. Lignin de kütle kaybı sıcaklık 200 °C'yi aştığı zaman düşmeye başlar ve α -aril-eter bağları kırılmaya başlar. Yüksek sıcaklıkta ligninin metoksil içeriği düşer ve ligninde bazı ünitelerin difenilmetan tipi ünitelere dönüştüğü göze çarpar. Buna göre difenilmetan tip çökelti 120-200°C sıcaklıklarda en çok görülen bir durumdur. Bu reaksiyonun odunun renginin, reaktifitesinin ve bozunma gibi değişimlerin meydana gelmesinde önemli etkisi vardır (Mayes and Oksanen 2002).

1.5.3. Mekanik Etkileri

1.5.3.1. Elastomekanik Özellikler

Isıl işlem odunun eğilme ve şok direncinde belirgin bir azalmaya, E-Modülünde biraz daha az miktarda değişmeye sebebiyet vermektedir. Direnç kaybı işlemin entansitesinin artması ile artmaktadır. En fazla azalma şok direncinde meydana gelmektedir (Niemz, 2008).

1.5.3.2. Brinell Sertlik

Odunun sertliği ısıl işlem ile düşmektedir. Sertlik kaybı işlemin entansitesine bağlıdır. İşlem ne kadar entansif olursa sertlik kaybı o kadar fazla olmaktadır. Hafif

(yumuşak) işlem uygulanması halinde aynı zamanda vuku bulan denge rutubetindeki küçülme nedeniyle sertlik kaybı pek azdır (önemsizdir). Kısmen eksilen odun rutubeti nedeniyle sertlikte hafif bir yükselme bile meydana gelmektedir (Niemz, 2008).

1.5.3.3. Şok Direnci

Test sonuçları ısıtma işlemi görmüş odunun sok direnci değerlerinin normal kurutulmuş kerestelerden daha az olduğunu göstermiştir. Yüksek sıcaklıkta (220 °C ve 3 saat) test sonuçları ısıtma işlemi görmüş odunun sok direncinin yaklaşık olarak % 25 kadar düştüğü belirlenmiştir (Mayes and Oksanen 2002).

1.6. LİTERATÜR ÖZETİ

Özçifçi vd. (2009), Karabük Yenice bölgesinden temin edilen sarıçam odununa, 150, 170 ve 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat süreyle ısıtma işlemi uygulamıştır. Yapılan testlerin sonuçları değerlendirildiğinde, ısıtma işleminin sarıçamın teknolojik özelliklerini değiştirdiği gözlemlenmiştir. Uygulanan sıcaklık ve sürenin artışı ile doğru orantılı olarak sarıçamın ağırlık kaybı artmakta ve rengi koyulaşmaktadır. Sıcaklık ve süre arttıkça hacimsel genişlemesi azalmakta ve böylelikle boyutsal stabilizasyonu geliştirilebilmektedir. Isıtma işlemi sarıçamın eğilme direnci ve elastikiyet modülünde azalmaya neden olurken basınç direncinde artışa neden olmuştur. Mekanik dirençler arasında Isıtma işlemi uygulamasından en fazla eğilme direncinin etkilendiği belirlenmiştir.

Korkut ve Bektaş (2008), Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen Uludağ göknarı ve sarıçam odununun fiziksel özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; her iki ağaç türünde de ısıtma işlemi uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak tam kuru ve hava kurusu yoğunluğunun azaldığı ve yine genişleme değerinin de azalması neticesinde ısıtma işleminin boyutsal stabilite üzerine olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Korkut et al. (2008a), Düzce Orman İşletme Müdürlüğü'nden elde edilen Akçaağaç odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; en fazla azalmanın radyal ve teğet sertlik değerleri ile liflere dik çekme direncinde 180 °C'de 10 saat ısıtma işlemi uygulaması neticesinde elde edildiği ve stabilite gerektiren pencere doğramalarında kullanılacak ağaç malzemenin ısıtma işleme tabi tutulmasının faydalı olacağı ifade edilmiştir.

Korkut et al. (2008b), sarıçam odununun bazı teknolojik özellikleri (eğilmede elastikiyet modülü, janka sertlik, şok direnci, liflere dik çekme direnci, basınç direnci ve eğilme direnci) üzerine, ısıtma işleminin etkilerini araştırmışlardır. Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen deney örneklerine 2, 6 ve 10 saat süre ile 120, 150 ve 180°C sıcaklıkta olmak üzere 9 varyasyonda ısıtma işlemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda; en az direnç kaybının 120°C'de 2 saat ısıtma işlemi uygulaması ile en fazla direnç kaybının 180°C'de 10 saat ısıtma işlemi uygulaması neticesinde elde edildiği, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında ısıtma işleminde uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak direnç değerlerinin değiştiği ve farklı ısıtma yöntemlerinin kullanılması ile ticari değeri olmayan türlerin daha çok kullanım yerlerinde değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Unsal ve Ayrılmış (2005), Termal olarak modifiye edilmiş okaliptüs odununun hava kurusu yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü (ortalama pürüzlük) ve liflere paralel basınç direnci üzerinde ısıtma işleminin etkisi araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü liflere dik yönde yapılmış ve ısıtma işlem sıcaklığı ve uygulama süresi arttıkça; basınç direnci, yoğunluk ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğünü göstermiştir.

Unsal et al. (2003), ısıtma işleminin okaliptüs odununun renk, fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin üzerine etkilerini incelemişlerdir. Isıtma işlemi uygulanmış okaliptüs örneklerine şişme, sertlik, fırın kurusu ağırlık ve örneklerin renk değişimi muamele edilmemiş örneklerle karşılaştırılarak test edildi. Sonuçta ısıtma işlemi ile odun örneklerinin renkleri koyulaşırken, ısıtma işlem sıcaklığı ve şartları artırıldıkça şişme, yoğunluk ve sertlikte düşme görüldüğü belirlenmiştir.

Yıldız (2002), araştırmasında ısıtım işlem görmüş Kayın ve Doğu Ladini odunlarını atmosferik şartlarda 2, 6 ve 10 saat 130, 150, 180, 200°C’de ısıtım işlemine tabi tutmuştur. Sonuçta fiziksel özelliklerden, boyutsal stabilizasyonda, ısıtım işleminin memnuniyet verici olduğu bildirilmiştir. Mekanik ve teknolojik özellik değerlerinin genellikle maruz olduğu şartlar ve sıcaklığın artmasıyla bir düşüşe neden olduğu; kimyasal özelliklerde ise, ısıtım işlem süresince en çok holoselülozların bozulduğu belirlenmiştir.

Bekhta and Niemz (2008), kayın odununun mekanik özellikleri, renk değişimi ve boyutsal stabilizasyonu üzerine yüksek sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Sonuçta mekanik özelliklerde düşüşün gerçekleştiği, odun renginin koyulaştığı ve odunun boyutsal stabilizasyonunun arttığı belirlenmiştir. Isıtım işlem sıcaklığı 200 °C’ye yaklaştıkça renk değişiminin arttığı ve bu renkteki koyulaşmanın 4 saat muameleden sonra daha da yoğunlaştığı belirlenmiştir. Eğilme direncindeki düşüşün % 5-40 arasında olduğu, elastikiyet modülünde bu değerlerin % 4-9 oranlarında olduğu belirlenmiştir.

Mitsui (2006), ladin örneklerinin rengindeki değişim ısıtım işlem ve ışık etkisiyle belirlenmiştir. Isıtım işlem sonucunda L*, a* ve b* değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Isıtım işleminden sonra ışık muamelesi sonucunda L* ve a* değerlerinde düşüş gözlenmesine rağmen b* değerleri ısıtım işlem sırasında ciddi bir düşüş göstermiştir. Bu durum ısıtım işlem görmüş odunun ışık etkisi altında renk değişimine uğradığı anlamına gelmektedir. Işık yayılımıyla foto termal olarak muamele edilen odunun rengi ısıtım işlemle iyileştirilebilmekte fakat gerekli önlemler alınmadığı sürece örneklerde istenmeyen renk değişimlerinin olabileceği söylenmektedir.

Alèn et al. (2002), 180-225 °C sıcaklıkta ve buhar atmosferinde 2-8 saat arasında muamele ettikleri ladin odununun kimyasal analizinde ısıtım süresince karbonhidratların ligninden daha fazla degrade edici reaksiyonlara maruz kaldığını belirlemiştir.

Esteves et al. (2007), sahil çamı ve okaliptüs odun örnekleri hava ortamında buharla birlikte otoklav içerisinde 2-12 saat ve 190-210 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıtım

muamele edilmiştir. Sonuçta odunun su-alış verişinde önemli iyileşmeler meydana gelmiş, denge rutubet oranı çamda % 46 ve okalıptüste % 61 oranlarında düşmüştür. Boyutsal stabilizasyon yükselmiş ve yüzey ıslanabilirliğinin düştüğü belirlenmiştir. Bunların yanında mekaniksel özelliklerden elastikiyet modülü çok az etkilenmiştir (Çamda % 5, okalıptüste % 15 oranında düşmüştür). Ancak eğilme direncinde ciddi düşüşler olduğu görülmüştür (Çam için kütle kaybı % 8'den % 40'a kadar ve okalıptüs odunu için % 9'lardan % 50'lere kadar yükselmektedir). Okalıptüsün ısı işleme verdiği tepki iğne yapraklılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOD

2.1. MATERYAL

2.1.1. Ağaç Malzeme

Yapılan çalışmada, ağaç malzeme olarak; Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) kullanılmıştır.

2.1.1.1. Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky)

Doğu kayını 30-40 m'ye kadar boylanabilen bir metrenin üzerinde çap yapabilen dolgun ve düzgün gövdeli birinci sınıf orman ağacıdır. Kabuğu ince ve açık kül rengindedir. Yaprakları elips ve ters biçiminde sivri ya da kısa uçludur.

Kafkasya, Kuzey İran, Türkiye ve Kuzey Doğu Avrupa'da yayılır. Türkiye'de asıl yayılışını ve en iyi gelişimini Karadeniz sahillerinde yapmaktadır (Anşin ve Özkan, 1993).

Fiziksel özelliklerinden tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak 0,610-0,630 g/cm³; hava kurusu yoğunluk 0,660 g/cm³ ve hacim yoğunluk değeri 0,448 g/cm³ dir (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Mekanik özelliklerinden liflere paralel basınç direnci ortalama olarak, 644 kg/cm²; eğilme direnci 870 kg/cm²; makaslama direnci 150 kg/cm²; yarıma direnci 8,6 kg/cm² dir (Örs ve Keskin, 2001).

Kayın odununun %34-46'sını selüloz, %12-23'ünü lignin, %18-26'sını pentozan ve %1,9'u alkol-benzolde çözünen ekstraktif maddeler oluşturur (Bozkurt ve Erdin, 1989).

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

Bu alt tür Türkiye'ye özgü bir endemik takson olup, ünlü botanikçi Bornmueller'in adını almıştır. Uludağ göknarı, çoğunlukla 40 metreye değin boylanabilen birinci sınıf orman ağacı durumundadır. Piramidal gelişme gösterir, tepeden, tabana kadar çok sık dallıdır. Gövde kabuğu gridir. Ortalama 15-16 cm boyunda ve 5 cm çapında kırmızı-kahverengi kozalakları vardır (Bozkurt, 1992).

Genel yayılış alanı Kızılıрмаğın denize döküldüğü yer ile Uludağ arasında kalan Batı Karadeniz Bölgesi ile Kocaeli havzasıdır. Bu kesimdeki dağlar, Doğu Karadeniz Dağları'nda olduğu gibi sıra dağlar karakterinde olmadığından, bu göknar taksonunun yayılışı da sürekli olmayıp kesintili bir durum gösterir (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Fiziksel özelliklerinden tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak $0,4 \text{ g/cm}^3$; hava kurusu yoğunluk $0,429 \text{ g/cm}^3$; hacim yoğunluk değeri $0,35 \text{ g/cm}^3$; radyal daralma %4,3; Teğet daralma %8,6; hacmen daralma %13'dür (Merev, 1984).

Mekaniksel özelliklerinden liflere paralel basınç direnci ortalama olarak 37 N/mm^2 ; eğilme direnci 73 N/mm^2 ; elastikiyet modülü 8300 N/mm^2 ; çekme direnci 62 N/mm^2 ve makaslama direnci 5 N/mm^2 dir (Merev, 1984).

2.2. METOD

2.2.1. Örnek Ağaçların Seçimi ve Örneklerin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan ağaç malzeme seçiminde TS 4176 esaslarına göre hareket edilmiştir (TS 4176, 1984). Gövde oluşumu bakımından fazla dallı, budaklı, lif kıvrıklığı, anormal tepe formu göstermemesine, gövdelerin normal ve çürüksüz

olmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca, iklim özellikleri bakımından çok rutubetli veya çok kurak, devamlı rüzgar etkilerine açık ekstrem yetiştirme ortamlarından kaçınılmıştır. Böylece çalışmada yararlanılan ağaçların, bulunduğu alanı en iyi temsil edebilecek ve iyi gövde yapısına sahip düzgün ağaçlardan olmasına özen gösterilmiştir. Böylece, türlere ait yetiştirme yerlerinden örnek ağaçlar seçilmiştir. Seçilen ağaçlar üzerine numaraları yazılmış ve kuzey yönleri işaretlenmiştir. Çalışmada yararlanılan örnek ağaçların alındığı yerler ve ağaç türlerine ait genel özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

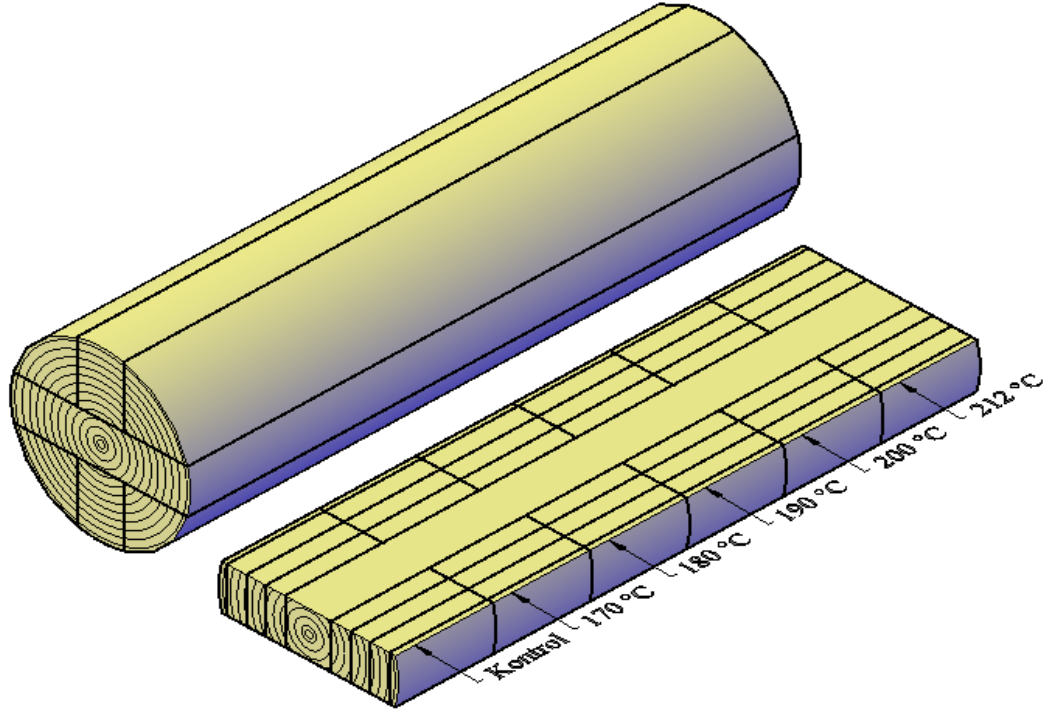
Çizelge 2.1 Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri

Ağaç Türü	Bölge Adı		Yaş (Yıl)	1.30 m’de Çap (cm)	Yetiştirme Yeri Yüksekliği (m)
Doğu Kayını	Bolu	Yeşildağ	83	47	870
Uludağ Göknarı	Bolu	Yeşildağ	77	43	870

Deneme alanlarında, seçilen her ağacın dipten itibaren 1.30 m yükseklikten sonra 3 m’lik gövde kısımları çıkartılarak her parça üzerine gerekli bilgiler işaretlenmiştir.

Bu aşamadan sonra örnek ağaçlardan elde edilen 3 m’lik tomruklar, Atılım İnş. Mim. Muh. San. Ve Tic. Ltd. Şirketinin Kereste ve Orman Ürünleri fabrikasına götürülmüş ve burada TS 2470 esaslarına uygun olarak kesilmiştir (TS 2470, 1976). Tomruklar kesilirken ısıtma işlemine tabi tutulacakları test fırınının ölçülerine uygun boyda ve yapılacak deneylerin örnek boyutları hesaplanarak en az fire verecek şekilde 50x12x5 cm boyutlarında kesilmiştir (Şekil 2.1). Aynı gruptaki numuneler birbirinin devamı olan kerestelerden alınacak şekilde işaretlenmiş ve bu şekilde gruplandırma yapılmıştır.

Daha sonra elde edilen keresteler, Bolu da parke üretimi yapan Abant Parkenin Kurutma fırınlarında odun türüne göre ayrı ayrı fırınlarda teknik kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutma işlemi buharlı fırınlarda yapılmış 30°C’den başlayarak 70 °C’ye kadar kademeli olarak sıcaklık artırılırken aynı zamanda buhar verilerek kurutulmuştur ve kerestelerin nihai rutubeti %8-10 seviyesine gelmiştir. Şekil 2.1’de test örneklerinin elde edildiği taslakların tomruktan alınış şekli verilmektedir.



Şekil 2.1 Kontrol ve test örneklerinin elde edildiği taslakların tomruktan alınışı

Teknik kurutmaya tabi tutulan örneklerden ısıl işlem uygulamasına tabi tutulacak taslak odunlar Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş'nin Gerede de bulunan Thermowood Kereste Üretim Fabrikasına götürülmüştür. Burada kerestelerin fırına konmadan önceki rutubetleri ölçülmüş ortalama olarak %12 rutubet içerdikleri tespit edilmiştir.

2.2.2. Isıl İşlem Uygulanması

Bu çalışmada, örnekler ThermoWood ısıl işlem metodu ile çalışan Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş'nin Gerede de bulunan Thermowood Kereste Üretim Fabrikasında ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Burada bulunan bilgisayar kontrollü test fırınında 170, 180, 190, 200 ve 212°C sıcaklıklarında ısıl işlem aşaması 2 saat olmak üzere her iki odun türü ve her sıcaklık için ayrı ayrı olmak üzere ısıl işleme tabi tutulmuştur. Test fırınına otomasyon sistemi ile fırındaki odunun yapısına ve fırın sıcaklığına bağlı olarak koruyucu buhar verilmiştir. Isıl işlem ThermoWood Handbook'ta tanımlanan metod esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem 3 aşamada gerçekleştirilmiştir: Birinci aşamada, test fırınının sıcaklığı 100 C 'ye

yükseltilmiştir. Odunun iç ısı aynı sıcaklığa yaklaştığında, fırının sıcaklığı dikkatli bir şekilde hedeflenen ısı işlem sıcaklığına yükseltilmiştir. Hedeflenen ısı işlem sıcaklıkları 170, 180, 190, 200 ve 212°C dir. Her bir tur için hedeflenen sıcaklığa ulaştıktan sonra sıcaklık 2 saat sabit tutulmuştur. Isıl işlem boyunca test fırınına otomasyon sistemi ile fırındaki odunun yapısına ve fırın sıcaklığına bağlı olarak koruyucu buhar verilmiştir. Isıl işlemden sonra odunu kontrollü olarak soğutmak için kondisyonlama (denkleştirme) periyodu uygulanır. Bu aşamada sıcaklık 80-90 C düşürülmüştür. İlâveten odunun nihai rutubet içeriğinin %4-%7 olması için nemlendirme işlemi gerçekleştirilir.

Isıl işlem görmüş keresteler daha sonra Bolu İzzet Baysal Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Ahşap Teknolojisi Alanı Atölyesine götürülmüş ve burada 2 ay bekletilmiştir. Daha sonra yapılacak olan deneylerin örnek boyutlarına göre kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir test için 20 örnek hazırlanmıştır. Örneklerin budaksız, reçinesiz, büyüme kusurları bulunmayan, sağlam, düzgün lifli ve diri odun kısmı olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra tüm örnekler 20 ± 2 °C sıcaklık ve 65 ± 3 bağıl neme sahip iklimlendirme dolabında 1 ay değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmişlerdir.

2.2.3. Deneysel Çalışmalar

2.2.3.1. Ağırlık Kaybı

Farklı ısı işlem sıcaklıklarındaki ağırlık kaybının belirlenmesi için; 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık (5) için 20 adet olmak üzere $2 \times 5 \times 20 = 200$ adet deney örneği hazırlanmıştır. Ağırlıkların belirlenmesi için TS 2472 esaslarına uyulmuştur. Tam kuru ağırlık (M_0) tayini için, örnekler etüv'de 103 ± 2 °C sıcaklık derecesinde ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen örnekler, kurutma fırınından alınarak $\pm 0,001$ g duyarlıklı elektronik terazide tartılmıştır. Daha sonra örnekler her bir sıcaklık ve odun türü için 20 adet olmak üzere farklı sıcaklıklarda ısı işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonrası örnekler yine etüv'de 103 ± 2 °C sıcaklık derecesinde ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen

örnekler, kurutma fırından alınarak ± 0.001 g duyarlıklı elektronik terazide tartılmıştır. Kaydedilen sonuçlara göre ağırlık kayıpları %'de olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$A_k = \frac{M_0 - M_{is}}{M_{is}} \times 100 \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

A_k : Ağırlık kaybı (%),

M_0 : Tam kuru ağırlık (gr),

M_{is} : Isıl işlem sonrası tam kuru ağırlık (gr), değerlerini ifade etmektedir.

2.2.3.2. Denge Rutubet Miktarı (DRM)

Örneklerin denge rutubet miktarının (DRM) belirlenmesi için; 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık ve kontrol (6) için 20 adet olmak üzere $2 \times 6 \times 20 = 240$ adet deney örneği hazırlanmıştır. Örnekler % 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 3 bağıl nem şartlarında klima odasında bekletilerek ağırlıkları belirli aralıklarla ölçülmüş ve değişmez ağırlığa gelince ağırlıkları tartılmıştır. DRM değerleri TS 2471'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (TS 2471, 1976).

$$DRM = \frac{A_r - A_0}{A_0} \times 100 \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte;

A_r : % 65 bağıl nem ve 20°C'de ulaşılan değişmeyen rutubetli ağırlık (gr),

A_0 : Tam kuru ağırlık (gr), değerlerini ifade etmektedir.

2.2.3.3. Hava Kurusu Yoğunluk

Hava kurusu yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için, her bir sıcaklık ve kontrol (6) için 20 adet

olmak üzere 2x6x20=240 adet deney örneği hazırlanmıştır. Örneklerin yoğunlukları TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2472, 1976). Buna göre; deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 3 bağıl nem şartlarındaki kabinde bekletilerek değişmez ağırlığa ve boyutsal stabilizeye ulaşması sağlanmıştır. Daha sonra $\pm 0,001$ gr duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kurusu yoğunluk aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \text{ g / cm}^3 \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte;

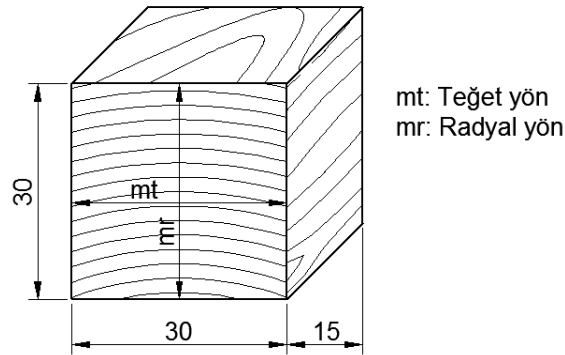
δ_{12} : Hava kurusu yoğunluk (g/cm^3),

M_{12} : Hava kurusu haldeki ağırlık (gr),

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

2.2.3.4. Boyutsal Değişim

Boyutsal değişim miktarının belirlenmesi için; TS 4086'ya göre 30x30x15 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır (Şekil 2.2). Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık ve kontrol (6) için 20 adet olmak üzere 2x6x20=240 adet genişleme için 240 adet de daralma için toplam 480 adet örnek hazırlanmıştır.



Şekil 2.2 Boyutsal değişimi hesaplamak için kullanılan örnek boyutları

Daralma miktarının belirlenmesi için hazırlanan deney örnekleri 20°C sıcaklıktaki destile su içerisinde boyutlarında bir değişim olmayıncaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin karşılıklı iki kesitinde işaretlenen noktalar arasındaki mesafe $\pm 0,01$ mm duyarlıklı kumpasla ölçülmüştür. Aynı örnekler, normal atmosfer şartlarında 2 hafta bekletildikten sonra, 103 ± 2 °C sıcaklıktaki kurutma dolabında ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuş ve ilk ölçüm yerlerinden, tekrar ölçüm yapılarak, daralma yüzdeleri (β) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\beta = \frac{R_{\delta} - K_{\delta}}{R_{\delta}} \times 100 \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte;

β : Daralma miktarı (%),

R_{δ} : Rutubetli ölçü (mm),

K_{δ} : Kuru ölçü (mm), değerlerini ifade etmektedir.

Genişleme miktarının belirlenmesi için hazırlanan deney örnekleri 103 ± 2 °C sıcaklıktaki kurutma dolabında ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra karşılıklı iki kesitinde işaretlenen noktalar arasındaki uzunlukları, $\pm 0,01$ mm duyarlıklı kompasla ölçülmüştür. Aynı örnekler normal atmosfer şartlarında 2 hafta bekletildikten sonra, 20°C sıcaklıktaki destile su içerisinde boyutları değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiş ve ilk ölçüm yerlerinden tekrar ölçüm yapılarak genişleme yüzdeleri (α) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\alpha = \frac{R_{\delta} - K_{\delta}}{K_{\delta}} \times 100 \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte;

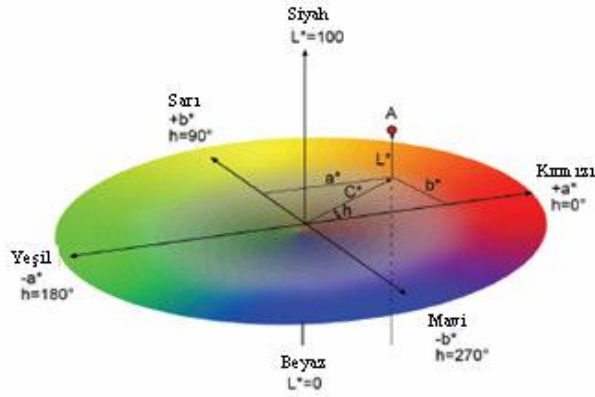
α : Genişleme miktarı (%),

R_{δ} : Rutubetli ölçü (mm),

K_{δ} : Kuru ölçü (mm), değerlerini ifade etmektedir.

2.2.3.5. Renk Değişimi

Renk ölçümleri beyaz renge göre $a=4,91$; $b=3,45$; $c=6,00$, $L=324,9$ olacak şekilde kalibre edilebilen renk ölçme aleti ile ISO 7724-2 standardına göre önce kontrol örnekleri sonrada muamele sırasına göre ısıtıl işlem uygulanmış örneklerdeki değişim ısıtıl işlem uygulamasından 2 ay sonra incelenmiştir. Odunda renk değişimi L açısı ile ifade edilir. Bu açının daralması odunun renginin kırmızı renge yaklaştığını (a), genişlemesi ise sarı renge (b) yaklaştığını göstermektedir. Aşağıda renk ölçme aletinin renk değişimini ölçme prensibi görülmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3.Üç boyutlu CIE $L^*a^*b^*$ renk bölgeleridir (Johansson, 2005).

L^* koordinatı ışık açısını, a^* kırmızı ve b^* sarı koordinatlarıdır. Şekil ayrıca C^* ve h kutup bölgelerinde renklerin nasıl oluştuğunu göstermektedir. CIE $L^*a^*b^*$ renk sisteminde renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L^* , a^* , b^* renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L^* siyah-beyaz (siyah için $L^*=0$, beyaz için $L^*=100$) ekseninde, a^* kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b^* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır. Değişim, rengin hangi tonunda etkili olduğunu belirlemek maksadıyla kırmızı renk tonu (a^*), sarı renk tonu (b^*) ve renk açısı (L^*) değerleri birbirinden bağımsız olarak incelenmiştir. Ayrıca, toplam renk değişimi (ΔE^*_{ab}) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte;

ΔE^*ab : ısıtma işlem sonrasında örneklerde meydana gelen toplam renk değişimini,

ΔL : Siyah-beyaz renk değişimini,

Δa : Kırmızı-yeşil renk değişimini,

Δb : Sarı-mavi renk değişimini, ifade etmektedir.

2.2.3.6. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi Deneyi

Isı iletkenliği deneyleri için, her bir odun türü (2), her bir sıcaklık ve kontrol (6), radyal yön (5) ve teğet yön için (5) adet olmak üzere $2 \times 2 \times 5 \times 6 = 120$ adet örnek hazırlanmıştır. Göknar ve kayın odunlarından ASTM C 177/C 51'e göre hazırlanan $20 \times 50 \times 100$ mm boyutlarındaki odun örnekleri, deney işleminden önce 20 ± 2 °C ve $\% 65 \pm 3$ bağıl neme sahip klimatize dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek $\% 12$ rutubete ulaşmaları sağlanmıştır.

Deneyde kullanılan Quick Thermal Conductivity-500 ısı iletkenliği test makinesinde PD-11 sensör probu kullanılmıştır. Tüm deneylerden önce kalibrasyon ölçümleri yapılmıştır. Her bir örneğin bir dakika süreyle otomatik olarak ölçümleri yapılmış ve sonuçları makinenin sonuç gösterge ekranına yansımıştır. Isı iletkenliği katsayısının belirlenmesinde kullanılan QTM-500 cihazı Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. QTM-500 cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı deneyi

2.2.3.7. Aşınma Direnci

Aşınma direncinin belirlenmesi için; ASTM D 4060 (1984) Amerikan Standardı (Vernik Katmanında Aşınma Direncinin Taber Cihazı ile Tayini)'na göre 10x10x1 cm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık (6) için 4 adet olmak üzere (2x6x4) 48 adet örnek hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler merkezinden 9 mm çapında delinmiş ve ±0.001 g duyarlıklı elektronik terazide tartılmıştır. Daha sonra H-22 tekerlek tipine sahip taber cihazında (Şekil 2.5) aşınmaya tabi tutulmuş ve 100 devir sonra ±0.001 g duyarlıklı elektronik terazide tekrar tartılarak aşınma miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

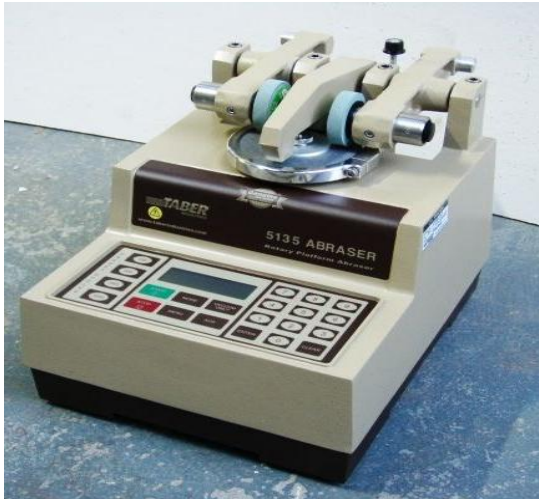
$$A_m = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte;

A_m : Aşınma miktarı (%),

M_1 : İlk ağırlık (gr),

M_2 : Aşınmadan sonraki ağırlık (gr) ifade etmektedir



Şekil 2.5. Taber aşındırma cihazı

2.2.3.8. Liflere Paralel Basınç Direnci

Basınç direnci TS 2595 esaslarına göre 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılarak tespit edilmiştir. Her bir odun türü (2), her bir sıcaklık ve kontrol (6) için 20 adet olmak üzere 2x6x20=240 adet deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri klima odasından çıkarıldıktan sonra, 0.01 mm hassaslıkla ölçüm yapabilen kumpasla en kesit boyutları ölçülmüş daha sonra lif yönü kuvvet yönüne paralel gelecek şekilde, Şekil 2.6'da görüldüğü gibi üniversal test makinesine yerleştirilmiştir. Üniversal test mekanizması, ezilmenin yükleme anından itibaren 1-2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 6 mm/dk hızla çalıştırılmıştır (TS 2595, 1977). Deneylerden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı ölçülüp, basınç dirençleri (σ_b); aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

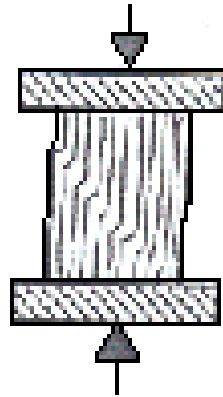
$$\sigma_b = \frac{F}{A} \text{ N / mm}^2 \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte;

F : Kırılma anındaki maksimum kuvvet,

A : Örneğin enine kesit alanı (mm^2), değerlerini ifade etmektedir.

Üniversal test makinesinde liflere paralel basınç direnci deney örneği Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Üniversal test makinesinde liflere paralel basınç direnci

2.2.3.9. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Eğilme direnci deneylerinde TS 2474 esaslarına uyulmuştur (TS 2474, 1976). Eğilme direnci denemeleri için 20x20x300 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık (6) için 20 adet olmak üzere (2x6x20) 240 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deneyler yapılmadan önce örnekler hava kurusu hale getirilip ve ± 0.01 mm duyarlılığa sahip olan dijital bir kumpasla genişliği, kalınlığı ve uzunlukları hesaplanmıştır. Daha sonra üniversal test makinesinin yükleme mekanizmasının hızı, kırılmanın yükleme anından itibaren 1,5-2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Üniversal test makinesine, dayanak noktaları açıklığı 240 mm olacak şekilde yerleştirilen örneklere, yıllık halkalara teğet yönde ve dayanak açıklığının orta kısmından kırılma işlemi gerçekleşinceye kadar yük uygulanmıştır. Eğilme direncinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3 * F * l_s}{2b * h^2} \text{ N / mm}^2 \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte;

- σ_e : Eğilme direnci (N/mm²),
- F : Kırılma anında ölçülen maksimum kuvvet (N),
- l_s : Dayanaklar arası açıklık (mm),
- b : Örnek genişliği (mm),
- h : Örnek yüksekliği (mm), değerlerini ifade etmektedir.

Elastikiyet modülü denemeleri için TS 2478 standardına uygun olarak hazırlanan 20x20x300 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık (6) için 20 adet olmak üzere 2x6x20=240 adet deney örneği hazırlanmıştır. Örnekler hazırlanırken, yıllık halkaların kesit yüzeyine teğet olmasına dikkat edilmiştir. Denemelerde dayanak noktalarının açıklığı 240 mm olarak alınmış ve deney numunesinin liflere dik yönde ve tam ortadan uygulanmasına dikkat edilmiş ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$E = \frac{F * Ls^3}{4 * f * b * h^3} kp / cm^2 \quad (2.10)$$

Bu eşitlikte;

- E : Elastikiyet modülü (kp/cm²),
F : Elastikiyet bölgedeki kuvvet (kp),
Ls : Dayanak açıklığı, (24 cm),
f : Eğilme miktarı (cm),
b : Örnek genişliği (cm),
h : Örnek yüksekliği (cm), değerlerini ifade etmektedir.

Üniversal test makinesinde yapılan eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7. Üniversal test cihazında eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi

2.2.3.10. Yüzde Değişimlerin Hesaplanması

Bu çalışmada yapılan bütün deneylerde, ısıl işleme tabi tutulmuş test örneklerinden elde edilen değerlerin, kontrol örneklerinden elde edilen değerlere kıyasla artış veya azalış oranları aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$A_o = \frac{K_{\ddot{o}} - T_{\ddot{o}}}{K_{\ddot{o}}} \cdot 100 \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte;

A_0 : Artış veya azalış oranı (%),

K_0 : Kontrol örneği değerini,

T_0 : Test örneği değerini, ifade etmektedir.

2.2.3.11. Verilerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programından faydalanılmıştır. Çalışmada faktörlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için varyans analizine başvurulmuştur. Anlamlı bulunan faktörler üzerinde, farklılığın boyutunu belirleyebilmek için de Duncan testine başvurulmuştur.

BÖLÜM 3

BULGULAR

3.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

3.1.1. Ağırlık Kaybı ve Denge Rutubet Miktarı (DRM)

Isıl işlem sonrası örneklerde, uygulanan ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen ağırlık kayıpları ve 20 °C sıcaklıkla % 65 bağıl nem ortamındaki örneklerin ulaştığı DRM Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Denge rutubet miktarı ve ağırlık kaybı değerleri

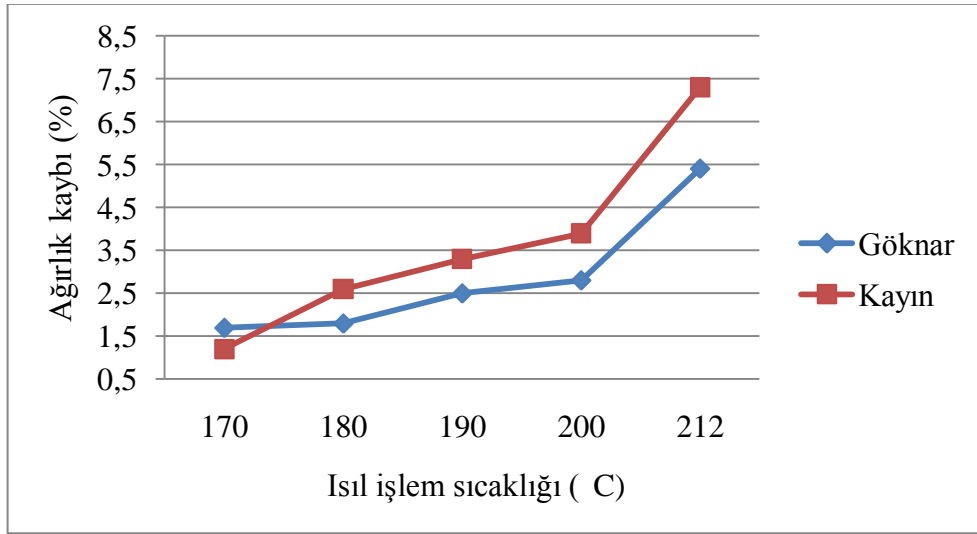
Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	N	Ağırlık kaybı (%)		Rutubet miktarı (%)	
				A.O	S.S	A.O	S.S
Göknar	Kontrol	-	20	-	-	11,8	0,4031
	170	2	20	1,7001	0,20396	9,3	0,4170
	180	2	20	1,8011	0,20228	8,2	0,6562
	190	2	20	2,5019	0,19795	7,2	0,6607
	200	2	20	2,8053	0,20306	6,5	0,4909
	212	2	20	5,4024	0,19213	6,0	0,5598
Kayın	Kontrol	-	20	-	-	12,4	0,2916
	170	2	20	1,2006	0,13736	9,8	0,2779
	180	2	20	2,6012	0,13412	8,5	0,6342
	190	2	20	3,3011	0,13946	7,3	0,3789
	200	2	20	3,8993	0,14071	6,4	0,3034
	212	2	20	7,3002	0,14613	5,8	0,3208

N: Örnek sayısını, A.O: Aritmetik ortalama, S.S: Standart Sapma

Çizelge 3.1.'e göre her iki odun türünde de ısıtım işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak ağırlık kayıplarında artma olurken, DRM'nda azalma olmuştur. Isıtım işlem görmüş örneklerde en az ağırlık kaybı 170 °C'de, göknar % 1,7, kayın % 1,2 olarak, en fazla ağırlık kaybı ise 212 °C'de göknar % 5,4, kayın % 7,3 olarak kaydedilmiştir.

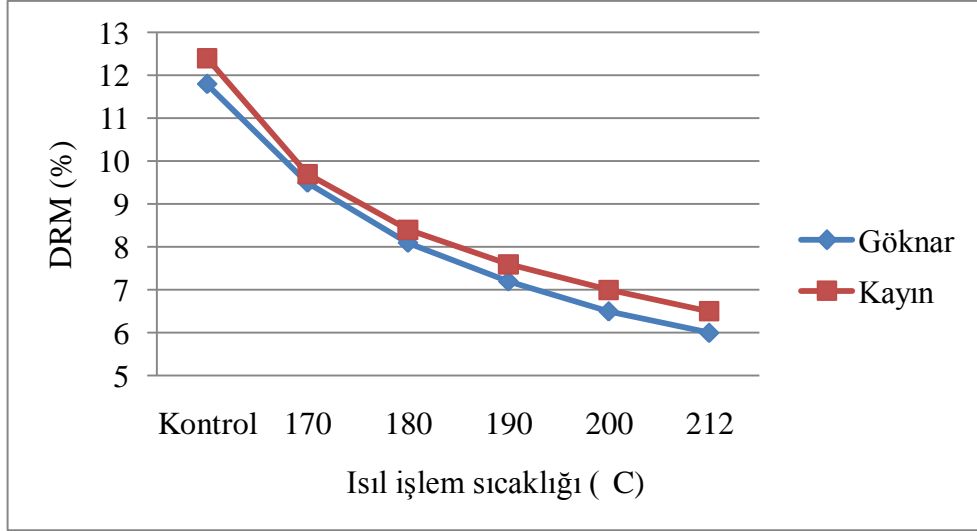
DRM'nda kontrol örneklerinin rutubet miktarı göknar % 11,8 ve kayın % 12,4 olarak tespit edilmiştir. Isıtım işlem görmüş örneklerde ise DRM en az azalmanın olduğu 170 °C'de, göknarda % 9,3, kayında % 9,8, en fazla azalmanın olduğu 212 °C'de ısıtım işlem görmüş örneklerde ise göknarda % 6 ve kayında % 5,8 olarak kaydedilmiştir.

Göknar ve kayın odununun ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak ağırlık kaybı değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 3.1'de ve DRM değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Ağırlık kaybının ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak değişimi

Şekil 3.1'de de açıkça görüldüğü gibi ısıtım işlem sıcaklığı arttıkça ağırlık kaybı artmaktadır



Şekil 3.2. DRM'nin ısıtım sıcaklığına bağlı olarak değişimi (%)

Şekil 3.2'de de görüldüğü gibi ısıtım sıcaklığı arttıkça DRM azalmaktadır.

Ağırlık kaybı ve DRM üzerine, odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ağırlık kaybı ve denge rutubet miktarı üzerine, odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
Ağırlık Kaybı	Odun Türü	27,902	1	27,902	1126,184	0,000
	Sıcaklık	915,919	5	183,184	7393,675	0,000
	Odun * Sıcaklık	35,369	5	7,074	285,512	0,000
	Hata	5,649	228	0,025		
	Toplam	2746,690	240			
	Düzeltilmiş Toplam	984,839	239			
DRM	Odun Türü	2,400	1	2,400	10,824	0,001
	Sıcaklık	1051,333	5	210,267	948,269	0,000
	Odun * Sıcaklık	5,200	5	1,040	4,690	0,000
	Hata	50,556	228	0,222		
	Toplam	17510,55	240			
	Düzeltilmiş Toplam	1109,489	239			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.2) ağırlık kaybı üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak ($P \leq 0,05$) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden ağırlık kaybı üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Gök nar ve kayın odunlarının ağırlık kayıpları ile DRM üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.3 ve 3.4’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Isıl işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri ($P \leq 0,05$)
Gök nar	Gruplar Arası	315,830	5	63,166	1896,4	0,000
	Gruplar İçi	3,797	114	0,033		
	Toplam	319,627	119			
Kayın	Gruplar Arası	635,459	5	127,092	7824,2	0,000
	Gruplar İçi	1,852	114	0,016		
	Toplam	637,310	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.3) gök nar ve kayın odununda ısı işlem sıcaklığının ağırlık kaybı üzerine etkisinin ($P \leq 0,05$) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Isıl işlemin DRM üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri ($P \leq 0,05$)
Gök nar	Gruplar Arası	457,867	5	91,573	312,563	0,000
	Gruplar İçi	33,399	114	0,293		
	Toplam	491,266	119			
Kayın	Gruplar Arası	598,667	5	119,733	795,577	0,000
	Gruplar İçi	17,157	114	0,150		
	Toplam	615,824	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.4) göknar ve kayın odununda ısıtım işlem sıcaklığının DRM üzerine etkisinin ($P \leq 0,05$) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Isıtım işleminin ağırlık kaybı ve DRM üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	N	Ağırlık kaybı (%)		Rutubet miktarı (%)	
				A.O	Eş grular	A.O	Eş gruplar
Göknar	Kontrol	-	20	-	-	11,8	a
	170	2	20	1,7001	a	9,3	b
	180	2	20	1,8011	a	8,2	c
	190	2	20	2,5019	b	7,2	d
	200	2	20	2,8053	c	6,5	e
	212	2	20	5,4024	d	6,0	f
Kayın	Kontrol	-	20	-	-	12,4	a
	170	2	20	1,2006	a	9,8	b
	180	2	20	2,6012	b	8,5	c
	190	2	20	3,3011	c	7,3	d
	200	2	20	3,8993	d	6,4	e
	212	2	20	7,3002	e	5,8	f

Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek ağırlık kaybının göknar ve kayın odununda 212 °C’de ısıtım işlem görmüş örneklerde, en düşük ağırlık kaybının ise 170 °C’de ısıtım işlem görmüş örneklerde olduğu belirlenmiştir. Göknar odununda 170 °C ile 180 °C arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Ancak diğer ısıtım işlem sıcaklıkları arasında fark gözlenmiştir. Kayın odununda ise ağırlık kaybı değerleri bakımından tüm ısıtım işlem sıcaklık değerleri arasında istatistiksel olarak fark olduğu belirlenmiştir.

En yüksek DRM her iki odunda da ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerinde tespit edilirken en düşük DRM 212 °C’de ısıtım işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Göknar ve kayın odunu denge rutubet miktarında tüm ısıtım işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark bulunmuştur.

3.1.2. Hava Kuruşu Yoğunluk

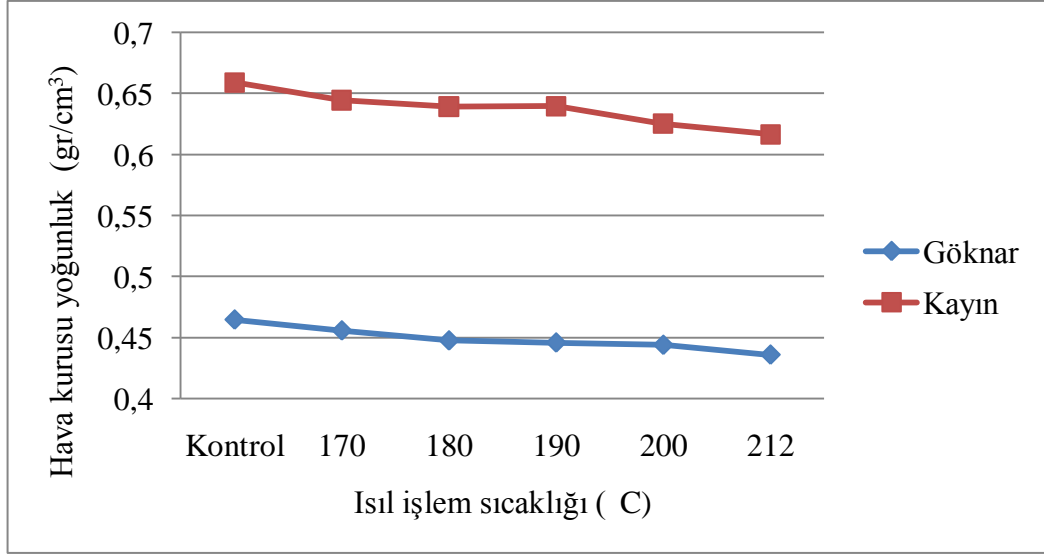
Göknaş ve kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısış işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin hava kuruşu yoğunluklarına ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Hava kuruşu yoğunluk değerleri

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Göknaş		Kayın	
			A.O (gr/cm ³)	S.S	A.O (gr/cm ³)	S.S
Kontrol	20	-	0,46450	0,047928	0,65892	0,035744
170	20	2	0,45560	0,019724	0,64441	0,037295
180	20	2	0,44740	0,015319	0,63918	0,037422
190	20	2	0,44570	0,035712	0,63960	0,039614
200	20	2	0,44380	0,027565	0,62514	0,025835
212	20	2	0,43580	0,033036	0,61655	0,029017

Hava kuruşu yoğunluk değerleri incelendiğinde ısış işlem sıcaklığı arttıkça yoğunluğun azaldığı görölmektedir. Göknaş odununda en yüksek yoğunluk (0,465 gr/cm³) ısış işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en düşük yoğunluk (0,436 gr/cm³) 212 °C ısış işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kayın odununda en yüksek yoğunluk (0,659 gr/cm³) ısış işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en düşük yoğunluk (0,617 gr/cm³) 212 °C ısış işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir.

Göknaş ve kayın odununda hava kuruşu yoğunluk değerlerinin ısış işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Hava kurusu yoğunluk değerlerinin ısıtım sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.3'deki grafikte de görüldüğü gibi ısıtım sıcaklığı arttıkça hava kurusu yoğunluk azalmaktadır.

Hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
Özgül Ağırlık	Odun Türü	2,132	1	2,132	1938,9	0,000
	Sıcaklık	0,030	5	0,006	5,495	0,000
	Odun * Sıcaklık	0,002	5	0,000	0,339	0,889
	Hata	0,251	228	0,001		
	Toplam	73,192	240			
	Düzeltilmiş Toplam	2,415	239			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.7) hava kurusu yoğunluk üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden yoğunluk kaybı

üzerine ısıtım işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Gökmar ve kayın odunlarının hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine, ısıtım işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.8’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Hava kurusu yoğunluğa ısıtım işlemin etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Gökmar	Gruplar Arası	0,010	5	0,002	1,978	0,087
	Gruplar İçi	0,115	114	0,001		
	Toplam	0,125	119			
Kayın	Gruplar Arası	0,022	5	0,004	3,712	0,004
	Gruplar İçi	0,136	114	0,001		
	Toplam	0,158	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.8) gökmar ve kayın odununda ısıtım işlem sıcaklığının yoğunluk değerleri üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.9. Isıtım işlemin hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık(°C)	N	Süre (Saat)	Gökmar		Kayın	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	20	-	0,46450	a	0,65892	a
170	20	2	0,45560	ab	0,64441	ab
180	20	2	0,44740	ab	0,63918	abc
190	20	2	0,44570	ab	0,63960	abc
200	20	2	0,44380	ab	0,62514	bc
212	20	2	0,43580	b	0,61655	c

Duncan testi sonuçlarına göre. Isıtım işlem görmüş örneklerde en yüksek yoğunluk değerlerinin gökmar ve kayın odununda 170 °C’de, en düşük yoğunluk değerlerinin

ise 212°C’de olduğu belirlenmiştir. Gök nar odununda kontrol örnekleri ile 212 °C’de ısı l işlem görmüş örnekler arasında istatistiksel olarak fark gözlenirken diğ er ısı l işlem sıcaklıkları arasında bir fark bulunmamıştır. Kayın odununda da 180 °C ve 190 °C’de ısı l işlem görmüş örnekler arasında istatistiksel olarak bir fark gözlenmezken diğ er varyasyonlar arasında istatistiksel olarak fark gözlenmiştir.

3.1.3. Boyutsal Değ iş im

Boyutsal değ iş im genişleme ve daralma yönünden incelenmiştir. Elde edilen bulgular genişleme ve daralma oranları başlıkları altında verilecektir.

3.1.3.1. Genişleme Oranları

Gök nar ve kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısı l işlem sonunda, ısı l işlem sıcaklığına bağı l olarak kontrol ve test örneklerinin genişleme yüzdelerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değ erleri Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Kontrol ve ısı l işleme tabi tutulmuş örneklerin genişleme yüzdeleri (%)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Teğ et genişleme (%)		Radyal genişleme (%)		Hacimsel genişleme (%)		Örnek Sayısı
		A.O	S.S	A.O	S.S	A.O	S.S	
Gök nar	Kontrol	9,9549	0,98176	4,3471	0,62592	14,3020	0,72972	20
	170	9,1358	0,60507	4,0023	0,36788	13,1382	0,69539	20
	180	7,9840	0,50906	3,2791	0,23010	11,2631	0,60997	20
	190	7,4837	0,33306	3,0962	0,25035	10,5799	0,42113	20
	200	6,9431	0,46024	2,9345	0,31345	9,8776	0,65516	20
	212	6,7377	0,37490	2,8257	0,30856	9,5633	0,57576	20
Kayın	Kontrol	15,8822	1,24782	5,0089	0,25219	20,8911	1,27353	20
	170	13,4525	0,12970	4,4570	0,25072	17,9095	0,31987	20
	180	10,9369	0,46938	3,6819	0,22560	14,6188	0,45770	20
	190	8,7720	0,56169	3,0111	0,22380	11,7831	0,61981	20
	200	7,3197	0,63601	2,8651	0,21788	10,1848	0,74433	20
	212	6,8734	0,37463	2,6789	0,22387	9,5523	0,47043	20

Genişleme yüzdeleri incelendiğinde, her iki ağaç türünde de ısıtım işlem sıcaklığı arttıkça genişleme yüzdelerinin azaldığı görülmektedir. Gökmar odununda hacimsel olarak en yüksek genişleme yüzdesi ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerinde % 14,3, en düşük genişleme yüzdesi ise 212 °C ısıtım işlem görmüş örneklerde % 9,6 olarak tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kayın odununda da hacimsel olarak en yüksek genişleme yüzdesi ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerinde % 20,9, en düşük genişleme yüzdesi ise 212 °C ısıtım işlem görmüş örneklerde % 9,6 olarak tespit edilmiştir.

Genişleme yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtım işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Genişleme yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtım işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0.05)
Teğet Genişleme	Odun Türü	374,875	1	374,875	955,715	0,000
	Sıcaklık	1175,795	5	235,159	599,520	0,000
	Odun * Sıcaklık	268,184	5	53,637	136,743	0,000
	Hata	89,432	228	0,392		
	Toplam	22619,776	240			
	Düzeltilmiş Toplam	1908,286	239			
Radyal Genişleme	Odun	2,473	1	2,473	25,553	0,000
	Sıcaklık	121,500	5	24,300	251,113	0,000
	Odun * Sıcaklık	5,932	5	1,186	12,261	0,000
	Hata	22,063	228	0,097		
	Toplam	3118,323	240			
	Düzeltilmiş Toplam	151,968	239			
Hacimsel Genişleme	Odun	438,241	1	438,241	970,385	0,000
	Sıcaklık	2049,728	5	409,946	907,733	0,000
	Odun * Sıcaklık	351,603	5	70,321	155,709	0,000
	Hata	102,968	228	0,452		
	Toplam	42296,814	240			
	Düzeltilmiş Toplam	2942,541	239			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.11) genişleme yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtma işlem sıcaklığının 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğundan ısıtma işleminin etkisi odun türleri teker teker ele alınarak incelenmiştir.

Gökmar odununun genişleme yüzdesi üzerine, ısıtma işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.12’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.13’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Gökmar odununda ısıtma işleminin genişleme yüzdelerinin üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	161,593	5	32,319	94,480	0,000
	Gruplar İçi	38,996	114	0,342		
	Toplam	200,588	119			
Radyal	Gruplar Arası	38,241	5	7,648	54,879	0,000
	Gruplar İçi	15,888	114	0,139		
	Toplam	54,129	119			
Hacimsel Genişleme	Gruplar Arası	356,155	5	71,231	183,726	0,000
	Gruplar İçi	44,198	114	0,388		
	Toplam	400,353	119			

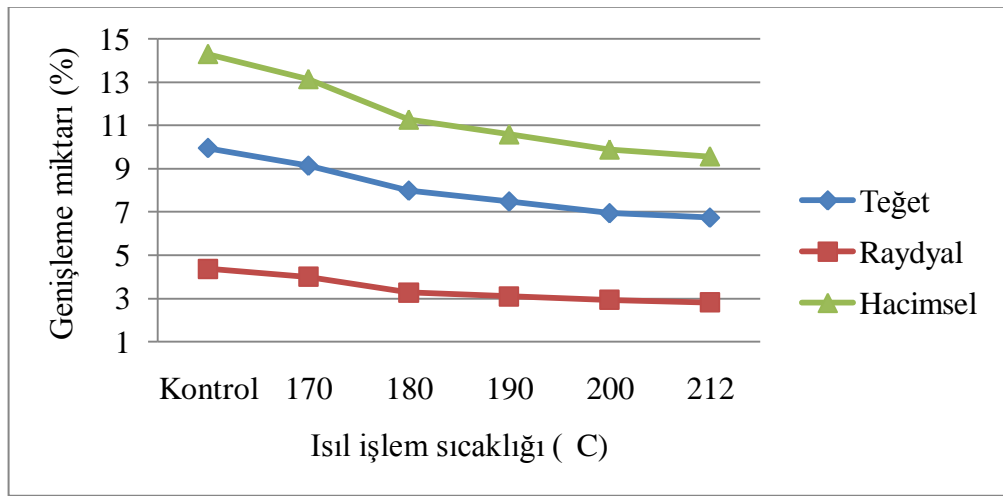
BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.12) gökmar odununda ısıtma işlem sıcaklığının genişleme yüzdesi üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.13. Isıtma işleminin gökmar odunu genişleme yüzdelerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Teğet genişleme		Radyal genişleme		Hacimsel genişleme	
		A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	20	9,9549	a	4,3471	a	14,3020	a
170	20	9,1358	b	4,0023	b	13,1382	b
180	20	7,9840	c	3,2791	c	11,2631	c
190	20	7,4837	d	3,0962	cd	10,5799	d
200	20	6,9431	e	2,9345	de	9,8776	e
212	20	6,7377	e	2,8257	e	9,5633	e

Duncan testi sonuçlarına göre göknar odunu, teğet, radyal ve hacimsel genişleme yüzdelinde en fazla azalma 212°C’de, en az azalma ise 170°C’de, ısı işlem görmüş örneklerde görülmüştür. Teğet yöndeki genişleme ve hacimsel genişleme yüzdeleri incelendiğinde 200 °C ile 212 °C arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmazken diğer ısı işlem sıcaklıkları arasında fark gözlenmiştir.

Göknar odununda genişleme yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Göknar odununda genişleme yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.4’de de görüldüğü gibi göknar odununda ısı işlem sıcaklığı arttıkça genişleme yüzdeleri azalmakta ve boyutsal stabilizasyonu artmaktadır.

Kayın odununun genişleme yüzdeleri üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.14’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.15’de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Kayın odununda ısıtıl işlemin genişleme yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	1282,386	5	256,477	579,709	0,000
	Gruplar İçi	50,436	114	0,442		
	Toplam	1332,822	119			
Radyal	Gruplar Arası	89,191	5	17,838	329,23	0,000
	Gruplar İçi	6,176	114	0,054		
	Toplam	95,367	119			
Hacimsel Genişleme	Gruplar Arası	2045,176	5	409,035	793,43	0,000
	Gruplar İçi	58,770	114	0,516		
	Toplam	2103,947	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.14) kayın odununda ısıtıl işlem sıcaklığının genişleme yüzdeleri üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

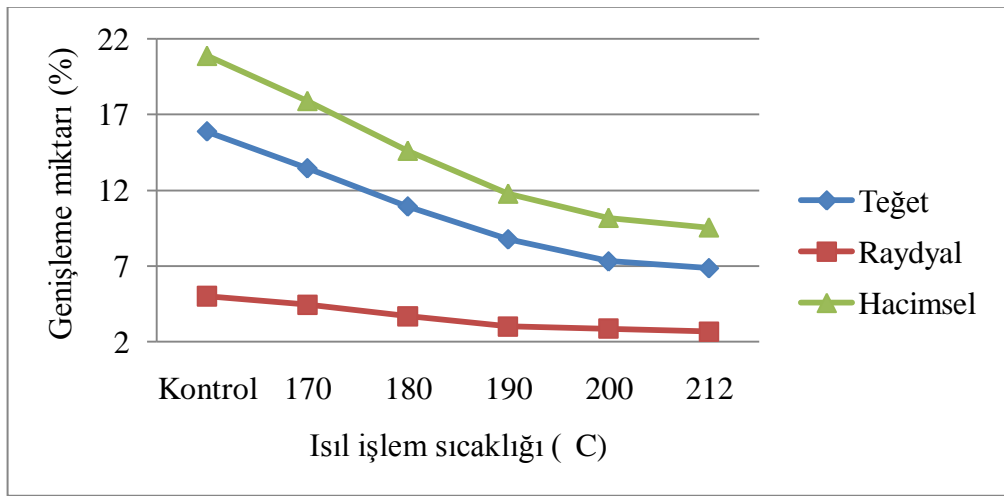
Çizelge 3.15. Kayın odununda ısıtıl işlemin genişleme yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Teğet		Radyal		Hacimsel Şişme	
		A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	20	15,8822	a	5,0089	a	20,8911	a
170	20	13,4525	b	4,4570	b	17,9095	b
180	20	10,9369	c	3,6819	c	14,6188	c
190	20	8,7720	d	3,0111	d	11,7831	d
200	20	7,3197	e	2,8651	e	10,1848	e
212	20	6,8734	f	2,6789	f	9,5523	f

Duncan testi sonuçlarına göre kayın odunu teğet, radyal ve hacimsel genişleme yüzdelerinde, en fazla azalma 212°C’de, en az azalma ise 170°C’de, ısıtıl işlem görmüş örneklerde görülmüştür. Teğet, radyal ve hacimsel genişleme yüzdeleri incelendiğinde ise tüm ısıtıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark gözlenmiştir.

Isıl işlemin genişleme üzerindeki etkisi her iki odun türünde de benzer özellik göstermiştir. Duncan testi sonuçlarında da görüldüğü gibi kontrol örneklerinin genişleme yüzdeleri ısı işlem görmüş olanlara kıyasla oldukça yüksektir. Ayrıca, ısı işlem sıcaklığının artışı ile birlikte genişleme yüzdeleri önemli oranda düşüş göstermektedir.

Kayın odununda genişleme yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Kayın odunu genişleme yüzdesinin ısı işlem sıcaklığına göre değişimi

Şekil 3.5’de de görüldüğü gibi kayın odununda ısı işlem sıcaklığı arttıkça genişleme yüzdeleri azalmakta ve boyutsal stabilizasyon artmaktadır.

3.1.3.2. Daralma Oranları

Gök nar ve kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısı işlem sonunda, ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak test örneklerinin daralma yüzdelerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Kontrol ve ısıtılma tabi tutulmuş örneklerin daralma yüzdeleri (%)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Teğet (%)		Radyal (%)		Hacimsel (%)		Örnek Sayısı
		A.O	S.S	A.O	S.S	A.O	S.S	
Göknaar	Kontrol	9,0491	0,54147	3,8088	0,24148	12,8579	0,47675	20
	170	8,8624	0,54788	3,4740	0,13108	12,3364	0,60680	20
	180	8,8346	0,32322	3,2421	0,15071	12,0767	0,38605	20
	190	8,1664	0,37946	3,0018	0,17757	11,1682	0,48388	20
	200	6,9654	0,28343	2,8208	0,17802	9,7861	0,29436	20
	212	6,2154	0,26135	2,6911	0,10666	8,9065	0,26129	20
Kayın	Kontrol	13,0211	1,02567	5,1684	0,29477	18,1895	1,13386	20
	170	11,9674	0,30169	4,6685	0,18185	16,6359	0,41061	20
	180	10,7065	0,57505	3,4247	0,15763	14,1312	0,61997	20
	190	8,8541	0,70014	3,1224	0,27016	11,9765	0,89163	20
	200	6,5287	0,45198	2,8401	0,20391	9,3688	0,54738	20
	212	6,1172	0,26112	2,6817	0,13755	8,7989	0,31505	20

Daralma yüzdeleri incelendiğinde, her iki ağaç türünde de ısıtılma sıcaklığı arttıkça daralma yüzdelerinin azaldığı görülmektedir. Göknaar odununda hacimsel olarak en yüksek daralma yüzdesi ısıtılma görmemiş kontrol örneklerinde % 12,9, en düşük daralma yüzdesi ise 212 °C ısıtılma görmüş örneklerde % 8,9 olarak tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kayın odununda da hacimsel olarak en yüksek daralma yüzdesi ısıtılma görmemiş kontrol örneklerinde % 18,2, en düşük daralma yüzdesi ise 212 °C ısıtılma görmüş örneklerde % 8,8 olarak tespit edilmiştir.

Daralma yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtılma sıcaklığını etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Daralma yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtma işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
Teğet Daralma	Odun Türü	138,066	1	138,066	513,445	0,000
	Sıcaklık	791,056	5	158,211	588,361	0,000
	Odun * Sıcaklık	157,885	5	31,577	117,429	0,000
	Hata	61,310	228	0,269		
	Toplam	19624,4	240			
	Düzeltilmiş Toplam	1148,3	239			
Radyal Daralma	Odun	13,701	1	13,701	364,487	0,000
	Sıcaklık	103,483	5	20,697	550,573	0,000
	Odun * Sıcaklık	19,534	5	3,907	103,931	0,000
	Hata	8,571	228	0,038		
	Toplam	2939,4	240			
	Düzeltilmiş Toplam	145,290	239			
Hacimsel Daralma	Odun	238,755	1	238,755	687,707	0,000
	Sıcaklık	1422,6	5	284,525	819,542	0,000
	Odun * Sıcaklık	280,96	5	56,192	161,855	0,000
	Hata	79,156	228	0,347		
	Toplam	37661,5	240			
	Düzeltilmiş Toplam	2021,5	239			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.17) daralma yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtma işlem sıcaklığının 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğundan ısıtma işleminin etkisi odun türleri teker teker ele alınarak incelenmiştir.

Göknaar odununun daralma yüzdesi üzerine, ısıtma işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.18’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.18. Gök nar odununda ısı l iş lemin daralma yü zdeleri ü zere et kisine ili ŷkin BVA son uç ları

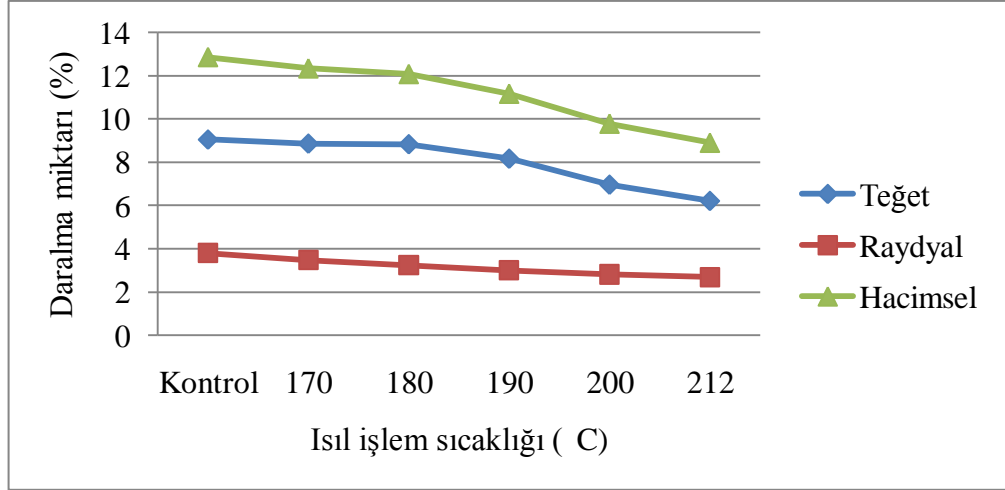
		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P de ğ eri (P≤0,05)
Te ğ et	Gruplar Arası	136,445	5	27,289	165,312	0,000
	Gruplar İ ç i	18,819	114	0,165		
	Toplam	155,264	119			
Radyal	Gruplar Arası	17,706	5	3,541	122,952	0,000
	Gruplar İ ç i	3,283	114	0,029		
	Toplam	20,989	119			
Hacimsel Daralma	Gruplar Arası	241,361	5	48,272	255,497	0,000
	Gruplar İ ç i	21,538	114	0,189		
	Toplam	262,899	119			

BVA son uç larına g ö re (Ç izelge 3.18) g ö knar odununda ısı l iş lem sıcaklı ğ ının daralma yü zdesi ü zere et kisinin (P≤0,05) ö nemli oldu ğ u belirlenmi ŷtir.

Ç izelge 3.19. Gök nar odununda ısı l iş lemin daralma yü zdeleri ü zere et kisine ili ŷkin Duncan testi son uç ları

Sıcaklık (°C)	N	Te ğ et		Radyal		Hacimsel	
		A.O	E ŷ Gruplar	A.O	E ŷ Gruplar	A.O	E ŷ Gruplar
Kontrol	20	9,0491	a	3,8088	a	12,8579	a
170	20	8,8624	a	3,4740	b	12,3364	b
180	20	8,8346	a	3,2421	c	12,0767	b
190	20	8,1664	b	3,0018	d	11,1682	c
200	20	6,9654	c	2,8208	e	9,7861	d
212	20	6,2154	d	2,6911	f	8,9065	e

Duncan testi son uç larına g ö re g ö knar odunu, te ğ et, radyal ve hacimsel daralma yü zdelerinde en fazla azalma 212°C'de, en az azalma ise 170°C'de ısı l iş lem g ö rmü ŷ ö rneklerde g ö rü lmü ŷtür. Te ğ et y ö ndeki daralma yü zdeleri incelendi ğ inde kontrol ö rnekleri ile 170 ve 180 °C'de ısı l iş lem g ö rmü ŷ ö rnekler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmazken di ğ er sıcaklı klar arasında fark g ö zlenmi ŷtir. Radyal y ö ndeki daralma yü zdeleri incelendi ğ inde ise t ü m sıcaklı klar arasındaki istatistiksel olarak bir fark oldu ğ u g ö zlenmi ŷtir.



Şekil 3.6. Gök nar odununda daralma yüzdelerinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.6’da da görüldüğü gibi gök nar odununda ısıl işlem sıcaklığı arttıkça daralma yüzdeleri azalmakta ve boyutsal kararlılık artmaktadır.

Kayın odununun daralma yüzdesi üzerine, ısıl işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.20’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.21’de verilmiştir.

Çizelge 3.20. Kayın odununda ısıl işlemin daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	812,496	5	162,499	435,973	0,000
	Gruplar İçi	42,491	114	0,373		
	Toplam	854,987	119			
Radyal	Gruplar Arası	105,312	5	21,062	454,114	0,000
	Gruplar İçi	5,287	114	0,046		
	Toplam	110,599	119			
Hacimsel Daralma	Gruplar Arası	1462,226	5	292,445	578,621	0,000
	Gruplar İçi	57,618	114	0,505		
	Toplam	1519,843	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.20) kayın odununda ısıl işlem sıcaklığının daralma yüzdesi üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

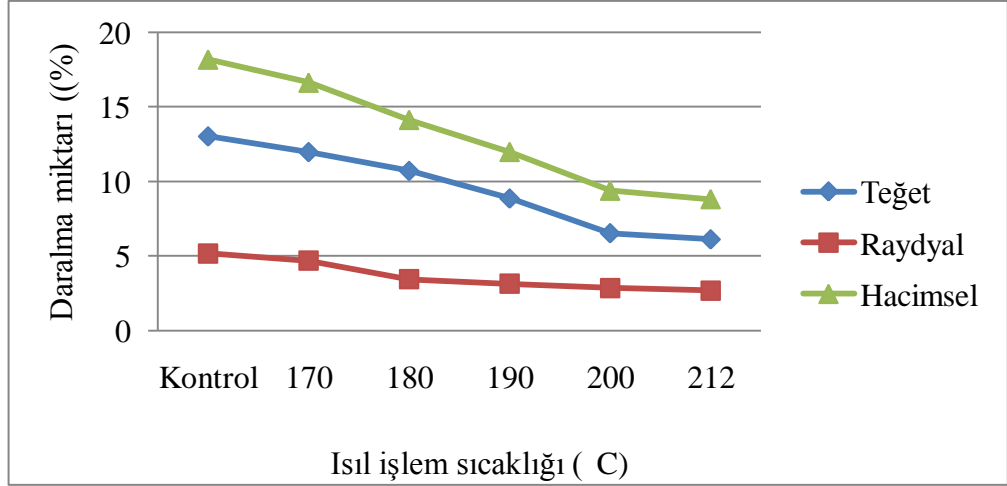
Çizelge 3.21. Kayın odununda ısıtıl işlemin daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Teğet		Radyal		Hacimsel Daralma	
		A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	20	13,0211	a	5,1684	a	18,1895	a
170	20	11,9674	b	4,6685	b	16,6359	b
180	20	10,7065	c	3,4247	c	14,1312	c
190	20	8,8541	d	3,1224	d	11,9765	d
200	20	6,5287	e	2,8401	e	9,3688	e
212	20	6,1172	f	2,6817	f	8,7989	f

Duncan testi sonuçlarına göre kayın odunu, teğet, radyal ve hacimsel daralma yüzdelerinde en fazla azalma 212 °C’de, en az azalma ise 170 °C’de ısıtıl işlem görmüş örneklerde görülmüştür. Teğet, radyal ve hacimsel daralma yüzdeleri incelendiğinde tüm ısıtıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark olduğu gözlenmiştir.

Isıtıl işlemin daralma yüzdeleri üzerindeki etkisi her iki odun türünde de benzer özellik göstermiştir. Duncan testi sonuçlarında da görüldüğü gibi kontrol örneklerinin daralma yüzdeleri ısıtıl işlem görmüş olanlara kıyasla oldukça yüksektir. Ayrıca, ısıtıl işlem sıcaklığının artışı ile birlikte daralma yüzdelerinde de önemli oranda düşüş göstermektedir.

Kayın odununda daralma yüzdelerinin ısıtıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.7’de verilmiştir



Şekil 3.7. Kayın odununda daralma yüzdelерinin ısıl işlem sıcaklığına bağı olarak değişimi

Şekil 3.7’de de görüldüğü gibi kayın odununda ısıl işlem sıcaklığı arttıkça daralma yüzdeleri azalmakta ve boyutsal stabilizasyon artmaktadır.

3.1.4. Renk Değişimi

Gök nar ve kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonunda, sıcaklığa bağı olarak test örneklerinin renk değişimine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.22’de verilmiştir.

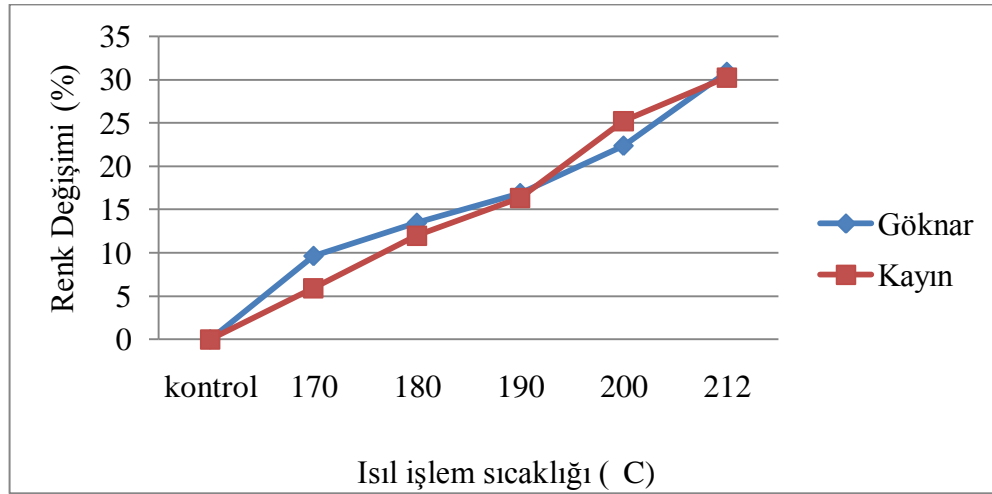
Çizelge 3.22. Isıl işleme tabi tutulmuş örneklerin toplam renk değişimi

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Gök nar		Kayın	
			A.O	S.S	A.O	S.S
170	20	2	9,6289	0,87186	5,9087	1,88983
180	20	2	13,4502	1,22712	11,9866	1,56254
190	20	2	16,8731	1,84788	16,3577	1,16582
200	20	2	22,3469	1,88629	25,2143	0,64598
212	20	2	30,8629	1,45988	30,2530	0,80999

Renk değişimi değerleri incelendiğinde ısıl işlem sıcaklığı arttıkça rengin koyulaştığı görülmektedir. Gök nar odunun da en yüksek renk değişimi (30,9) 212 °C’de ısıl işlem gören örneklerde; en düşük (9,6) 170 °C’de ısıl işlem gören örneklerde tespit

edilmiştir. Kayın odunun da en yüksek renk değişimi (30,3) 212 °C’de ısıl işlem gören örneklerde; en düşük (5,9) 170 °C’de ısıl işlem gören örneklerde tespit edilmiştir.

Gök nar ve kayın odununda ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen renk değişimi şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen renk değişimi

Renk değişimi üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.23’de verilmiştir.

Çizelge 3.23. Renk değişimi üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Toplam Renk Değişimi	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
	Odun Türü	4,936	1	4,936	2,989	0,090
Sıcaklık	6039,079	5	1207,816	731,438	0,000	
Odun * Sıcaklık	57,168	5	11,434	6,924	0,000	
Hata	79,262	48	1,651			
Toplam	20116,232	60				
Düzeltilmiş Toplam	6180,444	59				

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.23) toplam renk değişimi değerleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğundan ısı işlemin etkisi odun türleri teker teker ele alınarak incelenmiştir.

Gök nar ve kayın odununun toplam renk değişimi değerleri üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.24’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.25’de verilmiştir.

Çizelge 3.24. Isıl işlemin renk değişimi üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Gök nar	Gruplar Arası	2818,504	5	563,701	297,468	0,000
	Gruplar İçi	45,480	24	1,895		
	Toplam	2863,984	29			
Kayın	Gruplar Arası	3277,743	5	655,549	465,726	0,000
	Gruplar İçi	33,782	24	1,408		
	Toplam	3311,525	29			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.24) gök nar ve kayın odununda ısı işlem sıcaklığının renk değişimi üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.25. Isıl işlemin renk değişimi üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Gök nar		Kayın	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
170	20	2	9,6289	a	5,9087	a
180	20	2	13,4502	b	11,9866	b
190	20	2	16,8731	c	16,3577	c
200	20	2	22,3469	d	25,2143	d
212	20	2	30,8629	e	30,2530	e

Duncan testi sonuçlarına göre göknar ve kayın odunu toplam renk değişiminde en fazla artış 212 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde, en az artış ise 170 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde tüm ısıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark olduğu gözlenmiştir.

3.1.5. Isı İletkenliği

Göknar ve kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin ısı iletkenliğine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.26’da verilmiştir.

Çizelge 3.26. Isı iletkenliği değerleri (W/m-K)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Örnek Sayısı	Süre (Saat)	Teğet Yön (W/m-K)		Radyal Yön (W/m-K)	
				A.O	S.S	A.O	S.S
Göknar	Kontrol	5	-	0,129651	0,0004459	0,136187	0,0016813
	170	5	2	0,126651	0,0010817	0,132977	0,0015746
	180	5	2	0,123650	0,0025880	0,129395	0,0014258
	190	5	2	0,121952	0,0009647	0,126976	0,0014835
	200	5	2	0,120184	0,0007055	0,124883	0,0025151
	212	5	2	0,119161	0,0028076	0,123511	0,0009765
Kayın	Kontrol	5	-	0,182428	0,0015177	0,191127	0,0033823
	170	5	2	0,178986	0,0010304	0,186662	0,0011276
	180	5	2	0,176241	0,0012187	0,181754	0,0015891
	190	5	2	0,171752	0,0020908	0,175101	0,0018619
	200	5	2	0,161680	0,0040013	0,162448	0,0023981
	212	5	2	0,155586	0,0012041	0,156354	0,0038066

Isı iletkenliği değerleri incelendiğinde ısıl işlem sıcaklığı arttıkça ısı iletkenliğinin azaldığı görülmektedir. Göknar odununda en çok ısı iletkenliği ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde, teğet yönde 0,129651 W/m-K, radyal yönde 0,136187 W/m-K olarak gözlenirken, en az ısı iletkenliği ise 212 °C’de ısıl işlem görmüş test örneklerinde, teğet yönde 0,119161W/m-K, radyal yönde 0,123511 W/m-K olarak

gözlenmiştir. Yine kayın odununda da en çok ısı iletkenliği ısııl işlem görmemiş kontrol örneklerinde, teğet yönde 0,182428 W/m-K, radyal yönde 0,191127 W/m-K olarak gözlenirken, en az ısı iletkenliği ise 212 °C’de ısııl işlem görmüş test örneklerinde, teğet yönde 0,155586 W/m-K, radyal yönde 0,156354 W/m-K olarak gözlenmiştir.

Isı iletkenliği üzerine odun türü ve ısııl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.27’de verilmiştir.

Çizelge 3.27. Isı iletkenliği üzerine odun türü ve ısııl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
Teğet Yöndeki Isı iletkenliği	Odun Türü	0,034	1	0,034	9244,970	0,000
	Sıcaklık	0,003	5	0,001	137,872	0,000
	Odun * Sıcaklık	0,001	5	0,000	32,833	0,000
	Hata	0,000	48	3,672E-6		
	Toplam	1,340	60			
	Düzeltilmiş Toplam	0,037	59			
Radyal Yöndeki Isı iletkenliği	Odun Türü	0,033	1	0,033	7005,350	0,000
	Sıcaklık	0,004	5	0,001	183,071	0,000
	Odun * Sıcaklık	0,001	5	0,000	45,848	0,000
	Hata	0,000	48	4,647E-6		
	Toplam	1,429	60			
	Düzeltilmiş Toplam	0,038	59			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.27) ısı iletkenliği üzerine odun türü ve ısııl işlem sıcaklığının, etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğundan ısııl işlemin etkisi odun türleri teker teker ele alınarak incelenmiştir.

Göknaar odununun ısı iletkenliği üzerine, ısııl işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.28’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.29’da verilmiştir.

Çizelge 3.28. Göknar odununda ısıl işlemin teğet ve radyal yöndeki ısı iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	0,000	5	0,000	27,619	0,000
	Gruplar İçi	0,000	24	0,000		
	Toplam	0,000	29			
Radyal	Gruplar Arası	0,001	5	0,000	42,384	0,000
	Gruplar İçi	0,000	24	0,000		
	Toplam	0,001	29			

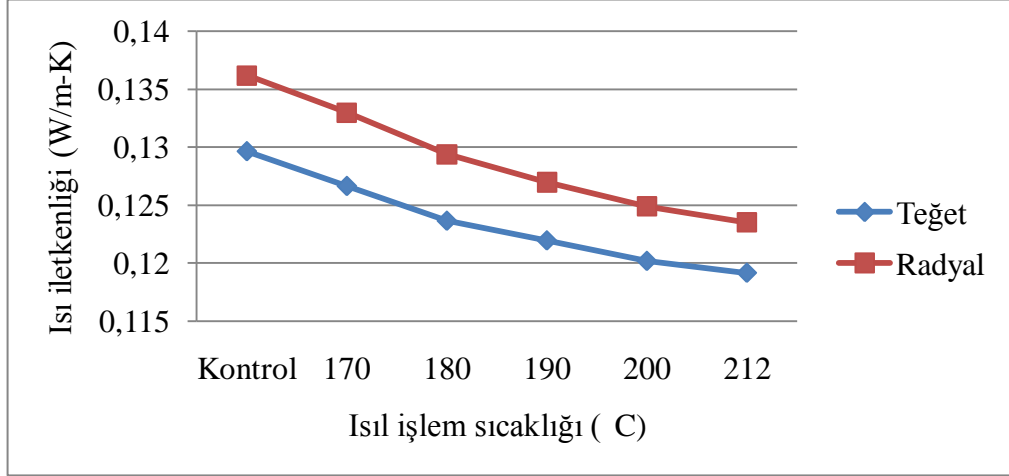
BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.28) ısıl işlem sıcaklığının göknar odununda teğet ve radyal yöndeki ısı iletkenliği üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.29. Göknar odununda ısıl işlemin ısı iletkenliği üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Teğet Yön (W/m-K)		Radyal Yön (W/m-K)	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	5	-	0,129651	a	0,136187	a
170	5	2	0,126651	b	0,132977	b
180	5	2	0,123650	c	0,129395	c
190	5	2	0,121952	cd	0,126976	d
200	5	2	0,120184	de	0,124883	de
212	5	2	0,119161	e	0,123511	e

Duncan testi sonuçlarına göre göknar odunu, teğet ve radyal yöndeki ısı iletkenliği miktarları en çok kontrol örneklerinde tespit edilmiş, en az ise 212 °C'de ısıl işlem görmüş test örneklerinde görülmüştür. Teğet ve radyal yöndeki ısı iletkenliği incelendiğinde ısıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak bir fark olduğu gözlenmiştir.

Göknar odununda ısı iletkenliğinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Göknar odununda ısı iletkenliğinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi göknar odununda ısı iletkenliği ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak azalarak daha yalıtkan bir nesne haline gelmektedir.

Kayın odununun ısı iletkenliği üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.30’da ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.31’de verilmiştir.

Çizelge 3.30. Kayın odununda ısı işleminin teğet ve radyal yöndeki ısı iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	0,003	5	0,001	122,954	0,000
	Gruplar İçi	0,000	24	0,000		
	Toplam	0,003	29			
Radyal	Gruplar Arası	0,003	0,005	5	0,001	145,587
	Gruplar İçi	0,000	0,000	24	0,000	
	Toplam	0,003	0,005	29		

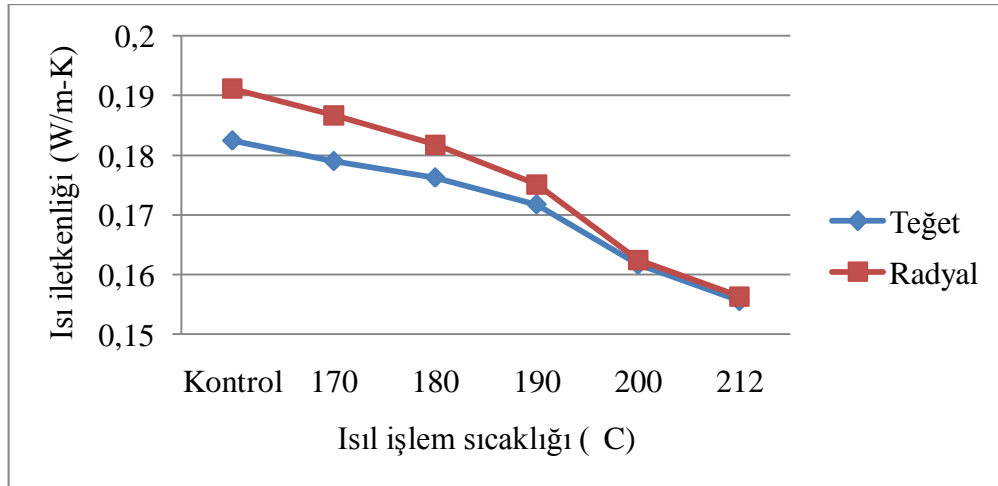
BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.30) ısı işlem sıcaklığının kayın odununda teğet ve radyal yöndeki ısı iletkenliği üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.31. Kayın odununda ısıl işlemin ısıl iletkenliği üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Teğet Yön (W/m-K)		Radyal Yön (W/m-K)	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	5	-	0,182428	a	0,191127	a
170	5	2	0,178986	b	0,186662	b
180	5	2	0,176241	b	0,181754	c
190	5	2	0,171752	c	0,175101	d
200	5	2	0,161680	d	0,162448	e
212	5	2	0,155586	e	0,156354	f

Duncan testi sonuçlarına göre kayın odunu, teğet ve radyal yöndeki ısıl iletkenliği miktarları en çok kontrol örneklerinde tespit edilmiş, en az ise 212°C’de ısıl işlem görmüş test örneklerinde görülmüştür. Teğet ve radyal yöndeki ısıl iletkenliği incelendiğinde ısıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak bir fark olduğu gözlenmiştir.

Kayın odununda ısıl iletkenliğinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Kayın odununda ısıl iletkenliğinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi kayın odununda ısı iletkenliği ısıtma işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak azalarak daha yalıtkan bir nesne haline gelmektedir.

3.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

3.2.1. Liflere Paralel Basınç Direnci

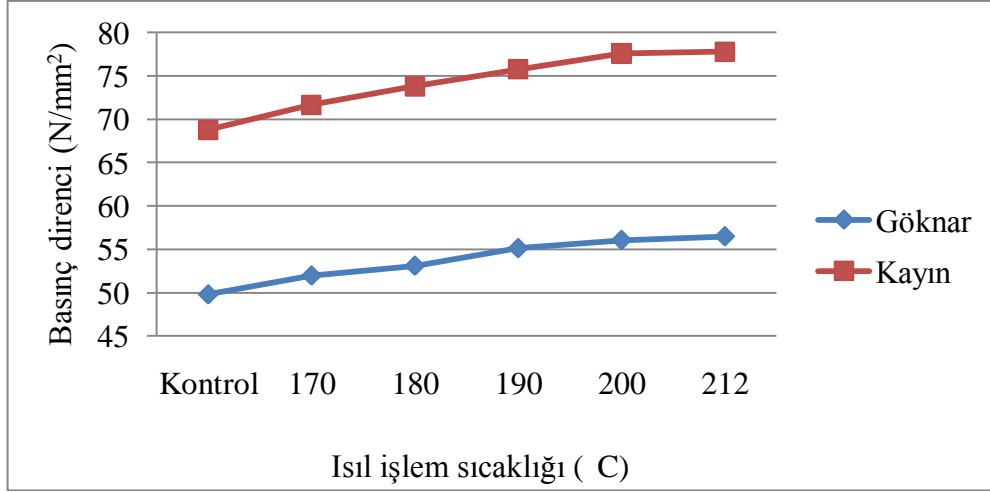
Gök nar ve kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıtma işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin liflere paralel basınç dirençlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.32’de verilmiştir.

Çizelge 3.32. Liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm²)

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Gök nar		Kayın	
			A.O	S.S	A.O	S.S
Kontrol	20	-	49,7810	4,75234	68,7595	3,86193
170	20	2	51,9535	1,37551	71,6355	1,28851
180	20	2	53,0825	1,40256	73,7705	3,18746
190	20	2	55,1035	1,31651	75,7475	2,75444
200	20	2	56,0430	1,66077	77,5710	3,64549
212	20	2	56,4635	5,96756	77,7110	4,95850

Liflere paralel basınç direnci değerleri incelendiğinde ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça basınç direncinin arttığı görülmektedir. Gök nar odununda en yüksek basınç direnci (56,5 N/mm²) 212 °C’de ısıtma işlem görmüş örneklerde, en düşük ise (49,8 N/mm²) ısıtma işlem görmemiş kontrol örneklerinde tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kayın odununda da en yüksek basınç direnci (77,7 N/mm²) 212 °C’de ısıtma işlem görmüş örneklerde, en düşük basınç direnci de (68,8 N/mm²) ısıtma işlem görmemiş kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

Gök nar ve kayın odununda liflere paralel basınç direncinin ısıtma işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Liflere paralel basınç direncinin ısıl işlem sıcaklığına göre değişimi

Şekil 3.11’de de görüldüğü gibi ısıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak basınç direncide artmaktadır.

Basınç dirençleri üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.33’de verilmiştir.

Çizelge 3.33. Basınç dirençleri üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
Odun Türü	25119,9	1	25119,970	2172,616	0,000
Sıcaklık	1878,8	5	375,766	32,500	0,000
Odun * Sıcaklık	47,6	5	9,529	0,824	0,534
Hata	2636,2	228	11,562		
Toplam	1011755,2	240			
Düzeltilmiş Toplam	29682,6	239			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.33) liflere paralel basınç direnci üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden liflere paralel basınç direnci üzerine ısıl işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Gök nar ve kayın odunlarının liflere paralel basınç dirençleri üzerine, ısı l işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.34’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.35’de verilmiştir.

Çizelge 3.34. Isıl işlemin basınç dirençleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0.05)
Gök nar	Gruplar Arası	677,559	5	135,512	12,218	0,000
	Gruplar İçi	1264,394	114	11,091		
	Toplam	1941,952	119			
Kayın	Gruplar Arası	1248,914	5	249,783	20,758	0,000
	Gruplar İçi	1371,761	114	12,033		
	Toplam	2620,675	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.34) gök nar ve kayın odununda ısı l işlem sıcaklığının liflere paralel basınç direnci üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.35. Isıl işlemin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Gök nar		Kayın	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	20	-	49,7810	a	68,7595	a
170	20	2	51,9535	b	71,6355	b
180	20	2	53,0825	bc	73,7705	bc
190	20	2	55,1035	cd	75,7475	cd
200	20	2	56,0430	d	77,5710	d
212	20	2	56,4635	d	77, 7110	d

Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek liflere paralel basınç direncinin gök nar ve kayın odununda 212°C’de ısı l işlem görmüş örneklerde, en düşük liflere paralel basınç direncinin ise ısı l işlem görmemiş kontrol örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Her iki

ağaç türünde de 200°C ile 212°C arasında istatistiksel olarak fark bulunmazken diğer ısı işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel anlamda bir fark olduğu gözlenmiştir.

3.2.2. Eğilme Direnci

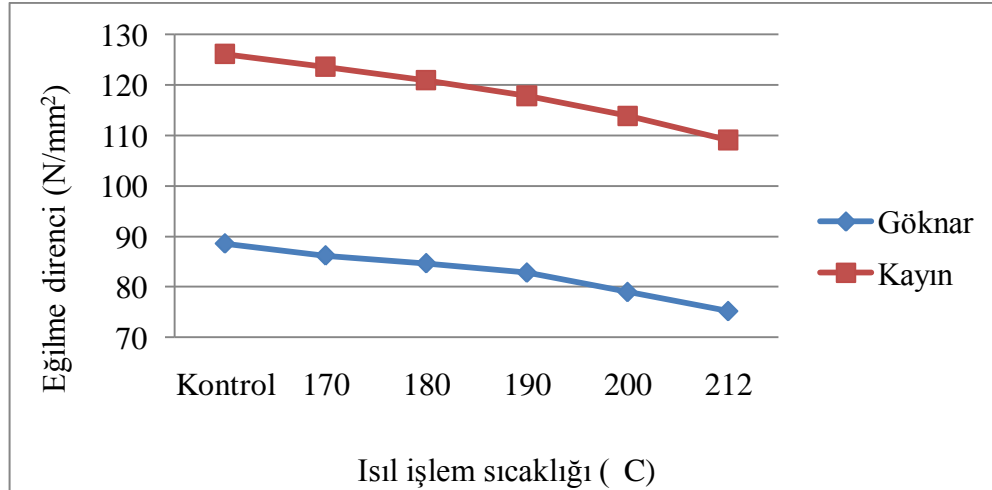
Gök nar ve Kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısı işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin eğilme dirençlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.36’da verilmiştir.

Çizelge 3.36. Eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Gök nar		Kayın	
			A.O	S.S	A.O	S.S
Kontrol	20	-	88,550	6,7129	126,115	5,2426
170	20	2	86,195	8,3119	123,565	18,2258
180	20	2	84,665	9,1137	120,895	12,3750
190	20	2	82,810	9,3500	117,835	8,5594
200	20	2	78,995	9,5073	113,845	16,6643
212	20	2	75,235	16,1930	109,090	9,9458

Eğilme direnci değerleri incelendiğinde ısı işlem sıcaklığı arttıkça eğilme direncinin azaldığı görülmektedir. Gök nar odununda en yüksek eğilme direnci (88,6 N/mm²) ısı işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en düşük eğilme direnci (75,2 N/mm²) 212°C ısı işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kayın odununda en yüksek eğilme direnci (126,1 N/mm²) ısı işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en düşük eğilme direnci (109,1 N/mm²) 212°C ısı işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir.

Şekil 3.12’de ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak gök nar ve kayın odununun eğilme direnci değerleri verilmiştir.



Şekil 3.12. Göknar ve kayın odununda eğilme direncinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.12'deki grafikte de görüldüğü gibi ısıl işlem sıcaklığı arttıkça eğilme direnci azalmaktadır.

Eğilme direnci üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.37'de verilmiştir.

Çizelge 3.37. Eğilme direnci üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Eğilme direnci	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
	Odun Türü	76966,4	1	76966,4	577,3	0,000
Sıcaklık	6284,9	5	1256,9	9,4	0,000	
Odun * Sıcaklık	110,5	5	22,099	0,17	0,975	
Hata	30398,5	228	133,3			
Toplam	2545041,6	240				
Düzeltilmiş Toplam	113760,4	239				

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.37) eğilme direnci üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden eğilme direnci

üzerine ısıtım işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Gökmar ve kayın odunlarının eğilme dirençleri üzerine, ısıtım işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.38’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.39’da verilmiştir.

Çizelge 3.38. Isıtım işlemin eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Gökmar	Gruplar Arası	2395,074	5	479,015	4,510	0,001
	Gruplar İçi	12107,438	114	106,206		
	Toplam	14502,512	119			
Kayın	Gruplar Arası	4000,360	5	800,072	4,986	0,000
	Gruplar İçi	18291,053	114	160,448		
	Toplam	22291,413	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.38) gökmar ve kayın odununda ısıtım işlem sıcaklığının eğilme direnci üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.39. Isıtım işlemin eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Gökmar		Kayın	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	20	-	49,7810	a	68,7595	a
170	20	2	51,9535	a	71,6355	a
180	20	2	53,0825	ab	73,7705	ab
190	20	2	55,1035	ab	75,7475	ab
200	20	2	56,0430	bc	77,7110	bc
212	20	2	56,4635	c	77,5710	c

Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek eğilme direncinin göknar ve kayın odununda ısıtıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde, en düşük eğilme direncinin ise 212°C’de ısıtıl işlem görmüş örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Göknar ve kayın odununda kontrol örnekleri ile 170°C’de ısıtıl işlem görmüş örnekler arasında istatistiksel olarak bir fark gözlenmemiştir. Yine 180°C’de ısıtıl işlem görmüş örneklerle 190°C’de ısıtıl işlem görmüş örnekler arasında istatistiksel olarak bir fark gözlenmezken, diğer varyasyonlar arasında istatistiksel olarak bir fark vardır.

3.2.3. Elastikiyet Modülü

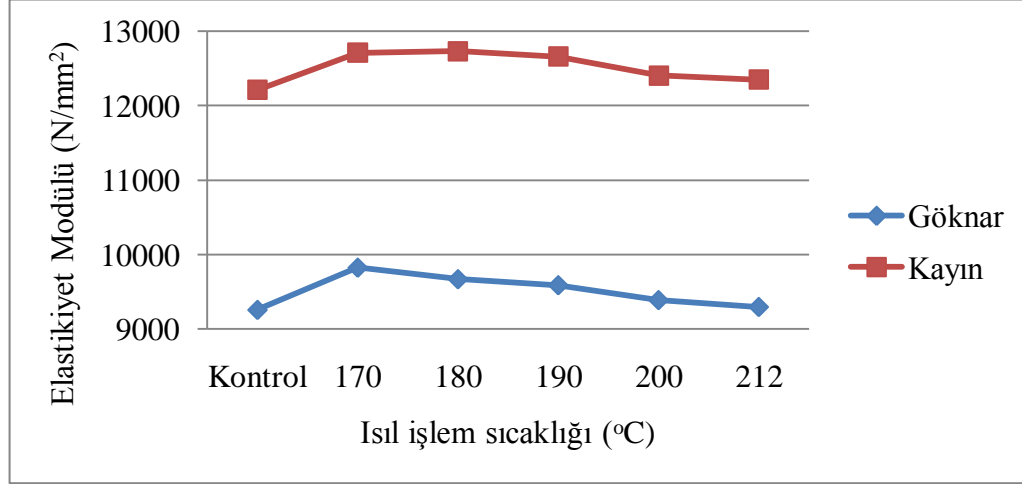
Göknar ve kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıtıl işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin elastikiyet modülüne ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.40’da verilmiştir.

Çizelge 3.40. Elastikiyet modülü değerleri (N/mm²)

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Göknar		Kayın	
			A.O	S.S	A.O	S.S
Kontrol	20	-	9254,425	1044,4723	12210,540	773,5567
170	20	2	9964,700	855,8825	12712,380	1211,4139
180	20	2	9668,615	1258,7876	12730,100	994,7751
190	20	2	9587,800	947,4198	12658,680	803,8253
200	20	2	9386,605	987,5419	12403,615	942,4581
212	20	2	9294,195	2091,6764	12349,040	767,1112

Çizelge 3.40 incelendiğinde ısıtıl işlem sıcaklığının elastikiyet modülü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmakla birlikte çok azda olsa ısıtıl işlem görmüş örneklerin elastikiyet modülünde artış gözlenmektedir. Göknar odununda en düşük elastikiyet modülü (9254,4 N/mm²) ısıtıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en yüksek elastikiyet modülü (9964.7 N/mm²) 170 °C ısıtıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kayın odununda en düşük elastikiyet modülü (12210,5 N/mm²) ısıtıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en yüksek elastikiyet modülü (12730,1 N/mm²) 180 °C’de ısıtıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir.

Şekil 3.13’de ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak göknar ve kayın odununun elastikiyet modülü değerlerinin değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.13. Elastikiyet modülünün ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Elastikiyet modülü üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.41’de verilmiştir.

Çizelge 3.41. Elastikiyet modülü üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Elastikiyet Modülü	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0.05)
	Odun Türü	5,345E8	1	5,345E8	432,373	0,000
	Sıcaklık	1,128E7	5	2255194	1,824	0,109
	Odun * Sıcaklık	762827,6	5	152565	0,123	0,987
	Hata	2,819E8	228	1236189		
	Toplam	2,997E10	240			
	Düzeltilmiş Toplam	8,284E8	239			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.41) elastikiyet modülü üzerine odun türünün etkisinin istatistiksel olarak ($P \leq 0,05$) önemli olduğu, ısı işlem sıcaklığının etkisinin ise istatistiksel olarak ($P \leq 0,05$) önemli olmadığı belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden eğilme direnci üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Göknar ve kayın odunlarının elastikiyet modülü değerleri üzerine, ısıl işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.42’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.43’de verilmiştir.

Çizelge 3.42. Isıl işlemin elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Göknar	Gruplar Arası	7270669	5	1454133,8	0,904	0,481
	Gruplar İçi	1,835E8	114	1609326,1		
	Toplam	1,907E8	119			
Kayın	Gruplar Arası	4768128,7	5	953625,749	1,105	0,362
	Gruplar İçi	9,839E7	114	863052,153		
	Toplam	1,032E8	119			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.42) Göknar ve kayın odununda ısıl işlem sıcaklığının elastikiyet modülü üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 3.43. Isıl işlemin elastikiyet modülüne etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Göknar		Kayın	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	20	-	9254,425	a	12210,540	a
170	20	2	9964,700	a	12712,380	a
180	20	2	9668,615	a	12730,100	a
190	20	2	9587,800	a	12658,680	a
200	20	2	9386,605	a	12403,615	a
212	20	2	9294,195	a	12349,040	a

Duncan testi sonuçlarına göre, en yüksek elastikiyet modülünün göknar odununda 170°C’de ısıl işlem görmüş örneklerde, kayın odununda ise 180°C’de ısıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. En düşük elastikiyet modülünün ise her iki ağaç türünde de ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde olduğu tespit edilmiştir. Göknar

ve kayın odunu elastikiyet modülü değerlerinde ısıtım işlem sıcaklıkları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir.

3.2.4. Aşınma Direnci

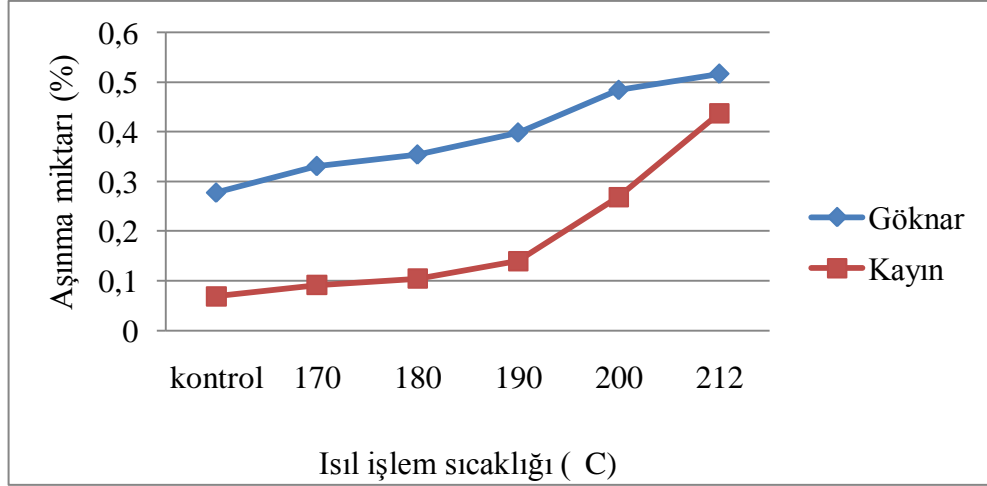
Gökmar ve Kayın odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıtım işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin aşınma miktarlarına ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.44’de verilmiştir.

Çizelge 3.44. Kontrol ve ısıtım işleme tabi tutulmuş örneklerin aşınma değerleri (%)

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Gökmar (%)		Kayın (%)	
			A.O	S.S	A.O	S.S
Kontrol	4	-	0,2774	0,01552	0,0686	0,00625
170	4	2	0,3310	0,02624	0,0914	0,00752
180	4	2	0,3541	0,01440	0,1040	0,00906
190	4	2	0,3983	0,00706	0,1397	0,01460
200	4	2	0,4840	0,01427	0,2687	0,02891
212	4	2	0,5168	0,01518	0,4371	0,01002

Aşınma değerleri incelendiğinde ısıtım işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak aşınma miktarının da arttığı görülmektedir. Gökmar odununda en az aşınma ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerinde % 0,28 ve en çok aşınma 212 °C’de ısıtım işlem görmüş örneklerde % 0,52 olarak tespit edilmiştir. Kayın odunundaki sonuçlarda benzer sonuçlar göstermiş en az aşınma ısıtım işlem görmemiş olup, kontrol örneklerinde % 0,07 ve en çok aşınmada 212 °C’de ısıtım işlem görmüş örneklerde % 0,44 olarak tespit edilmiştir

Gökmar ve kayın odununda aşınma miktarlarının ısıtım işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Aşınma miktarlarının ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Şekil 3.14'de de görüldüğü gibi ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak aşınma miktarıda artmaktadır.

Aşınma miktarı üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.45'de verilmiştir.

Çizelge 3.45. Aşınma miktarı üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

Aşınma miktarı	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
	Odun Türü	0,523	1	0,523	2127,179	0,000
	Sıcaklık	0,532	5	0,106	432,724	0,000
	Odun * Sıcaklık	0,044	5	0,009	35,557	0,000
	Hata	0,009	36	0,000		
	Toplam	5,123	48			
	Düzeltilmiş Toplam	1,107	47			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.45) aşınma miktarı üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak ($P \leq 0,05$) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden aşınma miktarı üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Göknar ve kayın odunlarının aşınma miktarları üzerine, ısıtım işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 3.46'da ve Duncan testi sonuçları Çizelge 3.37'de verilmiştir.

Çizelge 3.46. Isıtım işleminin aşınma miktarları üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Göknar	Gruplar Arası	0,169	5	0,034	125,418	0,000
	Gruplar İçi	0,005	18	0,000		
	Toplam	0,174	23			
Kayın	Gruplar Arası	0,406	5	0,081	366,904	0,000
	Gruplar İçi	0,004	18	0,000		
	Toplam	0,410	23			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.46) göknar ve kayın odununda ısıtım işlem sıcaklığının aşınma miktarı üzerine etkisinin (P≤0.05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.47. Isıtım işleminin aşınma miktarları üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Göknar		Kayın	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	4	-	0,2774	a	0,0686	a
170	4	2	0,3310	b	0,0914	b
180	4	2	0,3541	b	0,1040	c
190	4	2	0,3983	c	0,1397	d
200	4	2	0,4840	d	0,2687	d
212	4	2	0,5168	e	0,4371	e

Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek aşınma miktarının göknar ve kayın odununda 212 °C'de ısıtım işlem görmüş örneklerde, en düşük aşınma miktarının ise ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Göknar odununda 170 °C ile 180 °C arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır. Ancak diğer ısıtım işlem sıcaklıkları arasında fark gözlenmiştir. Kayın odununda ise 190 °C ile 200°C

arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmazken diğer ısıl işlem sıcaklıkları arasında fark gözlenmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. AĞIRLIK KAYBI VE DENGE RUTUBET MİKTARI

Ağırlık kaybı, her iki ağaç türünde de ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak artış göstermiştir. En az ağırlık kaybı 170 °C’de ısı işlem görmüş örneklerde göknar odununda % 1,7 ve kayın odununda % 1,2 olarak, en fazla ağırlık kaybı ise 212 °C’de ısı işlem görmüş örneklerde göknar odununda % 5,4 ile kayın odununda % 7,3 olarak kaydedilmiştir.

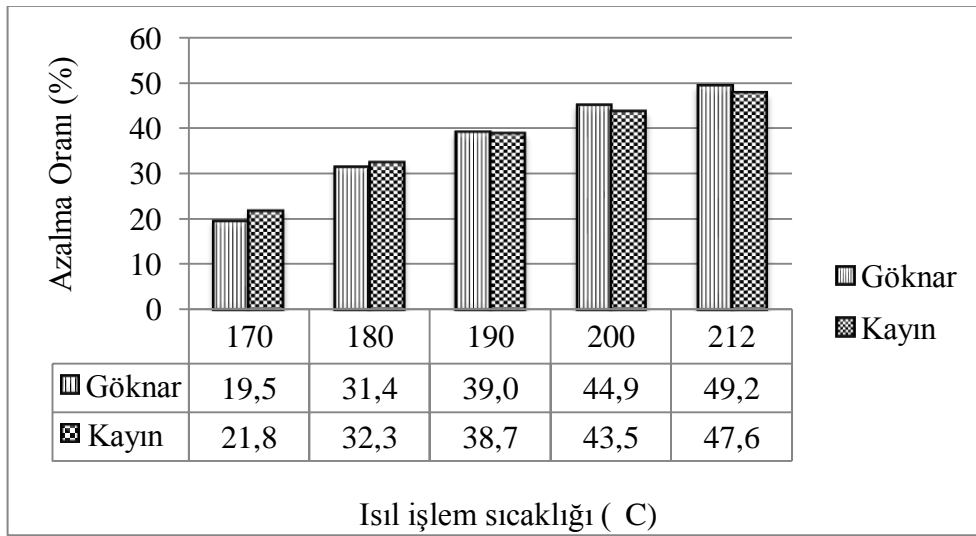
Sonuçlar ısı işlemi ağırlık kaybına neden olduğunu ve ısı işlem sıcaklığı arttıkça ağırlık kaybının da arttığını göstermiştir. Literatürde ağırlık kaybındaki azalmanın ısı işlemi metoduna, sıcaklığına ve zamanına bağlı olduğu belirtilmektedir (Seborg et al., 1953; Stamm, 1956; Rusche, 1973; Fung et al., 1974). Feist and Sell (1987) 180-200 °C sıcaklıklarda kayın odunu ağırlık kaybının % 10-15 arasında olduğu belirtmektedirler. Ayrıca başka bir çalışmada, 24 saat süresince ısı işlem yapılan ladin odununda 120 °C başlayan ağırlık kaybı % 0,8 iken 200 °C’de bu oran % 15,5 dolaylarında olduğu bulunmuştur (Fengel, 1966).

İki ağaç türü kıyaslandığında ise kayın odunundaki ağırlık kaybının göknar odununa göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum literatürle uyumluluk göstermektedir ve ısı işlem sonucu ağırlık kaybının yapraklı ağaç odunlarında iğne yapraklılara kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmektedir (MacLean, 1951; Zaman et al., 2000; Miltz, 2002; Hill, 2006). Yapraklı ağaçlar iğne yapraklı ağaçlara göre ısıya karşı daha az dayanıklıdır. Bu farklılık hemiselüloz miktarına ve kompozisyonuna atfedilir. Pentozanlar (ki bunlar yapraklı ağaç hemiselülozunun büyük bir kısmını oluştururlar), hekzozanlarda ısı degradasyonuna karşı daha hassasdırlar. Ayrıca, yapraklı ağaçlar genelde daha yüksek oranda hemiselülozlara sahiptirler ve yapraklı

ağaç hemiselülozları iğne yapraklı ağaçlara kıyasla daha yüksek asetil içeriğine sahiptirler. Yapraklı odun ksilanı iğne yapraklı ağaç hemiselülozundan sıcaklığa karşı daha az dayanıklıdır (Fengel and Wegener, 1989; Hill 2006).

Isıl işleme tabi tutulan kayın ve göknar odununun test örneklerinde, DRM'nin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.1). Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak DRM azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait en az azalma oranı 170 °C'de gerçekleşmiştir. Söz konusu sıcaklık için azalma göknarda % 19,5, kayında % 21,8 olmuştur. En fazla azalma oranı ise 212 °C'de gerçekleşmiş ve göknarda % 49,2, kayında % 47,6 olarak tespit edilmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen DRM değerlerine ait azalma oranları Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Isıl işlem sonucu DRM'nin kontrole göre azalma oranları (%).

Çalışmada bulduğumuz sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir (Unsal et al., 2003; Vital and Lucia, 1982; Esteves et al., 2007a; Esteves et al., 2007b; Korkut and Bektas, 2007; Kotilainen, 2000; Gündüz and Aydemir, 2009; Gündüz et al., 2008; Kaygın et al., 2009; Akyıldız et al., 2009)

Denge rutubet miktarındaki azalma çeşitli araştırmacılar tarafından da ifade edilmiş ve birkaç faktörden kaynaklandığı belirtilmiştir. Hemiselülozların degradasyonu (ki

bunlar en önemli higroskopik bileşiklerdir), en önemli rolü oynarlar ancak selülozun amorf bölgelerinin degradasyonu ve çapraz bağlanma reaksiyonları da denge rutubetinin azalmasına katkıda bulunurlar (Bhuiyan and Hirai 2005; Tjeerdsma et al., 1998a; Tjeerdsma and Militz 2005, Esteves et al., 2007).

4.2. YOĞUNLUK

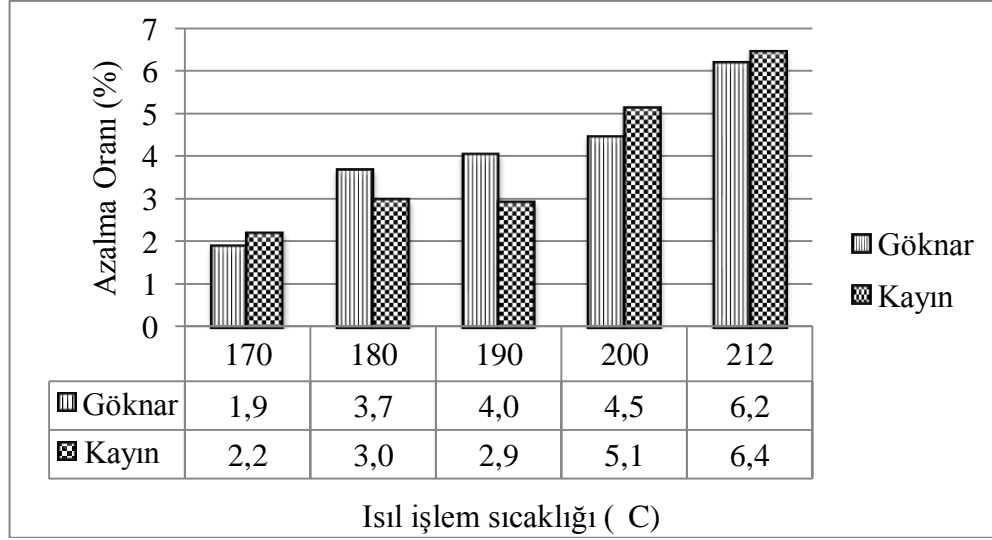
Isıl işleme tabi tutulan kayın ve göknar odununun test örneklerinde, yoğunluk değerlerinin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.2). Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak yoğunluk değerlerindeki azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir (Şekil 4.2). Her iki ağaç türüne ait en fazla azalma oranı 212 °C’de gerçekleşmiş olup göknar odununda % 5,8 iken, kayın odununda % 8,3 olarak tespit edilmiştir.

Benzer sonuçlar Gündüz ve Aydemir (2009), Kaygın et al., (2009), Gündüz et al., (2008), Akyıldız et al., (2009) tarafında belirtilmiştir.

Çalışmamızda ısı işlem sıcaklığının artışıyla yoğunluktaki düşüşün daha da yükseldiği sonucuna varılmıştır. Metsa-Kortelainen et al., (2005) Isıl işlem sıcaklıkları ne kadar yüksek olursa kütle kaybının o derecede yüksek olacağını ve bu kütle kaybının da yoğunluğu düşürecek bir etki yaptığını belirtmişlerdir.

Literatürde, ısı işlem sonrası odunun yoğunluğundaki azalmanın ana nedenleri; işlem esnasında odun bileşiklerinin (esas olarak hemiselülozların) degradasyonu; ekstraktiflerin buharlaşması ve denge rutubet miktarındaki düşüş olarak, ifade edilmektedir (Boonstra et al., 2007b, Vital and Lucia, 1983).

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen hava kurusu yoğunluk değerlerine ait azalma oranları Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Isıl işlem sonucu yoğunluğun kontrole göre azalma oranları (%)

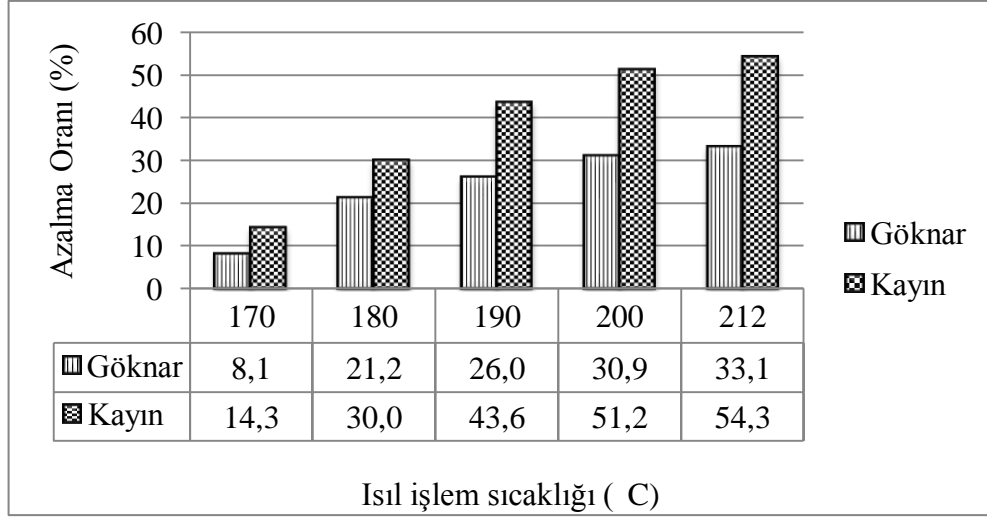
Çalışmamızda ısıl işlem sonucu meydana gelen yoğunluktaki azalmanın kayın odununda göknar odununa göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Çeşitli yapraklı ağaç ve iğne yapraklı ağaç odunlarıyla yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan yargı yapraklı ağaç odunlarının kimyasal farklılıklarından dolayı iğne yapraklı ağaç odunlarından daha fazla ağırlık kaybına uğradıkları ve bununda yoğunluğu azaltıcı yönde etkilediği fikrine varılmıştır (Militz, 2002, Yıldız, 2002).

4.3. BOYUTSAL DEĞİŞİM

Odun türlerinin boyutsal değişimi hem genişleme hemde daralma yönünden incelenmiştir.

Isıl işlem görmüş test örneklerinin genişleme yüzdeleri, kontrol örneklerinin genişleme yüzdelerine kıyasla azalmıştır. Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak genişleme yüzdelerindeki azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait en az azalma oranı 170 °C’de, en fazla azalma oranı ise 212 °C’de gerçekleşmiştir.

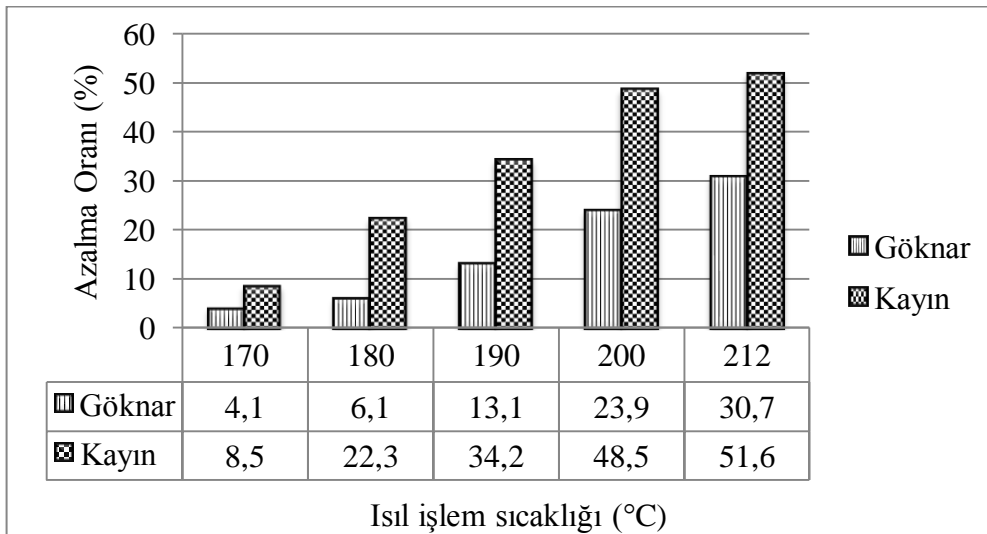
Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen hacimsel genişleme miktarlarına ait azalma oranları Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Hacimsel genişleme yüzdelere ait azalma oranları (%)

Isıl işlem görmüş test örneklerinin daralma yüzdeleri, kontrol örneklerinin daralma yüzdelere kıyasla azalmıştır. Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak daralma yüzdelesindeki azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait en az azalma oranı 170 °C’de, en fazla azalma oranı ise 212 °C’de gerçekleşmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen hacimsel daralma yüzdelere ait azalma oranları Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Hacimsel daralma miktarlarına ait azalma oranları (%).

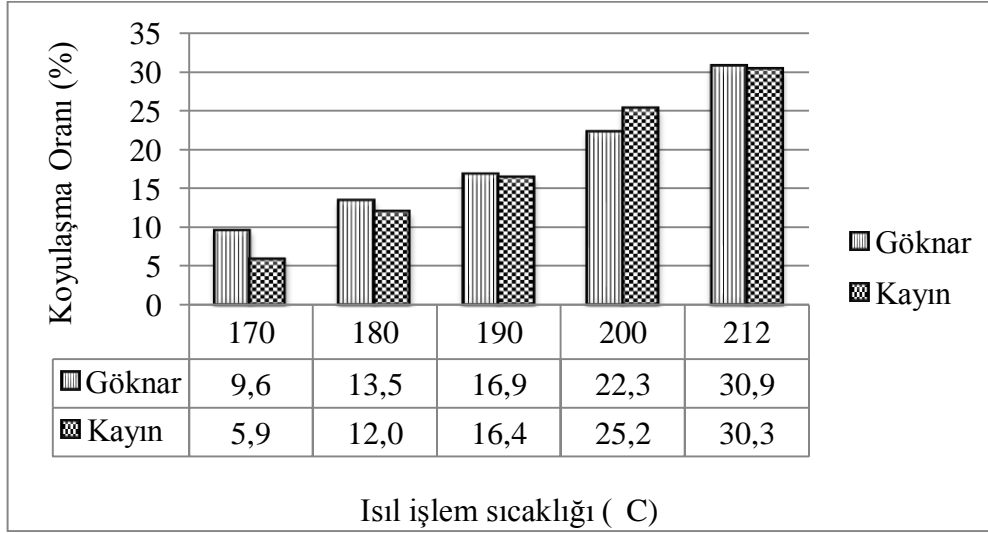
Bu sonuçlar literatürle uyumludur. Yapılan birçok çalışmada genellikle sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte kullanılan tekniğe de bağlı olarak boyut stabilizasyonunun önemli oranda iyileştiği belirtilmektedir (Yıldız, 2002; Stamm et al., 1946; Kaygın et al., 2009; Akyıldız et al., 2009; Esteves et al., 2007a).

Hücre çeperindeki materyal kayıpları odunun boyutsal değişimine neden olur. Chang and Keith (1978), ısıtma işlem sonucu odunun hacimsel daralmasının sıcaklık nedeniyle oluşan kütle kaybıyla ilişkili olduğunu belirtmiştir. Odun karbonhidratlarının, serbest hidroksil gruplarının mevcudiyeti su absorpsiyon ve desorpsiyonunda önemli rol oynar (Boonstra and Tjeerdsma, 2006). Teoride odun, hücre çeperi içerisindeki en higroskopik polimerlerin yer aldığı hemiselülozların termal olarak bozundurulup suyla reaksiyona girebilecek serbest polar adsorpsiyon grupları miktarının yani higroskopisitenin azaltılmasıyla stabilize edilmektedir. Isıtma işlem serbest hidroksil gruplarının azalmasına neden olur (Pizzi et al., 1994). Çeşitli araştırmaların sonuçlarından, ısıtma işlem sonrası higroskopisitenin azalması ve buna bağlı olarak boyutsal stabilizasyonunda artışın sebepleri olarak aşağıdakiler gösterilebilir: Karbonhidratların ve özellikle hemiselülozların depolimerizasyonu hidroksil gruplarının toplam miktarında azalmaya neden olur (Burmester, 1975; Kollman and Schneider, 1963). Kristal selülozun nisbi oranının artışı (ki bu bölgede hidroksil grupları su moleküllerine kolaylıkla erişemez) Tjeerdsma et al., (1998a); Lignin ağının çapraz bağlanması (ki bu serbest hidroksil gruplarının erişebilirliğini azaltır) (Bobleter and Binder 1980; Burmester, 1975; Pizzi et al., 1994; Tjeerdsma et al., 1998a).

4.4. RENK DEĞİŞİMİ

Isıtma işlem görmüş test örneklerinin toplam renk değişimi, kontrol örneklerine kıyasla koyulaşmıştır. Isıtma işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak toplam renk değişimindeki koyulaşma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait toplam renk değişim oranı en az 170 °C’de, en fazla 212 °C’de gerçekleşmiştir (Şekil 4.5).

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen toplam renk değişimine ait koyulaşma oranları Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Isıl işlem sonucu toplam rengin kontrole göre koyulaşma oranları (%).

Sonuçlar literatürle uyumluluk göstermiştir (Bächle et. al., 2007; Johanson and Mor'en 2006; Özçifçi vd. 2009; Unsal et al., 2003; Kaygın et al., 2009; Bekhta and Niemz, 2003; Mitsui, 2006; Akyıldız et al., 2009). Unsal et al., (2003) ve Özçifçi vd. (2009) yaptıkları çalışmalarda odununun ısıl işlemi sonunda renk değişiminin yüksek sıcaklıklarda ve uzun muamele periyotlarında daha fazla koyu bir renk elde edildiğini belirtmişlerdir.

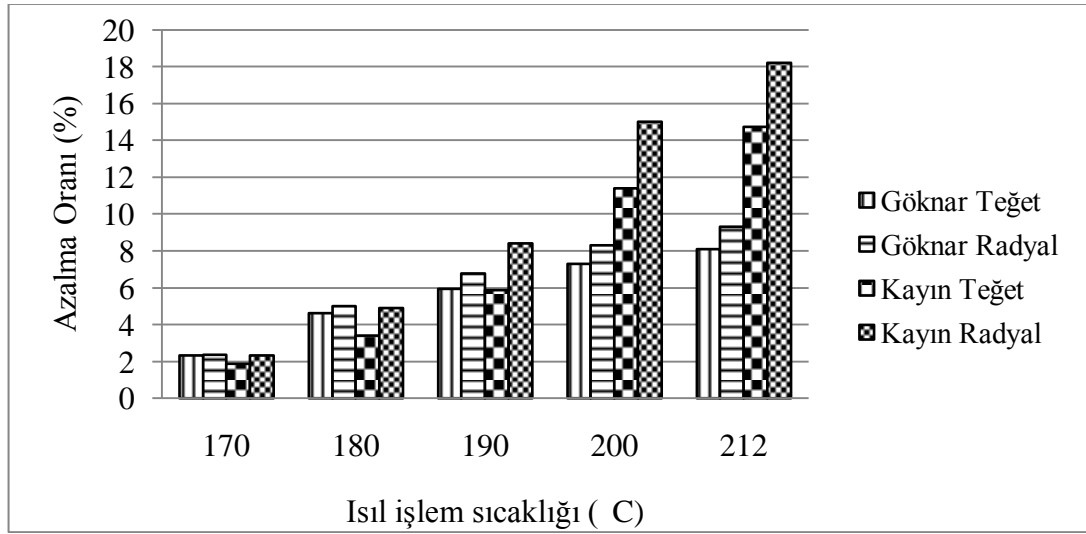
Chow and Mukai (1972), ısıl işlem nedeniyle meydana gelen renk değişimiyle kristallik derecesi polimerizasyon derecesi ve OH miktarı arasında ilişki olduğunu belirtmektedir. Hillis (1975), odunda ısıl işlem sonrası renk değişiminin hemiselülozun hidrolizinden dolayı kaynaklandığını belirtmiştir. Yine yapılan bir çalışmada sarıçamın diri odunundaki sararmanın hemiselülozun parçalanması ve termal degradasyonla beraber meydana gelen düşük moleküllü şeker miktarının artmasıyla yükseldiğini belirlemiş ve böylece selülozun parçalanması veya termal degradasyonunun sarıçamın daha koyu renk değişimleriyle yakından ilgili olduğu kanısına varmıştır (Terzievet al., 1993). Ayrıca, oksidatif ve hidrolitik reaksiyonlar nem ortamında genellikle hidrolitik reaksiyonların baskın olduğu odunun ısıl

muamelesi boyunca kromofor oluşumuna sebebiyet verdiği ve odunda renk değişiminin sebebinin de bu gruplar olduğu belirlenmiştir (Fengel and Wegener, 1989).

4.5. ISI İLETKENLİĞİ

Isıl işleme tabi tutulan kayın ve göknar odununun test örneklerinde, ısı iletkenlik değerlerinin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak ısı iletkenlik değerlerindeki azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait en fazla azalma oranı 212 °C’de gerçekleşmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan göknar odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen ısı iletkenliğine ait azalma oranları Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Isı iletkenliğine ait azalma oranları (%).

Bu şekile göre ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin ısı iletkenliği değeri ısıl işlem sıcaklığı ile birlikte azalmıştır. Bu sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir (Esteves et al., 2007b; Militz, 2002; Kortelainen et al., 2006; Santos, 2000). Hem göknar hemde kayın odununda en yüksek ısı iletkenliği değerleri radyal olarak kesilmiş kontrol örneklerinde ve en düşük değer teğet olarak kesilmiş 212 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Ayrıca varyans analizi sonuçlarına göre odun türünün, lif yönünün ve ısıl işlem sıcaklığının ısı iletkenliği üzerine etkisinin

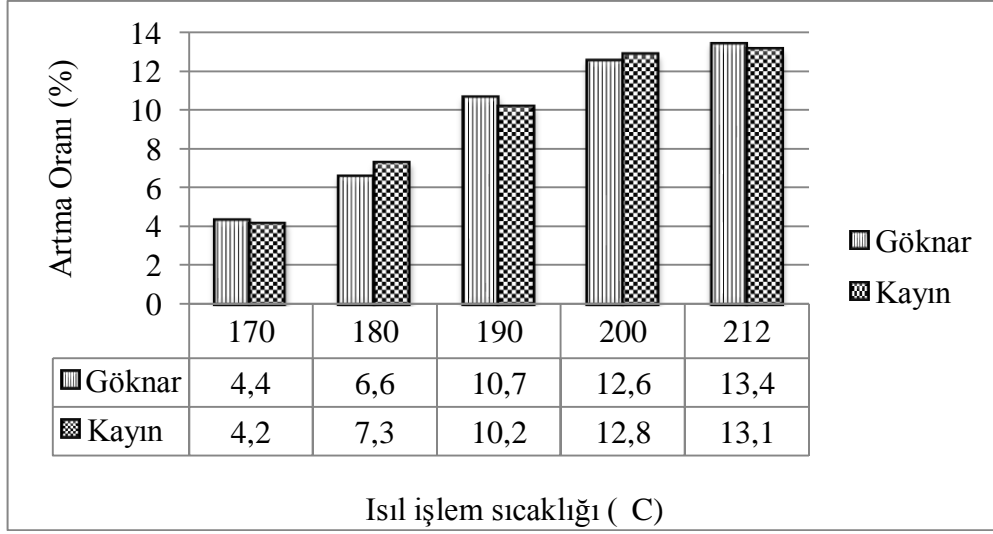
önemli olduğu belirlenmiştir. Kayın odununun ısı iletkenliği göknar odununkinden yüksek çıkmıştır (Şekil 4.6). Bu sonuç kayın odununun yüksek özgül ağırlığına atfedilebilir çünkü literatürde odun türlerinin ısı iletkenliğinin yoğunluk arttıkça arttığı belirtilmektedir (MacLean, 1941; Rice and Shepard, 2004). Radyal yöndeki ısı iletkenlik değerleri teğet yöndekinden yüksek çıkmıştır. Bu sonuç literatürle uyumludur. (Süleiman et al., 1999; Steinhagen, 1977)

Isıl işlemin odunun ısı iletkenliğini önemli oranda azalttığı belirlenmiştir. Bu sonuç şöyle ifade edilebilir. Birincisi ısı işlem denge rutubet miktarını azaltır. Bu çalışmada da ısı işlem odunun DRM'nı % 48 azalttığı belirlenmiştir. Rutubet miktarındaki azalma ısı iletkenlik değerini düşürecektir çünkü literatürde rutubet miktarı ile ısı iletkenliği arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmektedir ve rutubet düştükçe ısı iletkenliğinin de düşeceği belirtilmektedir (Gu and Hunt, 2007; Şahinkol, 2009). İkincisi ısı iletkenliği, yoğunluk düştükçe düşecektir. Bu çalışmada ısı işlem görmüş örneklerin yoğunluklarının önemli oranda düştüğü görülmüştür. Böylece rutubet miktarı ve yoğunluğun düşüşü ısı işlem görmüş örneklerin ısı iletkenliğinde azalmaya neden olduğu söylenebilir.

4.6. LİFLERE PARALEL BASINÇ DİRENCİ

Isıl işleme tabi tutulan kayın ve göknar odununun test örneklerinde, liflere paralel basınç direnci değerlerinin kontrole oranla arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.7). Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak liflere paralel basınç direnci değerlerindeki artma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait en fazla artış oranı 212 °C'de gerçekleşmiştir. Göknar odununda bu sıcaklıkta liflere paralel basınç direnci artış oranı % 13,4 iken, kayın odununda % 13,1 olarak tespit edilmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait artış oranları Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Isıl işlem sonucu basınç direncinin kontrole göre artış oranları (%).

Benzer sonuçlar ThermoWood Handbook 2003 kitabında da belirtilmektedir ve 195 °C’de 3 saat süreyle ısıl işlem görmüş kerestelerin normal odundan % 30 daha yüksek basınç direncine sahip olduğu belirtilmektedir. Ancak, bu sonuçlar literatürdeki bazı çalışmalarla zıtlık göstermektedir ve bu çalışmalarda basınç direncinin ısıl işlem sonucu % 2 ile % 32 oranında azaltıldığı belirtilmektedir. (Schneider, 1973; Korkut, 2008; Yıldız, 2002; Unsal and Ayrılmış, 2005; Korkut et al., 2008). Korkut (2008) ve Yıldız et. al, (2006) normal atmosfer şartlarında yaptıkları ısıl işlem sonucunda liflere paralel basınç direncinde azalmalar olduğunu belirtmektedirler. Yıldız et. al., (2006) ısıl işlemin normal atmosfer şartlarında değilde herhangi bir koruyucu gaz ortamında yapılmasının liflere paralel basınç direnci değerindeki düşüşü azaltacağını belirtmektedir. Tam net olmamakla birlikte bu çalışmada basınç direncindeki artışın kullanılan ısıl işlem metoduna bağlı olduğu ve Thermo ısıl işlem muamelesinin odunu liflere paralel basınç direncini artırdığı söylenebilir.

Bu sonuç birkaç faktörle açıklanabilir; odunun mekanik özellikleri rutubet miktarıyla yakından ilişkilidir. Bağlı su miktarındaki artış ve hücre çeperinin polimerik bileşikleri arasındaki hidrojen bağlarının azalması direnç özelliklerini azaltır. Çünkü direnç kovalent ayrıca hidrojen polimer bağlarıyla ilişkilidir (Fengel and Wegener, 1989; Winandy and Rowell, 1984). Böylece ısıl işlem direnç özelliklerine pozitif katkıda bulunabilir. Çünkü ısıl işlem görmüş odun daha az higroskopiktir ve

maksimum bağı su miktarı azalmıştır (Boonstra et al., 2007a). Çalışmada da ısı işlem görmüş odunun denge rutubet miktarının azaldığı belirlenmiş olup sonuçlar literatürle uyumludur. Winandy and Rowell (1984) hücre çeperi bileşenlerinin (selüloz, hemiselüloz, lignin) direnç özelliklerine farklı derecelerde katkıda bulunduğunu belirtmektedirler. Isıl işlem odun bileşenlerini ve bunların birbiriyle etkileşimini etkiler ve böylece odunun mekanik özellikleri etkilenir. Ayrıca kristal selülozunun katı ve sert yapısı liflere paralel yöndeki basınç direncindeki artışa katkıda bulunabilir (Boonstra et al., 2007b). Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin mekanik özellikleri üzerine ligninin etkisi açık değildir. Lignin selüloz mikrofibrillerinin sertleştiricisi olarak rol oynar (Sweet and Winandy, 1999). Lignin ayrıca orta lamelin ana bileşenidir (Fengel and Wegener, 1989) ve lignin polimer ağının artan çapraz bağları orta lamelin direncini artırır ve sonuç olarak hücre çeperinin direnç özelliklerini etkiler bu olay lignin polimer ağının odunun direnç özelliklerine direkt katkısının bir göstergesidir (Boonstra et al, 2007b). Böylece odun matrixinde ısı işlem sıcaklığının artışıyla hemiselülozlar bozularak odun içindeki % lignin miktarı artışı basınç direncinde artışa neden olabilir.

4.7. EĞİLME DİRENCİ

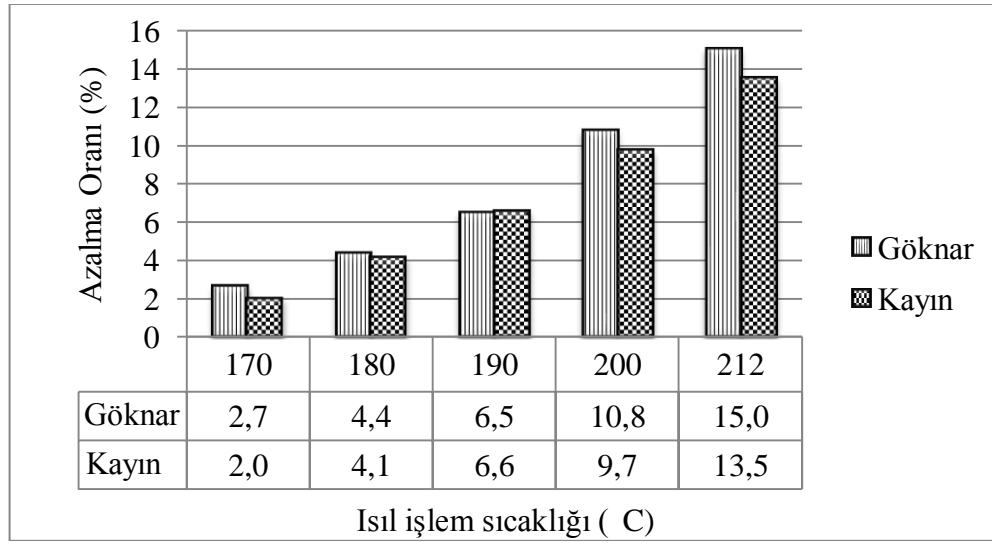
Isıl işleme tabi tutulan kayın ve göknar odununun test örneklerinde, eğilme direnci değerlerinin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak eğilme direnci değerlerindeki azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir (Şekil 4.8).. Her iki ağaç türüne ait en fazla azalma oranı 212 °C’de gerçekleşmiş olup göknar odununda eğilme direnci azalma oranı % 15 iken, kayın odununda % 13,5 olarak tespit edilmiştir.

Eğilme direnci için benzer sonuçlar literatürde belirtilmektedir. Bu çalışmalarda ısı işlemin eğilme direncinde % 1-72 oranında azalmaya neden olduğu belirtilmektedir (Yıldız, 2002; Johansson and Moren, 2006; Esteves et al., 2007a; Esteves et al., 2007b; Shi et al., 2007; Korkut, 2008; Korkut et al., 2008).

Shi et al., (2007) 212 °C’de göknar için ThermoWood yöntemiyle % 37’lik bir azalma bulmuşlardır. Korkut (2008) 180 °C normal atmosfer şartlarında yapılan ısı

işlem sonucunda % 16'lık azalma bulmuşlardır. Yapılan başka bir çalışmada 200 °C'de 5 saat süreyle ısıtılan Chamaecyparis obtusa ve Fagus crenata örneklerinin eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları yaklaşık % 50 civarında bulunmuştur. Literatürde termal bozunmadan olumsuz olarak en çok etkilenen odun özelliklerinden birinin eğilme direnci olduğu bildirilmekle birlikte, ısıtılmanın odunun direnç özellikleri üzerine verebileceği zararı daha katlanılabilir hale getirmek için su buharıyla desteklenmiş bir sistemde ısıtılmanın uygulanmasının daha uygun olduğu belirtilmektedir (Viitaniemi, 1997). Bizim çalışmamızda bulunan sonuçlar bu yargıyı destekler niteliktedir.

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Isıl işlem sonucu eğilme direncinin kontrole göre azalma oranları (%).

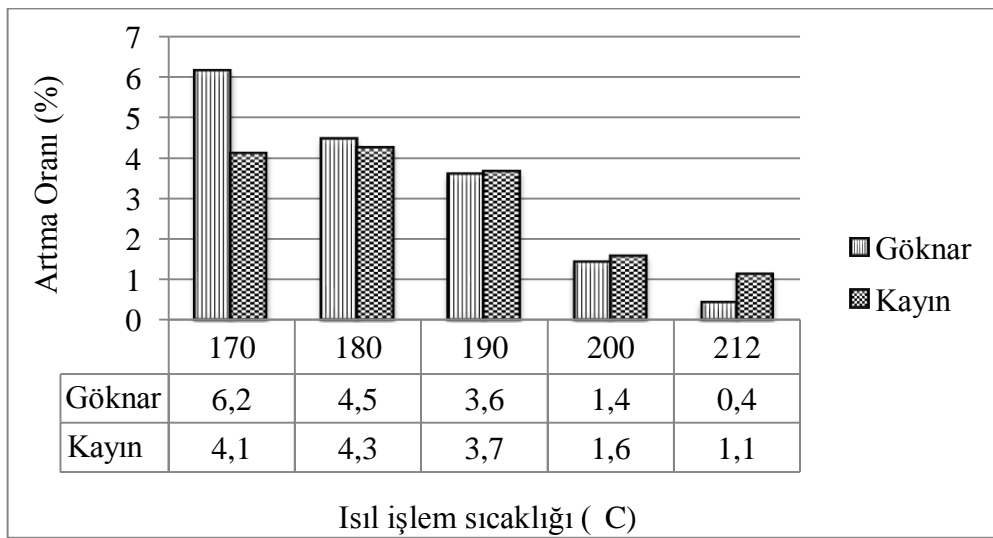
Isıl işlem sonrası eğilme direncindeki azalmanın esas nedeni hemiselülozların degradasyonuna atfedilir. Çünkü çok yüksek sıcaklıklarda olmayan ısıtılmanın sonrasında selüloz ve ligninde ne depolimerizasyon nede degradasyon gözlenmediği belirtilmektedir. Isıl işlem sıcaklığının artışı ile birlikte eğilme direncindeki azalma artar. Ayrıca, hemiselüloz miktarıyla eğilme direnci arasında pozitif bir ilişki vardır (Sweet and Winandy, 1999; Winandy and Lebow, 2001; Winandy and Morrell 1993).

Yapılan çalışmalarda artan sıcaklık ve süreye paralel olarak meydana gelen ağırlık kaybı oranlarında artış tespit edilmiştir (Yıldız, 2002; Shi et al., 2007; Korkut, 2008; Korkut et al., 2008). Dolayısıyla ısıtma işlemi sıcaklık ve süresinin artmasıyla azalan eğilme direnci değerlerini, yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan termal bozunma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybıyla; aynı zamanda kimyasal analizler sonucunda ortaya çıkan hemiselüloz miktarındaki azalmayla ilişkilendirmek mümkündür

4.8. ELASTİKİYET MODÜLÜ

Isıl işleme tabi tutulan kayın ve göknar odununun test örneklerinde, elastikiyet modülü değerlerinin kontrole oranla arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.9). 170 °C’de ısıtma işlemi görmüş örneklerde maksimum elastikiyet modülü değerleri tespit edilirken bu sıcaklıktan sonra ısıtma işlemi sıcaklığının artmasına paralel olarak elastikiyet modülünün azaldığı görülmektedir. Her iki ağaç türüne ait en fazla artış oranı 170 °C’de gerçekleşmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen elastikiyet modülü değerlerine ait azalma oranları Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Isıl işlem sonucu elastikiyet modülünün kontrole göre artış oranları (%).

Literatürde ısıtılma işleminin elastikiyet modülünü arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Shi et. al., (2007) 202 °C’de göknar odununda % 17’lik bir artış olduğunu bulmuşlardır. Chang and Keith (1978) ılımlı ısıtılma sonucu odun örneklerinin elastikiyet modülünün önemsiz oranda arttığını ancak çok yüksek sıcaklıklarda muamelenin elastikiyet modülünde azalmaya neden olduğunu belirtmektedirler. Bekhta and Niemz (2003) ısıtılma sonucu elastikiyet modülündeki değişimin önemsiz olduğunu belirtmektedirler. Hills and Rozsa’ya (1978) göre yüksek sıcaklık ve sürenin elastikiyet modülünü artırıcı rolü şu şekilde açıklanmaktadır; odun, kısmen kristal yapıdaki mikrofibrillerden ve geniş olarak ta hemiselüloz ve lignin gibi amorf polimerik bileşenlerden meydana gelmektedir. Belli bir sıcaklığın üzerinde ısıtılma işlemine tabi tutulduğunda çoğu amorf polimerik materyaller kırılğan (glassy-camsı) yapılarını elastik duruma dönüştürebilmektedirler. Kristal yapıdan elastik yapıya dönüş veya yumuşama sıcaklığında, bireysel polimerlerin karşılıklı çekim kuvvetlerini azaltan yeterli enerjiye sahip olmaları söz konusudur. Böylelikle, bu odun polimerleri elastiki veya daha büyük oranda plastik bir yapıya dönüşebilmektedirler. Odunu plastikleştirmek amacıyla ağaç cinslerinin büyük bir kısmının su veya buharla ısıtıldığı bilinmektedir. Buharlama sırasında pektinin tümü ve ligninin bir kısmı çözülür. Orta lameldeki bağlayıcı maddenin çözülmesi dokuları gevşetmekte ve odun böylece daha elastik bir yapı kazanabilmektedir (Çolakoğlu, 2001).

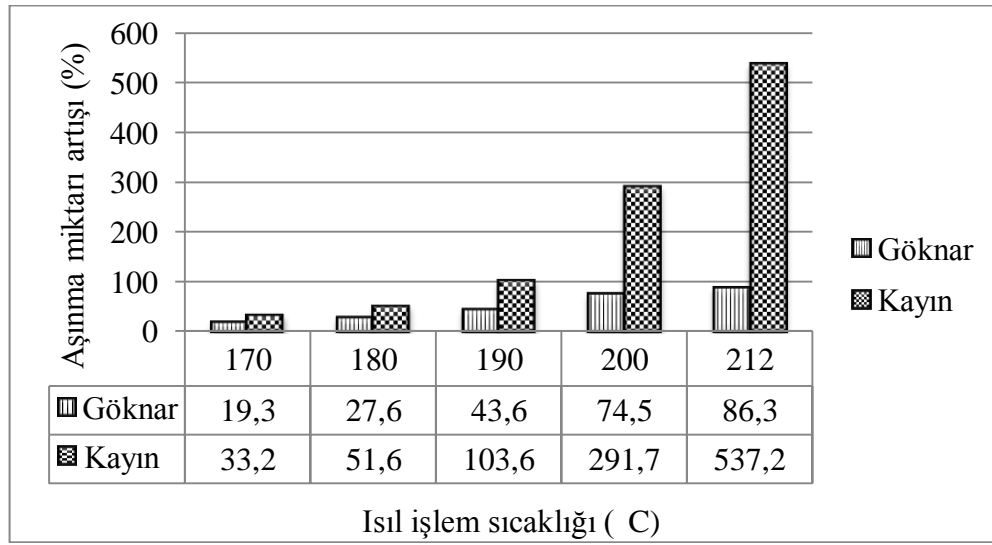
Elastikiyet modülündeki küçük fakat fark edilebilir artış hemiselülozların degradasyonuna rağmen ısıtılma işlemi sonrası kristal selülozun nisbi miktarındaki artıştan kaynaklanmış olabilir. Ayrıca ısıtılma işlemi görmüş odun kontrolden daha az higroskopiktir (çünkü hücre çeperleri daha az bağlı su içerir) bu da elastikiyet modülünü etkiler.

4.9. AŞINMA DİRENCİ

Isıtılma işlemine tabi tutulan kayın ve göknar odununun test örneklerinde, aşınma miktarı değerlerinin kontrole oranla arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.10). Isıtılma işlemi sıcaklığının artmasına paralel olarak aşınma miktarı değerlerindeki artış oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait en fazla artış oranı 212 °C’de gerçekleşmiştir.

Göknar odununda aşınma miktarı artış oranı % 86,3 iken, kayın odununda % 537,2 olarak tespit edilmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan göknar ve kayın odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen aşınma miktarı değerlerine ait artış oranları Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Isıl işlem sonucu aşınma miktarının kontrole göre artış oranları (%).

Tremblay (2007) yaptığı çalışmada aşınma direncinin düştüğünü belirtmiştir ve sıcaklık arttıkça bu düşüşün daha da arttığını belirtmektedir.

Aşınma direncindeki azalma yüksek sıcaklıklarda moleküller arasındaki ve moleküllerin kendi içerisindeki bağları koparmasına atfedilebilir. Kopan bağların oranı sıcaklık yükseldikçe artış gösterdiği belirtilmektedir (Kotilainen, 2000).

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ThermoWood yöntemiyle ısıtma işlemi uygulanan Doğu kayını ve Uludağ göknarı odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu iki ağaç türü beş farklı sıcaklıkta (170, 180, 190, 200 ve 212 °C) ve iki saat süreyle ThermoWood yöntemiyle ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Isıtma işlemi görmüş odunlar kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Bu çalışmanın sonuçlarına göre ısıtma işleminin odunlarda ağırlık kaybına neden olduğu belirlenmiştir. Kayın odununda ağırlık kaybının göknar odununa göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.
2. Isıtma işleminin özellikle 200 °C ve üzeri yüksek sıcaklıklarda yaklaşık % 50 oranında denge rutubet miktarını azalttığı tespit edilmiştir.
3. Isıtma işleminin yoğunluğu düşürücü etkisinin olduğu ve bu düşüşün kayın odununda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ısıtma işlemi sıcaklığı arttıkça yoğunluktaki düşüşün de arttığı belirlenmiştir.
4. Odunun çalışması azalmış ve boyutsal stabilite yaklaşık % 50 oranında artmıştır.
5. Isıtma işlemi sıcaklığı arttıkça odunun renginde de kahverengiye doğru bir renk koyulaşması tespit edilmiştir. Ayrıca odundaki kısmi renk farklılıklarının ortadan kalktığı ve rengin homojen bir yapıya kavuştuğu görülmüştür.
6. Odunun ısı iletkenliği yaklaşık % 20 azalmış ve odun daha yalıtkan bir hale gelmiştir.

7. Liflere paralel basınç direncinde artış görülmüştür.
8. Eğilme direncinde yaklaşık % 15 bir azalma tespit edilmiştir. Eğilme direncinin en çok azaldığı ısı işlem sıcaklığının 212 °C olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda aşağıda verilen öneriler dikkate alınabilir.

Bu çalışmaya göre; yüksek sıcaklıklarda muamele edilmiş göknar ve kayın odunlarının yük kaldırma veya yüke maruz kalacak yerlerde kullanılması tavsiye edilmemektedir. Fakat hafif malzemelerin kullanıldığı dekorasyon, dış cephe kaplama, gemi kullanılabilir. Aynı zamanda ısı işleme tabi tutulmuş ağaç malzemenin normal oduna göre daha düşük denge rutubetine sahip oluşundan dolayı dekorasyon, dış cephe kaplama, havuz kenarlarında kaymayı engelleyici malzeme ve özellikle birinci dereceden suyla temas halinde olan gemi ve yatların güverte bölümlerinde rahatça kullanılabilir.

Boyutsal stabilite arttığı için her iki odun türleri için de çalışmasının istenmediği durumlarda ısı işlem tavsiye edilebilir.

Isıl işlem sonrası odun türlerinin renginde meydana gelen değişim ve kavuştuğu homojen yapıdan dolayı her iki odun türü de gerek dış cephe kaplamalarında gerekse mekanik yüklere maruz kalmayacakları tavan ve taban döşemelerinde dekoratif amaçlı kullanım için idealdir.

Isıl işlem sonucu ısı iletkenliğinin özellikle 212 °C’de önemli oranda azalması nedeniyle yalıtımın düşünüldüğü uygulama alanlarında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapılan çalışmada göknar ve kayın odununda ısı işlem sıcaklığının artmasıyla eğilme direnci azaldığı için ısı işleme tabi tutulmuş göknar ve kayın odunlarının statik eğilme direncinin önem kazandığı kullanım alanlarında değerlendirilmemesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Akyıldız, H. M., Ateş, S. and Özdemir, H., “Technological and chemical properties of heat-treated anatolian black pine wood”, *African Journal of Biotechhnology*, 8 (11): 2565-2572 (2009).

Alèn, R., Kotilainen, R. and Zaman, A., “Thermochemical behavior of Norway spruce at 180-225 °C”, *Wood Science and Technology*, 36 (2): 163-171 (2002).

Anşin, R., Özkan, Z. C., “Tohumlu bitkiler, odunsu taksonlar”, *KTÜ. Orman Fakültesi*, Trabzon, 5-12 (2006).

ASTM D 4060 “Vernik katmanında aşınma direncinin taber cihazı ile tayini”, (1984).

Bachle, F., Niemz, P. and Schneider, T., “Physical-mechanical properties of hard- and softwood heat treated in an autoclave”, *Paper of the 3rd European Conference on Wood Modification*, Zürich, 177-182 (2007).

Bekhta, P. and Niemz, P., “Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood”, *Holzforschung*, 57 (5): 539-546 (2003).

Bhuiyan, T. and Hirai N., “Study of crystalline behaviour of heat-treated wood cellulose during treatments in water”, *Journal of Wood Science*, 51 (1): 42-47 (2005).

Bobleter, O. and Binder, H., “Dynamischer hydrothermalmer abbau von holz”, *Holzforschung*, 34 (2): 48-51 (1980).

Boonstra, M. J., Van Acker, J., Kegel, E. and Stevens, M., “Optimisation of the two stage heat treatment process durability aspects”, *Wood Science and Technology*, 41 (1): 31-57 (2007a).

Boonstra, M. J., Van Acker, J. and Pizzi, A., “Anatomical and molecular reasons for property changes of wood after full-scale industrial heat treatment”, *Paper of the 3rd European Conference on Wood Modification*, Zürich, 343-358 (2007b).

Boonstra, M.J. and Tjeerdsma, B.F., “Chemical analysis of heat treated softwoods”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (3): 204-211 (2006).

Bozkurt, Y. A., “Odun anatomisi”, *İÜ. Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 207-208 (1992).

Bozkurt, Y. A., ve Erdin, N., "Ticarette önemli yabancı ağaçlar", *İÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları*, İstanbul, 4-6 (1989).

Burmester, A., "The dimensional stabilization of wood" *Holz als Roh-und Werkstoff*, 33 (9): 333-335 (1975).

Chang, C. I. and Keith, C. T., "Properties of heat-darkened wood. II. Mechanical properties and gluability", *FPL Report OPX214E, Canada*, 1-19 (1978).

Chow, S. Z. and Mukai, H.N., "Effect of thermal degradation of cellulose on wood polymer bonding", *Wood Science*, 4 (4): 202-208 (1972).

Çolakoğlu, G., "Tabakalı ağaç malzeme (lisans ders notları)", *KTÜ. Orman Fakültesi*, Trabzon, 29-30 (2001).

Esteves, B. M., Domingos, I. J. and Pereira, H. M., "Pine wood modification by heat treatment in air", *BiroResources*, 3 (1): 142-154 (2007a).

Esteves B. M., Velez, M. A., Domingos, I. and Pereira, H., "Influence of steam heating on the properties of pine and eucalypt wood", *Wood Science Technology*, 41 (3): 197-203 (2007b).

Feist, W. C. and Sell, J., "Weathering behavior of dimensionally stabilized wood treated by heating under pressure of nitrogen gas", *Wood and Fiber Science*, 19 (2): 183-195 (1987).

Fengel, D., "On the Changes of the wood and its components within the temperature range up to 200 °C-Part III: thermally and mechanically caused structural changes in sprucewood", *Holz Roh-und Werkstoff*, 24 (11): 529-536 (1966).

Fengel, D. and Wegener, G., "Wood chemistry, ultrastructure, reactions", *Walter De* 33 (9): 333-335 (1989).

Fung, D. P. C., Stevenson, J. A. and Shields, J. K., "The effect of heat and on the dimensional and anatomical properties of Douglas-fir", *Wood Science*, 7 (1): 13-20 (1974).

Gu, H. M., and Hunt, J.F., "Two-dimensional finite element heat transfer model of softwood. part III. effect of moisture content on thermal conductivity", *Wood and Fiber Science*, 39 (1): 159-166 (2007).

Gündüz, G., Niemz, P. and Aydemir, D., "Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat-treated fir" *Wood Drying Tecnology*, 26 (9): 1135-1139 (2008).

Gündüz, G. and Aydemir, D., "Some physical properties of heat-treated hornbeam wood", *Wood Drying Tecnology*, 27 (5): 714-720 (2009).

- Hill, C. A. S., "Wood modification", *John Wiley & Sons, Ltd.*, England, 99-126 (2006).
- Hillis, W. E., "The role of wood characteristics in high temperature drying", *Journal Industrial Wood Science*, 7 (2): 60-67 (1975).
- Hillis, W. E. and Rozsa, A. N., "The softening temperatures of wood", *Holzforschung*, 32 (2): 68-73 (1978).
- ISO 7724-2 "Paints and varnishes-colorimetry-part II: colour measurement", *ISO standart*, (1984).
- Johansson, D. and Morèn, T., "The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (2): 104-110 (2006).
- Kalaycıoğlu, H., "Ahşap zemin döşemeleri montaj ve bakımı", *Parke Dekorasyon Dergisi* (12): 94-100 (2003).
- Kaygin, B., Gokhan, G. and Aydemir, D., "Some physical properties of heat-treated paulownia wood", *Drying Technology*, 27 (1): 89-93 (2009).
- Kollmann, F. and Schneider, A., "Über dass sorptionsverhalten wärmebehandelter hölzer", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 21 (3): 77-85 (1963).
- Korkut, S., "The effects of heat treatment on some technological properties in Uludağ fir wood", *Build Environment*, 43 (4): 422-428 (2008).
- Korkut, S., Kök, M. S., Sevim Korkut, D. and Gurkeyen, T., "The effects of heat treatment on technological properties in red-bud maple wood", *BioResource Technology*, 99 (6): 1538-1543 (2008a).
- Korkut, S. and Bektas, İ., "The effects of heat treatment on physical properties of uludag fir and scots pine (*pinus sylvestris* l.) wood", *Forest Products Journal*, 58 (3): 95-99 (2008b).
- Korkut, S. and Özdemir, H., "ThermoWood", *Yapı Dekorasyon Ahşap-Araştırma-Teknoloji-Tasarım-Mobilya ve İç Mimari Dergisi*, (25): 133-136 (2003).
- Kortelainen, S. M., Antikainen, T. and Viitainiemi, P., "The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170 °C, 190 °C, 210 °C and 230°C", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (3): 192-197 (2006).
- Kotilainen, R., "Chemical changes in wood during heating at 150-260 °C PHD thesis", *Jyväskylän University*, Finland, 89-90 (2000).
- MacLean, J. D., "Thermal conductivity of wood", *Heating Piping and Air Conditioning*, 13 (6): 380-391 (1941).

- MacLean, J. D., "Rate of disintegration of wood under different heating conditions", *Proceedings of the AWWA*, 47 (1): 155-169, (1951).
- Mayes, D. and Oksanen, O., "Thermowood handbook", *Finnforest*, Finland, 5-15 (2002).
- Merev, N., "Odun anatomisi ve odun tanıtımı", *Lisans Ders Notları, KTÜ. Orman Fakültesi*, Trabzon, 36-52 (1984).
- Militz, H., "Thermal treatment of wood: European processes and their background", *International Research Group on Wood Preservation*, Cardiff-Wales, 1-17 (2002).
- Mitsui, K., "Changes in color of spruce by repetitive treatment of light-irradiation and heat treatment", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 64 (3): 243-244 (2006).
- Niemz, P., "Thermoholz ist in herstellung von thermisch vergütetem holz", *Exakt*, (10): 34-40 (2008).
- Örs, Y. ve Keskin, H., "Ağaç malzeme bilgisi", *Atlas*, İstanbul, 87-102 (2001).
- Özçifçi, A., Altun, S. ve Yapıcı, F., "Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye 13-15 Mayıs (2009).
- Pizzi, A., Stephanou, A., Boonstra, M. J. and Pendlebury, A. J., "A new concept on the chemical modification of wood by organic anhydrides", *Holzforschung*, 48 (1): 91-94 (1994).
- Rice, R. W. and Shepard, R., "The thermal conductivity of plantation grown white pine and red pine at two moisture content levels", *Forest Products Journal*, 54 (1): 92-94 (2004).
- Rusche, H., "Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 °C. part II. reaction kinetics of loss of mass during heat treatment of wood", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 31 (8): 307-312 (1973).
- Sanderman, W. and Augustin, H., "Chemical investigations on the thermal decomposition of wood-part III: chemical investigation on the course of decomposition", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 22 (10): 377-386 (1964).
- Santos, J. A., "Mechanical behaviour of eucalyptus wood modified by heat wood", *Science Technology*, (34): 39-43 (2000).
- Schneider, A., "Investigations on the convection drying of lumber at extremely high temperatures", *Holz als Roh-und Werkstoff*, 31 (1): 198-206 (1973).
- Seborg, R. M., Tarkow, H. and Stamm, A.J., "Effect of heat upon the dimensional stabilization of wood", *Journal of the Forest Products Research Society*, 3 (3): 59-67 (1953).

- Shi, J. L., Kocaefe, D. and Zhang, J., “Mechanical behaviour of québec wood species heat-treated using thermowood process”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65 (4): 255-259 (2007).
- Stamm, A., Burr, H. and Kline, A., “Stayb-wood-a heat stabilized wood”, *Industrial and Engineering Chemistry*, 38 (6): 630-634 (1946).
- Stamm, A. J., “Thermal degradation of wood and cellulose”, *Industrial and Engineering Chemistry*, 48 (3): 413-417 (1956).
- Suleiman, B. M., Larfeldt, J., Leckner, B. and Gustavsson, M., “Thermal conductivity and diffusivity of wood”, *Wood Science and Technology*, 33 (6): 465-473 (1999).
- Sweet, M. S. and Winandy, J. E., “The influence of degree of polymerisation of cellulose and hemicellulose on the strength loss of fire-retardant-treated wood”, *Holzforschung*, 53 (3): 311-317 (1999).
- Şahin, Kol, H., “Thermal and dielectric properties of pine wood in the transverse direction”, *BioResources*, 4 (4): 1663-1669 (2009).
- Terziev, N., Boutelje, J. and Söderström, O., “The influence of drying schedules on the redistribution of low molecular weight sugars in”, *Holzforschung*, 47 (1): 3-8 (1993).
- Tjeerdsma, B. F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P. and Militz, H., “Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 56 (3): 149-153 (1998a).
- Tjeerdsma, B., Boonstra, M., and Militz, H., “Thermal modification of non-durable wood species: Part 2. improved properties of thermally treated wood,” *IRG/WP 98-40124* Stockholm, 20-22 (1998b).
- Tjeerdsma, B. and Militz, H., “Chemical changes in hydrothermal wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63 (2):102-111 (2005).
- Tremblay, C., “Physical properties of jack pine thermally modified at three temperature levels”, *European Conference on Wood Modification*, Zürich, 183-186 (2007).
- TS 2470: “Odunda Fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikleri”, *TSE*, Ankara, Kasım (1976).
- TS 2471: “Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini”, *I. Baskı, TSE*, Ankara, Kasım (1976).
- TS 2472: “Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığın tayini”, *TSE*, Ankara, Kasım (1976).

- TS 2474: “Odunda statik eğilme dayanımının tayini”, *TSE*, Ankara, (1977).
- TS 2478: “Odunda statik egilmede elastiklik modülünün tayini”, *TSE*, Ankara, Kasım (1978).
- TS 2595: “Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini”, *TSE*, Ankara, (1997).
- TS 4086: “Wood-determination of volumetric swelling”, *TSE*, Ankara, (1983).
- TS 4176: “Odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin tayini için homojen meşçerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması”, *I. Baskı, TSE* Ankara, Eylül (1984).
- Ünsal, O. and Ayrılmış, N., “Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum wood”, *Journal Wood Science*, 51 (4): 405-409 (2005).
- Ünsal, O., Korkut, S. and Atik, C., “The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus”, *Wood. Maderas. Cienciay Tecnologia*, 52 (2): 145-152 (2003).
- Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A. and Viitaniemi, P., “The effect of heat treatment on the properties of spruce”, *IRG/WP 94-40032 Annual*, Indonesia, 3-4 (1994).
- Viitaniemi, P., “Thermowood-modified wood for improved performance”, *In: Proceedings of wood the ecological material the 4th Euro-wood symposium*, Stockholm, 22-23 (1997).
- Vital, B. R. and Lucia, R. M. D., “Effect of heating on dimensional stability and hygroscopicity of wood”, *Revista-Arvore*, 6 (2): 150-161 (1982).
- Vital, B. R., Lucia, R. M. D. and Euclides, R. F., “Effect of heating on some properties of eucalyptus saligna wood”, *Revista-Arvore*, 7 (2): 136-146 (1983).
- Yıldız, S., “Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri”, Doktora Tezi, *KTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 240-249 (2002).
- Yıldız, S., Gezer, E. G. and Yıldız, Ü. C., “Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat”, *Building and Environment*, 41 (12): 1762-1766 (2006).
- Yıldız, S. and Gümüşkaya, E., “The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood”, *Building and Environment*, 42 (1): 62-67 (2007).

Zaman, A., Alén, R. and Kotilainen, R., “Thermal behaviour of scots pine and silver birch at 200-230 °C”, *Wood and Fiber Science*, 32 (2): 138-143 (2000).

Winandy, J. E. and Morrell, J.J., “Relationship between incipient decay, strength and chemical composition of douglas-fir heartwood”, *Wood and Fiber Science*, 25 (3): 278-288 (1993).

Winandy, J. E. and Lebow, P. K., “Modelling strength loss in wood by chemical composition. part I. An individual component model for southern pine”, *Wood and Fiber Science*, 33 (2): 39-254 (2001).

Winandy, J. E., and Rowell, R. M., “The chemistry of wood strength. In: The chemistry of solid wood”, *ACS Sym Series 208*, Washington DC, 211-255 (1984).

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf SEFİL 1980'de Erzurum'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Pasinler Çok Programlı Lisesi, Mobilya ve Dekorasyon Bölümü'nden mezun olduktan sonra 1996 yılında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya Dekorasyon Eğitimi Bölümü'ne girdi; 2000 Temmuz ayında "iyi" derece ile mezun olduktan sonra aynı yıl Eylül ayında Erzurum'da Göreve başladı. Burada beş yıl çalıştıktan sonra 2005 yılında Bolu İzzet Baysal Teknik ve Endüstri Meslek Lisesine tayini çıktı ve halen görevini sürdürmektedir.2007 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Borazanlar Mah. Bozkurt Sok. 21/2 BOLU
Tel : 0 506 351 50 16
E-posta : yusuf_gardas@hotmail.com