

**KIZILAĞAÇ VE DOĞU LADİNİ ODUNLARININ
BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ**

Zeliha ÇALIOVA

**KIZILAĞAÇ VE DOĞU LADİNİ ODUNLARININ BAZI FİZİKSEL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ**

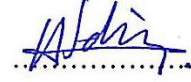
Zeliha ÇALIOVA

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2011**

Zeliha ÇALIOVA tarafından hazırlanan “KIZILAĞAÇ VE DOĞU LADİNİ ODUNLARININ BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL



Tez Danışmanı, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/ 06/ 2011

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Şeref KURT (KBÜ)



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



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



...../...../2011

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

Doç. Dr. Nizamettin KARAMAN

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.”

Zeliha ÇALIOVA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIZILAĞAÇ VE DOĞU LADİNİ ODUNLARININ BAZI FİZİKSEL, MEKANİK VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ

Zeliha ÇALIOVA

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

Haziran 2011, 92 sayfa

Bu çalışmada, ThermoWood yöntemiyle ısıtıl işlem uygulanan Doğu ladini ve Sakallı kızılâğaç odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu iki ağaç türü üç farklı sıcaklıkta (190, 205 ve 212 °C) ve iki saat süreyle ThermoWood yöntemiyle ısıtıl işleme tabi tutulmuştur.

Isıl işleme tabi tutulan test örneklerinde fiziksel özelliklerden; hava kurusu yoğunluk, denge rutubet miktarı, boyutsal değişim, ısı iletkenliği ve renk değişimi değerleri, mekanik özelliklerden; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci değerleri belirlenmiştir ve kontrol numunelerine göre değişim oranları hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; ısıtım işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisinin genel olarak olumlu yönde olduğu gözlenmiştir. Isıtım işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte denge rutubet miktarı azalmış, boyutsal stabilizasyon önemli oranda artmış, odunların ısı yalıtkanlık değeri artmış, renk homojen bir şekilde koyulaşmıştır. Mekanik özelliklerden, eğilme direncinde ısıtım işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak düşüş gözlenmiş, elastikiyet modülünde önce çok az bir artış sonra azalma gözlenmiş ve liflere paralel basınç direnci artış göstermiştir.

Anahtar Sözcükler : Isıtım işlem, doğu ladini, kızılğaç, thermowood, fiziksel özellikler, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 711.3.023

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF HEAT-TREATMENT ON SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALDER AND ORIENTAL SPRUCE

Zeliha CALIOVA

Karabük University

**Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Furniture and Decoration Education**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

June, 2011, 92 pages

In this study, the physical and mechanical properties of alder and oriental spruce wood species heat-treated using ThermoWood process were investigated. The wood species were heat-treated at temperatures 190, 205 and 212 °C for 2 hour 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 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 heat treatment method clearly decreased the static bending . 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 alder were larger than that of oriental spruce.

Key Words : Heat treatment, alder, oriental spruce, thermowood, physical properties, mechanical properties

Science Code : 711.3.023

TEŞEKKÜR

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

Çalışmalarım sırasında bilimsel düşünceleri ile beni aydınlatan tavsiyelerini aldığım hocalarım Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ'ye, Yrd. Doç. Dr. Fatih Yapıcı'ya ve Yrd. Dç. Dr. Suat ALTUN'a teşekkür ederim. Ayrıca, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, çok kıymetli arkadaşım Abant İzzet Baysal Üniversitesi Öğr. Gör. Serdar KAÇAMER'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada kullanılan tomrukları temin etmeme yardımcı olan Sayın Ferudun CANBULAT'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.

Manevi desteğini esirgemeyen eşime ve bugünlere gelmemde en büyük katkı sahibi olan anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	3
GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. ISIL İŞLEM DEĞİŞKENLERİ.....	3
2.1.1. Sıcaklık ve Muamele Süresinin Etkisi.....	3
2.1.2. Atmosfer Koşulları.....	3
2.1.3. Açık ve Kapalı Sistemler.....	4
2.1.4. Ağaç Türlerinin Etkisi.....	4
2.1.5. Hidro ve Hidrotermal Muamele.....	4
2.1.6. Örnek Boyutlar.....	5
2.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	5
2.3. THERMO WOOD ISIL İŞLEM YÖNTEMİ.....	5
2.3.1. Yöntemin Sınıflandırılması Ve Kullanıldığı Yerler.....	7
2.4. ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ ODUNUN ÖZELLİKLERİ.....	8
2.4.1. Isıl İşlemin Kimyasal Etkileri.....	8
2.4.1.1. Hemiselüloz.....	8
2.4.1.2. Selüloz.....	12

2.4.1.3. Lignin	13
2.4.2. Isıl İşlemin Odunun Fiziksel Etkileri Üzerine Etkisi.....	14
2.4.2.1 Hava Kurusu Yoğunluk.....	14
2.4.2.2. Boyutsal Değişim.....	15
2.4.2.3. Renk.....	16
2.4.2.4. Isı iletkenliği.....	16
2.4.2.5. Denge Rutubet Miktarı (DRM)	16
2.4.2.6. Koku Oluşumu.....	16
2.4.3. Isıl İşlemin Odunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi	17
2.4.3.1. Eğilme Direnci.....	17
2.4.3.2. Direnç ve Yüzey Pürüzlülüğü	17
2.4.3.3. Elastikiyet Modülü.....	18
2.4.3.4. Basınç Direnci.....	18
2.4.3.5. Makaslama Direnci.....	19
2.4.3.6. Çekme Direnci.....	19
2.4.3.7. Renk.....	19
2.4.4. Isıl İşlemin Biyolojik Etkileri.....	19
2.5. LİTERATÜR ÖZETİ.....	20
BÖLÜM 3.....	26
MATERYALVE METOT.....	26
3.1. MATERYAL	26
3.1.1. Ağaç Malzeme.....	26
3.1.1.1. Doğu Ladini.....	26
3.1.1.2. Sakallı Kızılağaç.....	28
3.2. METOT	29
3.2.1. Örnek Ağaçların Seçilmesi ve Hazırlanması	29
3.2.2. Isıl İşlem Uygulanması	30
3.2.3. Deneysel Çalışmalar	31
3.2.3.1. Denge Rutubet Miktarı (DRM)	31
3.2.3.2. Hava Kurusu Yoğunluk.....	32
3.2.3.3. Boyutsal Değişim.....	33
3.2.3.4. Renk Değişimi	34

3.2.3.5. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi Deneyi	35
3.2.3.6. Liflere Paralel Basınç Direnci	36
3.2.3.7. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü.....	37
3.2.3.8. Kontrol Örneklerine Göre Meydana Gelen Değişimlerin Hesaplanması	39
3.2.3.9. Verilerin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi.....	39
BÖLÜM 4	41
BULGULAR	41
4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	41
4.1.1. Denge Rutubet Miktarı (DRM)	41
4.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk	43
4.1.3. Boyutsal Değişim	46
4.1.4. Renk Değişimi.....	51
4.1.5. Isı İletkenliği	55
4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER	58
4.2.1. Liflere Paralel Basınç Direnci	58
4.2.2. Eğilme Direnci	61
4.2.3. Elastikiyet Modülü	64
BÖLÜM 5	67
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	67
5.1. Fiziksel Özellikler.....	67
5.1.1. Denge Rutubet Miktarı	67
5.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk	68
5.1.3. Boyutsal Değişim	70
5.1.4. Renk Değişimi.....	71
5.1.5. Isı İletkenliği	73
5.2. Mekanik Özellikler.....	74
5.2.1. Liflere Paralel Basınç Direnci	74
5.2.2. Eğilme Direnci	76
5.2.3. Elastikiyet Modülü.....	78

BÖLÜM 6	81
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Isıl işlem diyagramı.....	7
Şekil 2.2. Hemiselülozun olası degradasyon oluşumu.....	11
Şekil 2.3. Selülozun yapısı.....	13
Şekil 3.1. Kontrol ve test örneklerinin elde edildiği taslakların tomruktan alınışı...30	
Şekil 3.2. Boyutsal değişimi hesaplamak için kullanılan örnek boyutları.....	33
Şekil 3.3. Üç boyutlu CIE L*a*b* renk bölgeleridir.....	34
Şekil 3.4. QTM-500 cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı deneyi.....	36
Şekil 3.5. Üniversal test makinesinde liflere paralel basınç direnci.....	37
Şekil 3.6. Üniversal test cihazında eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi.....	39
Şekil 4.1. DRM'nin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	41
Şekil 4.2. Hava Kurusu yoğunluk değerlerinin ısı işlem bağı olarak değişimi	44
Şekil 4.3. Kızılağaç odununda daralma yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	49
Şekil 4.4. Ladin odununda daralma yüzdelerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	51
Şekil 4.5. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen renk değişimi.....	52
Şekil 4.6. Isıl işlemin kızılağaçta meydana getirdiği renk değişimi.....	54
Şekil 4.7. Isıl işlemin ladin odununda meydana getirdiği renk değişimi.....	54
Şekil 4.8. Ladin ve kızılağaç odununun ısı iletkenliğinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	58
Şekil 4.9. Liflere paralel basınç direncinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	59
Şekil 4.10. Ladin ve kızılağaç odununda eğilme direncinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	62
Şekil 4.11. EM'nin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.....	65
Şekil 5.1. Isıl işlem sonucu DRM'nin kontrole göre azalma oranları.....	68
Şekil 5.2. Isıl işlem sonucu yoğunluğun kontrole göre azalma oranları.....	69
Şekil 5.3. Hacimsel daralma yüzdelerine ait azalma oranları.....	70
Şekil 5.4. Isıl işlem sonucu toplam rengin kontrole göre koyulaşma oranları.....	72

Şekil 5.5. Isı iletkenliğine ait azalma oranları.....	73
Şekil 5.6. Isıl işlem sonucu basınç direncinin kontrole göre oranları.....	75
Şekil 5.7. Isıl işlem sonucu eğilme direncinin kontrole göre azalma oranları.....	78
Şekil 5.8. Isıl İşlem sonucu elastikiyet modülünün kontrole göre oranları.....	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Thermo-S kullanım alanları.	8
Çizelge 2.2. Thermo-D kullanım alanları.....	8
Çizelge 3.1. Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri.	29
Çizelge 4.1. DRM üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	41
Çizelge 4.2. DRM üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları	42
Çizelge 4.3. Isıtımın DRM üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları	43
Çizelge 4.4. Isıtımın DRM üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları	43
Çizelge 4.5. Hava kurusu yoğunluk değerleri	44
Çizelge 4.6. Hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	45
Çizelge 4.7. Hava kurusu yoğunluğa ısıtımın etkisine ilişkin BVA sonuçları....	45
Çizelge 4.8. Isıtımın hava kurusu yoğunluk üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	46
Çizelge 4.9. Kontrol ve ısıtım tabii tutulmuş örneklerin daralma yüzdeleri.....	46
Çizelge 4.10. Daralma yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.....	47
Çizelge 4.11. Kızılağaç odununda ısıtımın daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	48
Çizelge 4.12. Kızılağaç odununda ısıtımın daralma yüzdeleri üzerine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	48
Çizelge 4.13. Ladin odununda ısıtımın daralma yüzdeleri üzerine ilişkin BVA sonuçları.....	50
Çizelge 4.14. Ladin odununda ısıtımın daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	50
Çizelge 4.15. Isıtım tabii tutulmuş örneklerin toplam renk değişimi.....	51
Çizelge 4.16. Renk değişimi üzerine odun türü ve ısıtım sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	52
Çizelge 4.17. Isıtımın renk değişimi üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	53

Çizelge 4.18. Isıl işlemin renk değişimi üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	53
Çizelge 4.19. Isı iletkenliği değerleri.....	55
Çizelge 4.20. Isı iletkenliği üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	56
Çizelge 4.21. Kızılağaç odununda ısı işlemin teğet yöndeki ısı iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	56
Çizelge 4.22. Kızılağaç odununda ısı işlemin teğet yöndeki ısı iletkenliğine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	57
Çizelge 4.23. Ladin odununda ısı işlemin teğet yöndeki ısı iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	57
Çizelge 4.24. Ladin odununda ısı iletkenliği üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	57
Çizelge 4.25. Liflere paralel basınç direnci değerleri.....	59
Çizelge 4.26. Basınç dirençleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	60
Çizelge 4.27. Isıl işlemin basınç dirençleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	60
Çizelge 4.28. Isıl işlemin liflere paralel basınç dirençleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	61
Çizelge 4.29. Eğilme direnci değerleri.....	61
Çizelge 4.30. Eğilme direnci üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	63
Çizelge 4.31. Isıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	63
Çizelge 4.32. Isıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	64
Çizelge 4.33. Elastikiyet modülü değerleri.....	64
Çizelge 4.34. Elastikiyet modülü üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	65
Çizelge 4.35. Isıl işlemin elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.....	66
Çizelge 4.36. Isıl işlemin elastikiyet modülüne etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H₂ : Hidrojen
C : Karbon
F : Kuvvet
A : Alan
L : Levoglukozan
β : Beta

KISALTMALAR

VTT : Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi
ASTM : American Society for Testing and Materials
DRM : Denge Rutubet Miktarı
t : Teğet yön
r : 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

GİRİŞ

Endüstrinin pek çok alanında, kullanımının kolaylığı ve sahip olduğu olumlu özelliklerinden dolayı odun, yüzyıllar öncesinden bugüne özelliklerinin daha da iyileştirilmesi için araştırılmaktadır. Bu araştırmalar esnasında odunun olumsuz özelliklerini azaltmak veya tamamen yok etmek amaçlanmıştır. İşte bu nedenle geliştirilen yöntemlerden biride ısı işlem yöntemidir.

Isıl işlem, hücre çeperinin polimer bileşiklerinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişmelerle sonuçlanan fiziksel bir işlemdir. Metodun temel fikri kimyasal reaksiyonların hızlandığı yaklaşık 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ağaç malzemenin ısı ile muamele edilmesidir.

Isıl işlem uygulaması odunun moleküler yapısının modifiye edilmesine yol açtığından performansını artırmaktadır. Isıl işlem uygulaması ile artan potansiyel nitelikler; mantar ve böceklere karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubeti içeriği, daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite, artan termal izolasyon kabiliyeti, boya adhezyonu, dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresinde uzamadır. Buna ilaveten daha düşük kaliteli ağaç türlerine yeni pazar imkanı sunarak bunların daha kaliteli türlere karşı rekabet gücünü arttırmakta ve sürdürülebilir orman kaynaklarını desteklemektedir. Isıl işlem uygulaması ayrıca kompozit malzemelerde liflere ve kaplamalara; dayanıklılık artma, daha büyük bir stabilite, kullanım süresinde artma, ürün emniyetinde iyileşme, daha yüksek fiyat ederine sahip olma ve güvenilirlik gibi özellikler kazandırmaktadır. Strüktürdeki tüm bu değişmeler insan ve çevre sağlığına zararlı kimyasallar ilave edilmeksizin elde edildiğinden ısı işlem uygulaması emprenyeye ekolojik bir alternatif olarak düşünülmektedir.

Isıl işlem uygulanmış kereste bina dışı cephe kaplaması, iç mekan kaplamaları, parke ve döşeme tahtası, park ve bahçe mobilyaları, bahçe çitleri, çocuk oyun alanı, pencere ve pencere panjurları, iç ve dış kapı, sauna ve sauna elemanları, iç mekan mobilyaları ve müzik aletleri yapımında kullanılmaktadır. Isıl işlem uygulanmış kereste yapı endüstrisinde kullanım için büyük bir potansiyeldir. Yüksek biyolojik tehlike şartları altında önemli faktörler olan odunun dayanımı ve boyutsal stabilitesinin ısı işlem uygulaması ile iyileşmesi önemlidir ve mekanik özellikler üzerinde de etkilidir. Yapılarda meydana gelen tipik kuvvetler ve uygulaması, ısı işlem uygulanmış odunun kırılma davranışı ve tipik direnç karakteristiklerinin (çekme direnci) hesaba katılmasında dikkatlice düşünülmelidir. Diğer taraftan basınç direnci, sertlik ve rijitlik gibi direnç özelliklerinin iyileşmesi bazı kullanım yerleri için ısı işlem uygulanmış kerestenin kullanılmasını desteklemektedir (Mayes and Oksanen, 2002).

Geçmiş tarihte, ısı işlem yöntemin yüzyıllardır bilindiğini, Vikinglerin bin yıl önce çit malzemesi gibi dış yapılarda kullanılan oduna ısı işlem uygulamasından anlamaktayız (Kalaycıoğlu, 2003). Ancak bu konuda ki ilk bilimsel çalışmalar 1915 yılında Tiemann tarafından rapor edilmiştir. Tiemann'a (1915) göre hava kuru su ağırlığındaki odunu 150°C'de 4 saat kızgın buhara tabi tutarak nem eğilimini %10-15 kadar düşürmüştür. Almanya'da 1930'lu yıllarda Stamm and Hansen yaptıkları çalışmada; oduna 205 °C ısı vererek odunun higroskopisini düşürdüğünü rapor etmiştir. 1940'lı yıllarda Amerika'da White ve 1950'li yıllarda Almanya'da Bavendam, Runkel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman and Schneider (1960) çalışmalarında, buldukları bilgileri yayınlamışlar ve bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır. Rusche and Burmester (1970) 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.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. ISIL İŞLEM DEĞİŞKENLERİ

Oduna uygulanan çeşitli ısı işlem metodları vardır ve bu metodlarla ısı işlem uygulanmış odunun özellikleri önemli oranda iyileştirilebilmektedir. Önemli ısı işlem değişkenleri şunlardır.

2.1.1. Sıcaklık ve Muamele Süresinin Etkisi

Odun ısı işleme maruz kaldıkça; uçucu ekstraktiflerin ve bağlı suyun kaybindan dolayı, odun üzerindeki daha az uçucu ekstraktifler odunun yüzeyinden ayrılma eğilimi gösterirler. Bu, odun materyalinin ağırlığında azalma meydana getirir (Hill, 2006).

Isı işlem sıcaklığı yükseldikçe; hücre çeperindeki makromoleküler bileşenlerde kimyasal değişimler oluşur ve bu da daha fazla ağırlık kaybına ve renk değişimine neden olur (Hill, 2006).

2.1.2. Atmosfer Koşulları

Isı işlem, havada, vakum veya inert atmosfer altında yapılabilir. Oksijen altındaki ısı işlem muamelesi, oksidatif işlemlerin oluşmasına ve buda materyalin özelliklerinde kimyasal degradasyonda önemli farklılıklara neden olur. Ayrıca ısı transfer ortam olarak ve oksijen olmaksızın yağda ısı işlem (Menholz) uygulanmıştır. Eğer sistemde su bulunursa bu oksidasyon işlemini azaltır (Hill, 2006).

2.1.3. Açık ve Kapalı Sistemler

Kapalı sistemlerde odunun ısınması; odunun içinde yer alan kimyasal değişikliklerin etkisi ile bozunma ürünlerinin oluşmasına olanak sağlar. Bu nedenle reaktördeki basınç daha da artacaktır. Asitlerin varlığı; hücre çeperinin polisakkarit bileşenlerinin hızlıca yıkımıyla sonuçlanan, hemiselüloz üzerindeki asetil gruplardan kaynaklanır (Stamm, 1956). Açık sistemde ısı işlem bütün bu ürünlerin giderilmesine olanak sağlar. Eğer taze haldeki odun kapalı sistemde işleme tabi tutulursa bu süreç yüksek buhar basıncında gerçekleşir ve su açık sistemden dışarı çıkar. Bazı süreçlerde yeniden dolaşım sistemi sağlanır. Bu yoğunlaştırılabilir ürünler (uçucu ekstraktifler ve su) ve yıkıcı ürünler (asetik asit), atmosfer muamelesi reaktöre dönmeden önce kaldırılır (Hill, 2006).

2.1.4. Ağaç Türlerinin Etkisi

Çeşitli ağaçların termal, hidro veya hidrotermal muamele görmesi odunda ağırlık kaybına neden olur. Genellikle sert odunlarda yumuşak odunlara göre daha çok ağırlık kaybı olduğu görülmüştür (Mac. Lean,1951; Zaman et, al.,2000; Millitz, 2002).

2.1.5. Hidro ve Hidrotermal Muamele

Suyun varlığı veya su buharı; odunun içindeki ısı transferi ve ısıl işlemin kimyasını etkiler (Burmester, 1981). Kuru muamele koşulları altında odun, ısıl işlem yapılmadan önce kurutulur veya açık sistemin kullanılmasıyla su ortadan kaldırılır. Kapalı sistemde, odundan buharlaştırılmış su, süreç boyunca yüksek basınç buharında kalır. Buhar da bir ısı transfer ortamında reaktör hareketinin içine enjekte edilir ve ek olarak bu hareket oksidatif süreçleri sınırlandırıp örtebilir. Böyle buhar muameleli süreçler hidrotermal muameleli olarak adlandırılır. Odun suyun içinde ısıtılıyorsa bunun hidrotermal süreç olduğu bilinmelidir. Hidrotermal muamelede şekerin üretimi için biokütlenin işlenmesi teknolojik olarak yaygın bir şekilde çalışılmaktadır (Hill, 2006).

2.1.6. Örnek Boyutlar

Malzemenin doğasındaki heterojenlik, ısıtım işlem görmüş odunda da farklı sonuçlara neden olur. Odunun içine doğru olan ısı transfer hızı çok önemlidir. Kuru odundaki ısıtım iletkenliği düşüktür ve ısıtım metodunun mümkün olduğu kadar bu muamelede istihdam sağlanması gerekmektedir. Isıtım transferi buharla ısıtım kullanılarak geliştirilebilir. Isıtım transferi büyük boyutlardaki kereste için çok önemli bir faktördür.

2.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı ülkemizde yetişmekte olan sakallı kızılgağaç ve doğu ladini odunlarının, ThermoWood metoduyla ısıtım işleme tabi tutulduktan sonraki fiziksel ve mekanik özelliklerinden bazılarında meydana gelen değişimleri incelemektir. Bu amaçla; odun örnekleri 190, 205 ve 212 °C sıcaklıklarda 2 saat süreyle ısıtım işleme tabi tutularak fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimler ortaya konmuştur.

2.3. THERMO WOOD ISITIM İŞLEM YÖNTEMİ

Isıtım işlem birkaç metoduyla (Hollanda –Plato yöntemi, Fransa-Retofication ve Les Bois Perdure, Almanya-Yağla ısıtım İşlem, Finlandiya-ThermoWood) yapılmasına rağmen, en yaygın kullanıma sahip olan yöntem Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş ve ThermoWood olarak adlandırılan yöntemdir (Baltacı, 2010). Ahşap malzemenin yüksek sıcaklıklarla muamele edilmesi olan bu yöntem Finlandiya başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde kullanılmaktadır

Isıtım işlem süresince kullanılan enerjinin % 80'i ilk kademe de kurutma için kullanılmaktadır. Bu kullanılan enerji klasik kereste kurutma sürecinde kullanılan enerjinin sadece % 25 'ini oluşturmaktadır. Ayrıca ısıtım işlem yönteminde hiçbir kimyasal gerektirmeyip sadece su ve ısı enerjisi kullanılmaktadır (Mayes and Oksanen, 2002). Isıtım işlem kademeleri aşağıda belirtilmiştir.

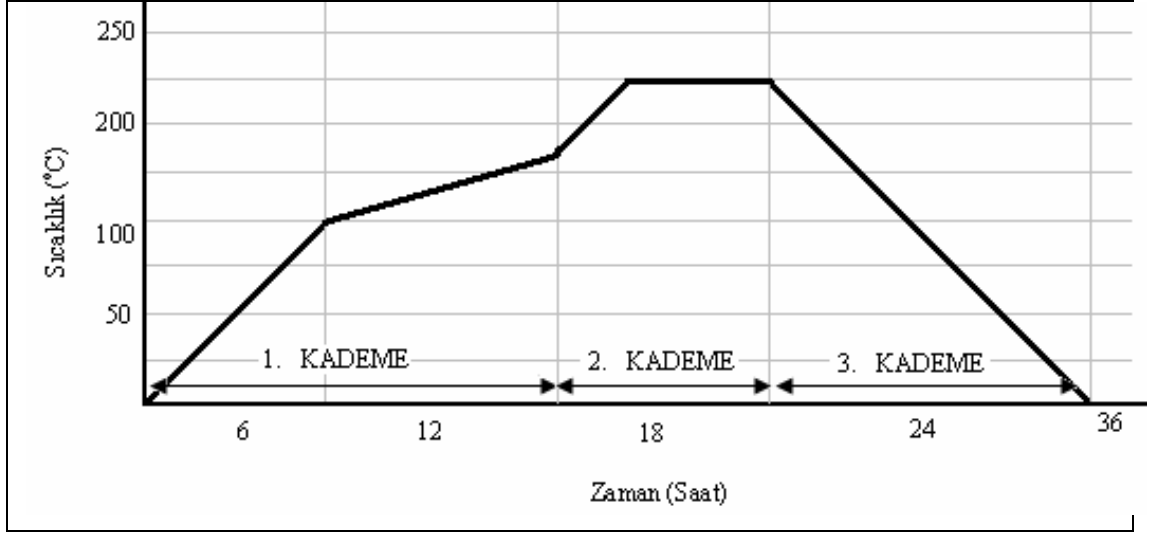
Kademe 1 (Kurutma Fazı): Isıl işlemde en fazla zaman alan kademedir. Bu kademe ayrıca yüksek sıcaklıkta kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Kuruma fazının başlangıcında ahşap malzeme kuru yada yaş halde olabilir.

Başarılı bir kurutmada iç çatlakların olmaması önemlidir. Sıcaklık artırılarak su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta kurutma yapılır. Burada önce ahşabın sıcaklığı hızla 100 °C'ye çıkarılır, daha sonra yavaşça 130 °C'ye kadar yükseltilir. Aynı zaman da ahşapta çatlakları önlemek için, ahşabı ön koruma amaçlı su buharı tatbik edilir. Nem miktarı hemen hemen sıfıra indirilir. Kurutma aşamasının süresi odun türü, kereste kalınlığı ve odunun rutubet içeriğine bağlıdır.

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.

Kademe 2 (Isıl İşlem Fazı): Birinci evreyi takiben ısıl işlem prosesi seviyesine bağlı olarak sıcaklığın 165-212 °C'ye kadar yükseltilebildiği kapalı odalarda yapılmaktadır. Yanmasını engellemekte kullanılan buhar hem odunun korunmasında hem de odunda gerçekleşen kimyasal değişime etkisi bulunmaktadır. Isıl işlem uygulama amacına bağlı olarak 2-3 saat sabit tutularak gerçekleştirilir.

Kademe 3 (Kondisyonlama): Odun ısıl işlemde sonra kontrollü olarak soğutulur. Burada odun ve dış hava arasındaki yüksek sıcaklığın sebep olabileceği çatlamalardan dolayı bu basamak titizlikle takip edilmelidir. Muamele sıcaklığına ve keresteye bağlı olarak kondisyonlama 5-15 saat arasında yapılır. (Korkut ve Özdemir, 2003).



Şekil 2.1. Isıl işlem diyagramı (Mayes and Oksanen, 2002).

2.3.1. YÖNTEMİN SINIFLANDIRILMASI VE KULLANILDIĞI YERLER

Yumuşak ve sert odun türlerinin anatomik yapılarının farklı olması nedeniyle bu odunlarda farklı sınıflandırmalar uygulanmaktadır.

En sık kullanılan sınıflandırma ThermoWood sınıflandırmadır (Sidorova, 2009).

ThermoWood uygulamasında sıcaklığın artmasına paralel olarak odun özellikleri yavaş yavaş değişikliğe uğramaktadır. Bu uygulamada genel de yumuşak odunlarda 185-212 °C, sert odunlarda 165-200 °C ısı işlem uygulanmaktadır. Sıcaklık derecesi odunun biyolojik dayanımı, çekme, şişme ve renk değişimini etkileyen anahtar özelliktir (Aydemir, 2007).

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

Thermo-S deki S stabil ve sağlamlık anlamına gelir (Güller and Korkut, 2006). 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 2.1' de verilmiştir (Mayes and Oksanen, 200

Çizelge 2.1. 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 (Güller ve Korkut, 2006). Dış görünüşle birlikte, dayanıklılık 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 2.2’de verilmiştir (Mayes and Oksanen, 2002).

Çizelge 2.2. 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

Diğer sınıflandırma Stellac sınıflandırmasıdır. D1,D2, D3 ve T4, T5 olmak üzere 5 sınıftır. D sınıfları için biyolojik dayanıklılık; T sınıfları içinse mukavemet ön plandadır. Stellac sınıflandırmada ısı işlemin sıcaklık değeri 190-250 °C arasındadır (Sidorova, 2009; Baltacı, 2010).

2.4. ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ ODUNUN ÖZELLİKLERİ

Doğal farklılıklarından dolayı ısı işlem uygulanmış kerestelerin özelliklerinde de farklılıklar meydana gelmektedir. Isıl işlem odunda kalıcı fiziksel ve kimyasal özellikler oluşturur. Bu değişim tamamen hemiselülozun termik yıkımı sonucunda meydana gelir. Elde edilmek istenilen değişimler 150 °C’de başlar ve sıcaklığın artmasıyla her kademedede devam eder. Sonuçta nemden dolayı oluşan daralma ve genişleme düşer, biyolojik direnç artar, renk koyulaşır ve odundan birçok ekstraktif madde uzaklaşmış olur. Isıl işlemde sıcaklık en önemli etkidir. Ancak ağaç türü, ısı işlem süresi, işlem atmosferi, basınç, rutubet miktarı ve sıcaklığın eşit dağılımı sonuca doğrudan etkisi bulunmaktadır (Viitanen et al., 1994). Odunun termal bozunması 100 °C sınırından itibaren başlamaktadır. 200 °C’nin üzerinde yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve buhar fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. 270 °C’nin üzerinde odunun piroliz ve yanma olayı başlamaktadır (Fengel and Wegener, 1989).

2.4.1. Isıl İşlemin Kimyasal Etkileri

Yüksek sıcaklıklarda muamele sürecinde hemiselülozların, diğer makro moleküler bileşenlerden daha fazla degrade olduğu kabul edilir. Fakat selüloz ve lignin direncini belirlemek zordur. Genellikle polisakkaritlerin kaybı özellikle 180 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda başlamaktadır. Fakat bu durum muamele şartlarına bağlı olarak değişebilir. Selülozun parçalanması 270 °C’de yoğun olarak gerçekleşmektedir (Garrote et al., 1999). Yapraklı ağaç hemiselüloz üniteleri (pentozanlar), iğne yapraklı ağaç hemiselüloz ünitelerine (heksozlar) göre daha kolay degrade olurlar. Bu yüzden yapraklı ağaçlar, iğne yapraklı ağaçlara göre daha hızlı parçalanırlar. Bunun nedeni de yapılan çalışmalara göre yapraklı ağaçlarda daha fazla sayıda asetil grubunun olmasından dolayı kaynaklandığı ifade edilmektedir (Millet and Gerhrds, 1972; Hillis, 1975; Feist and Sell, 1987).

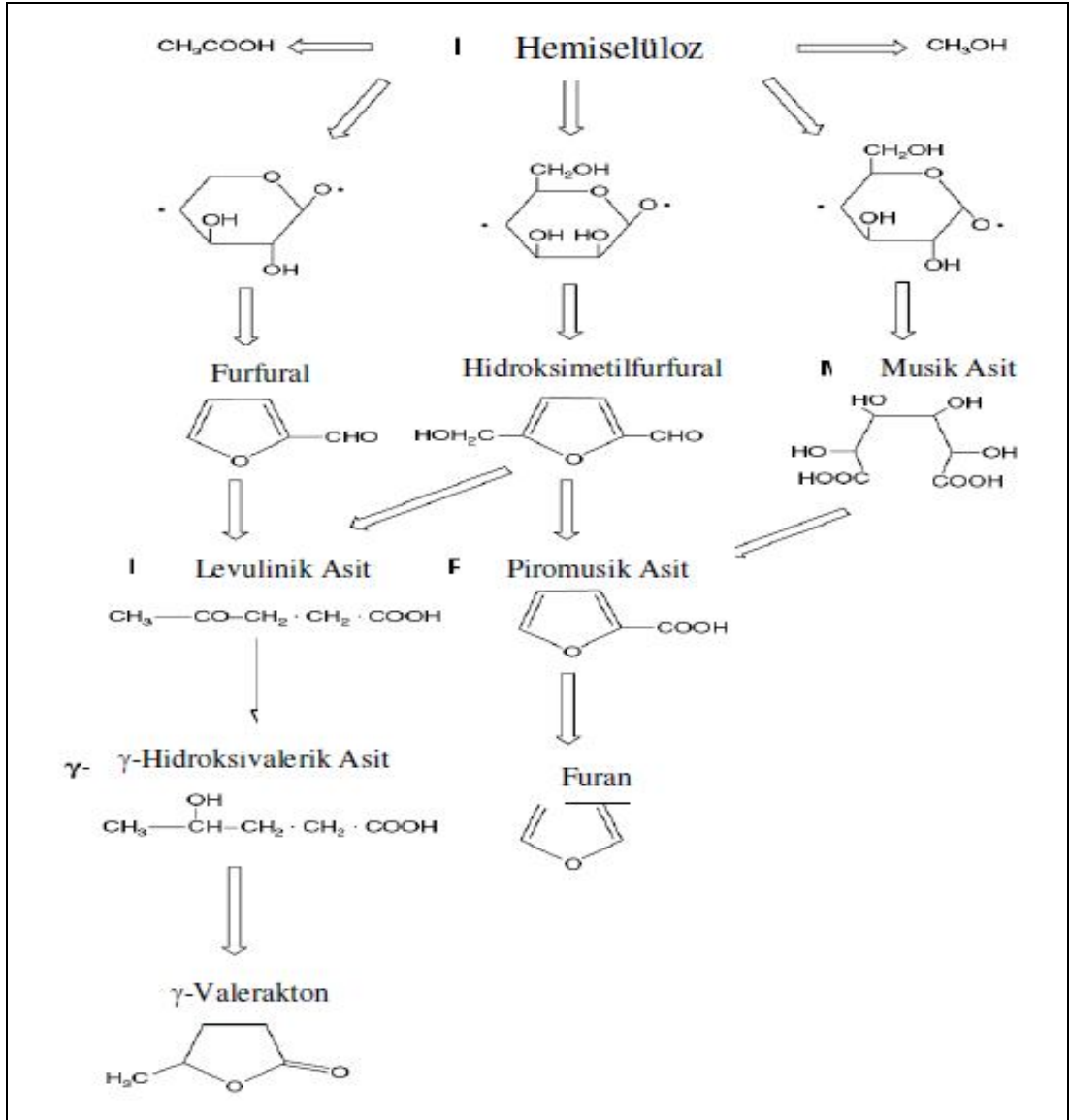
2.4.1.1. Hemiselüloz

Hemiselülozun degradasyonu, sıcaklık ve uygulama süresiyle artar (Bourgois et al., 1989). Odun ısıtıldığında odunun polimerik bileşenlerinin çoğu termal muamele sonucunda yumuşayarak parçalanmaya başlar ve bunun sonucunda çeşitli uçucu

heterofilik bileşenler (furanlar vb.), asetik asit ve metanol oluşumu gerçekleşir. Beall (1969), termogravimetrik analiz (TGA) kullanılarak izole edilmiş hemiselülozun nitrojen ve hava ortamı altında termal degradasyonu çalışılmıştır. Isıtmadan dolayı oluşan % 10'luk ağırlık kaybına neden olan sıcaklık 200 °C sıcaklıklarda İYA ve YA hemiselülozları, karşılaştırıldığında İYA hemiselülozunun termal muameleye daha fazla dirençli olduğu gözlenmiş ve bunun yanında degradasyon sıcaklıkları daha düşük ve degradasyon oranı oksijenli ortamda daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Hemiselülozların bileşenleri ve bileşikleri her ağaç türü için farklılık gösterir. 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 yapraklı ağaçlara 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 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Hemiselülozun olası degradasyon oluşumu (Fengel and Wegener, 1989).

Hemiselüloz polimerlerinin, oligosakkaritlere ve monosakkaritlere depolimerizasyonu sonucunda furfural (pentozlar) ve hidroksil 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).

2.4.1.2. Selüloz

Odunun en önemli bileşenlerinden olan selüloz yapısı gereği çok sağlam bir polimerdir. Bazı kanıtlar tersini söylemesine rağmen selüloz degradasyonu, hemiselülozlardan daha yüksek sıcaklıkta olduğu kabul edilmektedir. Selülozun amorf kısımları termal degradasyondan en fazla etkilenen kısımlardır. Bu bölgeler hemiselülozun heksozan bileşiklerine benzemektedir. Selülozun kristalin bölgeleri 300-340 °C sıcaklıklarda degrade olmaktadır (Kim et al., 2001). Selülozun degradasyonu su varlığında yapılırsa amorf bölgeleri iyileştirerek daha stabil kristalin bölgeler oluşumunu sağlarlar (Fengel and Wegener, 1989). Selüloz zincirlerinin parçalanması selülozun kristallik derecesinde ve DP'deki düşüşler, alkalın ortamda çözülebilen poligosakkaritlerin oluşumuna sebebiyet verir. Selülozun polimerizasyon derecesi, 150 °C sıcaklıkta hava ortamında ısıtılırken hızlı bir düşüş göstermektedir.

Fengel and Wegener (1989), termal olarak muamele edilmiş kayında selülozun polimerizasyon derecesindeki düşüş, sıcaklık 120 °C'nin üzerine çıktığı zaman görülmesine rağmen, izole edilmiş selülozun DP deki düşüş 100 °C sıcaklıklarda baş gösterir. Hava ortamında ısıtma selülozun -OH gruplarının oksidasyondan dolayı karbonil, karboksilik ve kısa zincirli hidroperoksit gruplarının oluşumu meydana gelir. Uzun periyotlarda ısıtma ile karboksilik gruplardaki artışlarla karboksil gruplarının oluşumundan dolayı, selülozik materyallerin sarardığı gözlenir. CO₂ ve CO selülozun 170 °C ısıtılmasıyla oluşur ve elde edilen sonuçlar, hava ortamında yapılan ısıtma nitrojen ortamında yapılanaya göre daha fazla olmaktadır. 300 °C üzerinde piroliz oluşurken reaksiyon kinetiğinde bir değişim meydana getirir. Parçalanmış ürün formları diğer odun bileşenleriyle daha sonra ki zamanlarda reaksiyon verme kabiliyetinde olmalarına rağmen izole edilmiş selülozda bu durum kesin değildir. Levoglukoza, termal degradasyon boyunca selülozda oluşan ilk parçalanma ürünü olarak tanımlanabilir (Sanderman and Augustin, 1964). Diğer oluşan ürünler anhidroglukozlar, furan ve furan bileşikleridir Şekil 2.3'de verilmiştir

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 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).

2.4.2. Isıl İşlemin Odunun Fiziksel Etkileri Üzerine Etkisi

2.4.2.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Odunun ısıl işlemi; uygulanan metod, sıcaklığa maruz bırakılan zamana göre, odunun hacminde ve kütleinde düşmeye sebep olur (Rusce, 1973; Fung et al., 1974). Isıl işlem ile meydana gelen ağırlık kayıpları, mevcut hidroksil gruplarının azalmasıyla görülen odunun yapısındaki suyun kaybı, hücre çeperindeki maddesel kayıpların ve hemiselülozların parçalanmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir (Fengel and Wegener, 1989; Viitanen et al. 1994).

Isıl işlem uygulanmış odun, ısıl işlem uygulanmamış oduna göre daha az yoğunluğa sahiptir. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça odunun hacmi daralır, ağırlık kaybı artar dolayısıyla yoğunluk azalır. Isıl işleminden dolayı odunun hacimsel olarak

daralmasının kütle kaybıyla arasında iyi bir ilişki bulunmuştur (Chang and Keith, 1978).

Düşük sıcaklıkta ısı işlem uygulaması, uçucu ve bağlı suyun kaybıyla düşük kütle kaybına sebebiyet verir. Makro moleküler bileşiklerin kaybı 100°C sıcaklığın üzerinde gerçekleşir ve ilerleyen zaman ve sıcaklıklar kütle kaybını olumsuz etkilemektedir. Hücre çeperindeki materyallerin kaybı, eğer süreç optimum olmazsa fazla oranlarda büzülme oluşumu gerçekleştirebileceğinden odunun boyutsal değişiminde rol alabilir. (Millet and Gerhards, 1972). Ayrıca boyuna yöndeki önemsiz artışın, radyal ve teğet daralmanın sebep olduğu strese katkısının bulunduğu ve ısı işleme maruz kalmış örneklerde teğet yönün, radyal yönle karşılaştırıldığında daha fazla daraldığı belirlenmiştir.

2.4.2.2. Boyutsal Değişim

Boyutsal stabilizasyondaki artış, termal olarak modifiye edilmiş odunda elde edilebilmektedir. Fakat gözlenen etkiler ısıtma işlemine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda boyutsal stabilizasyonun yalnızca kimyasal maddelerin kullanılmasıyla değil, sadece ısı muamelesiyle sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Yıldız, 2007).

Isıl işlemin belirgin bir etkisi olarak; histerezin tipik sigmoid eğrileri korunurken higroskopitesinin azaltılmasıdır. Histerezin pozitif etkisi bağıl nemdeki düşük değişimin ısı işlem uygulanmış odunun rutubet içeriğinde bir değişim yapmamasıdır. Bu özellik odunun boyutsal stabilitesine katkı sağlamaktadır. Çünkü odun su adsorpsiyonu ve desorpsiyonu nedeniyle genişleme ve daralmaya uğramaktadır. Bundan başka su adsorpsiyonundaki azalma odunun tüm daralma ve genişlemesini azalttığından onun boyutsal stabilitesini arttırmaktadır. Genelde ısı işlem uygulanmış odun, düşük daralma ve genişleme değerleri ile oldukça hidrofobiktir (Boonstra, 2008).

2.4.2.3. Renk

Odunda oluşan fiziksel değişim uygulanan metoda bağlıdır. Hava ortamında gerçekleşen kararma nitrojen ortamında yapılanlara göre daha fazla gerçekleşir. 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).

2.4.2.4. Isı iletkenliği

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

2.4.2.5. Denge Rutubet Miktarı (DRM)

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).

2.4.2.6. Koku Oluşumu

Degradasyon ürünlerinin çoğu, ısıl işlem muamelesi süresince oluşur ve bunların bazıları hoş kokulu olmayabilir. Furfural gibi çoğu organik asitler ve aldehitlerin güçlü kokuya sahip olduğu bilinmektedir ve degradasyon ürünleriyle oluşabilir. Isıl

işlem görmüş odunun hoş olmayan kokusu muameleden 2-3 hafta sonra kaybolur (Mc Donald et al., 2002).

2.4.3. Isıl İşlemin Odunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Isıl işlem uygulaması esnasında, gerek odunun içinde gerekse de dışında meydana gelen yarıklar ve çatlaklar, odunun direncinde önemli derecede sorunlar açmakta buda mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Sıcaklık yükseldikçe oluştuğu bilinen formik ve asetik asit formasyonu öncelikle hemiselülozdan başlayarak birçok odun bileşenini tahrip eder.

2.4.3.1. Eğilme Direnci

Eğilme direncinde düşüş, genelde 220 °C'den sonra başlamaktadır. Sonuçlar, ısı işlem görmüş odunun, elastikiyet modülünün değişmesi üzerinde önemli olmadığını göstermiştir. Odun örnekleri % 45 ve % 65 nispi nemde kondisyonlanmaktadır. Odunda budak bulunması ısı işlem görmüş odunun direnç değerlerini; ısı işlem uygulanmamış olana göre daha düşük olur (Aydemir, 2007).

2.4.3.2. Direnç ve Yüzey Pürüzlülüğü

Odunun direnci, sıcaklıkla birinci dereceden ilgilidir. Dirençteki lineer düşüşler 200 °C' den 160 °C' ye doğru değişen sıcaklıklardaki artışlarda daha net göze çarpar. Isının odun üzerinde etkileri 2 tipte toplanabilir. Artan sıcaklıkla oluşan ani etkiler ve odun polimerlerinin termal parçalanmasına neden olan kalıcı etkiler. Isıyla oluşan ani etkiler düzeltilebilir. Fakat kalıcı etkiler düzeltilemez. Ani ve kalıcı etkilerin birleşimi daha fazla zarar meydana getirir. Sıcaklık 55-65 °C'de ilerleyen periyotlarda (2–3 ay) Hemiselüloz ve hemiselülozun depolimerizasyonu yavaşça baş gösterir (Feist et al., 1973; L Van et al., 1990). Bu süre ilerledikçe pirolizin 250 °C de hızlı gerçekleştiği görülmüş olan hücre duvarı polimerlerinin buharlaşması, havasız ortamdaki kömürleşme oluşumu ve hava varlığında gerçekleşen tutuşma artar. Yüksek sıcaklıkta odunun muamelesi, direnç, yüzey kabalığı ve aşınma direncinde bir düşüşe sebep olur (Chang and Keith, 1978).

Yüksek sıcaklıklarda muamele sonuçlarına göre mekanik özelliklerde düşüş göze çarpmaktadır. Yine bu çalışmada elde edilen sonuçlar, direnç düşüşlerinin 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilerek minimize edilebileceği belirtilmiştir (Boonstra et al., 1998). Dirençteki düşüş, yapılan ısı işlemine göre ciddi oranda etkilenir. Ayrıca direnç kayıplarında hidrotermal şartlarda ve hava ortamında, havasız ortamda karşılaştırıldığında, kapalı sistemlerde açık sistemlerde karşılaştırıldığında düşüş daha fazladır (Aydemir, 2007).

2.4.3.3. Elastikiyet Modülü

Odunun elastiki özellikleri üzerine, ısı işlem uygulamasının etkileri eğilme testi süresince elastikiyet modülündeki artmaya rağmen oldukça sınırlıdır. Isı işlem uygulanmış odun, ısı işlem uygulanmamış oduna nazaran hücre çeperinde daha az bağlı suyun bulunması sonucu daha az higroskopik olması ve bu durumun odunu daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilemektedir (Boonstra, 2008).

2.4.3.4. Basınç Direnci

Basınç direnci, radyal yönde azalma ve teğet yönde az miktarda artma gösterirken, boyuna yönde açık miktarda artmaktadır. Boyuna yöndeki artma, ısı işlem uygulaması sonucu bağlı su miktarındaki azalmadan kaynaklanmaktadır.

Liflere dik basınç direnci, liflere paralel basınç direncinden çok daha düşüktür. Isı işlem uygulamasında sonra, lignin hemiselüloz matriksi içindeki değişimler liflere dik yönde basınç direnci üzerine daha göze çarpan etkiye sahiptir. Lignin polimer ağının artan çapraz bağlanması, basınç direnci üzerine pozitif etkiye sahiptir. Isı işlem uygulaması sonucu radyal yöndeki basınç direncindeki azalma ufak radyal çatlaklardan kaynaklanabilir (Boonstra, 2008).

2.4.3.5. Makaslama Direnci

Isıl işlem sonucu, makaslama direncindeki azalma orta lamelin % 20'sini oluşturan polyozların furfural polimerlerine kısmi olarak dönüşmesinde olmaktadır (Stamm, 1964).

Makroyapı düzeyinde, ısıl işlem, makaslama direnci üzerine etki etmektedir. İğne yapraklı ağaç türleri, dar yıllık halkalara sahip olmaları ve ilkbahar odunundan yaz odununa geçişin ani olması ile, yaz odununda teğet çatlaklara karşı hassastır. Kusurlar, oduna uygulanan dış kuvvetler, iç makaslama gerilmelerine sebep olduğu zaman daha hızlı veya artan bir kırılmaya yol açar (Korkut ve Kocaefe, 2009).

2.4.3.6. Çekme Direnci

Selüloz polimerinin depolimerizasyonu ve polimerizasyon derecesinin azalması, çekme direnci kayıplarının ana sebebidir. Isıl işlem uygulaması sonucu, selüloz polimerinin depolimerizasyonuna sebep olan, amorf selülozun az miktarda fakat dikkate değer bozunması gerçekleşmektedir. Bu durum ısıl işlem uygulanmış odunun çekme direncinin azalmasında önemli bir sebeptir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

2.4.3.7. Renk

Isıl işlem uygulaması süresince, odunda meydana gelen oksidatif ve hidrolitik renk değişim reaksiyonlarının sonucunda ahşabın rengi koyulaşır. Bu renk değişimi özellikle yapraklı ağaçlarda olumlu bir etki olarak görülür. Renk, ısıl işlem uygulanmış yapraklı ağaçlara ısıl işlem uygulanmamış olanlara göre daha çok tercih edilir (Johansson, 2005).

2.4.4. Isıl İşlemin Biyolojik Etkileri

Isıl işlem uygulanan çalışmalarda tahrip edici mikroorganizmalara karşı odunun biyolojik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebeplerinden ilki; odunun yapısında doğası gereği varolan suyun buharlaşması ikincisi; mevcut hidroksil

gruplarının azalması ve son olarak bu grupların çürüklüğe daha dirençli olan gruplarla yer değiştirmesinden dolayı olduğu belirlenmiştir (Fengel and Wegener, 1989).

Isıl işlem görmüş odunun direncini ölçmek için 3 tip test yapılmaktadır. Bu testler EN 113 standartlarına göre gerçekleştirilmektedir.

180 °C' ye kadar olan uzun süreli ısıl işlem uygulamalarında, odunun genişleme ve daralmasını azaltmak mümkünken, çürüklüğe karşı dayanımı iyileştirmek mümkün değildir.

2.5. LİTERATÜR ÖZETİ

Şahin Kol (2010), Çam (*Pinus nigra Arnold*) ve göknar (*Abies bornmüllerina Mattf*) odunlarını 212 ve 190 °C' de 2 saat süre ile ThermoWood ısıl işlem yöntemi ile muamele etmişler, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak, ısıl işlemin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve şok direncini azalttığını belirtmiştir. Basınç direnci ve şok direncinin etkilediğini belirtmiştir. Hacimsel daralma ve genişlemenin yarıya düştüğü belirtilmektedir. Çam odunundaki değişimlerin göknarda yüksek olduğu belirlenmiştir.

Akyıldız ve Ateş (2008) sapsız meşe (*Quercus petraea Lieb.*), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa Mill.*), kızılçam (*Pinus brutia Ten.*) ve karaçam (*Pinus nigra Arnold.*) odunlarının DRM 'ye ısıl işlemin etkisini atmosferik basınç altında ve hava ağırlığında 3 farklı sıcaklık (130, 180, 230 °C) ve 2 farklı zamanda (2 ve 8 saat) ısıl işlem uygulayarak araştırmışlardır. Sonuç olarak, 230 °C'de hem 2 saat hemde 8 saat ısıl işlemde DRM'nin düşük değerleri aldığını, diğer örneklerle karşılaştırıldığında 230 °C' de 2 saat ısıl işlemde en düşük DRM değerinin % 7 ile sapsız meşe , en yüksek değerinde % 14,2 ile 130 °C'de 8 saat ısıl işlem görmüş kızılçam odununda olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlarda ısıl işlem arttıkça DRM'nin azaldığı görülmüştür.

Sefil (2010), Doğu kayını ve Uludağ göknarını çeşitli sıcaklıklarda (170, 180, 190, 205, 212 °C) 2 saat süreyle ThermoWood yöntemiyle ısıl işleme tabi tutmuş ve

kontrol gruplarıyla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak; ısı 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.

Şahin Kol ve Sefil (2011), ThermoWood yöntemiyle ısı işlem görmüş, Doğu kayını ve göknar (170, 180, 190, 205, 212 °C' de 2 saat) odununun ısı iletkenlik değerlerini incelemişlerdir. Buna göre; sıcaklık arttıkça ısı işlemin ısı iletkenlik katsayısını azalttığı belirlenmiştir.

Gündüz vd. (2009a), Ahlat odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisini incelemişler ve sonuç olarak; 160 °C'de 2 saat ısı işlemle elastikiyet modülünün yaklaşık %5 arttığını, eğilme direncinin % 7,42, basınç direncinin % 7,55 azaldığını tespit etmişlerdir.

Aydemir (2007), ısı işlem görmüş göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve gürgen(*Carpinus betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini, atmosferik şartlar altında 3 farklı sıcaklık (170, 190 ve 210 °C) ve 3 farklı zamanda (4, 8 ve 12 Saat) odun örnekleri üzerinde uygulamıştır. Sonuç olarak; ısı işlem görmüş örneklerin fiziksel özellikleri üzerinde özellikle de denge rutubeti ve renk değişimi üzerine etkisinin olumlu olduğunu, sıcaklık ve sürenin artmasıyla mekanik ve teknolojik özelliklerde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Gündüz (2008), Ahlat odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde ısı işlemin etkisini araştırmıştır. Bunun için, 2 farklı zaman (160, 180 °C) ve 3 farklı muamele süresi (2, 4 ve 6 saat) atmosferik şartlar altında (\pm hassaslıkta) uygulamıştır. Bu çalışmada, % 50, 65, 85 bağıl nem ortamlarında rutubet içeriğine, parlaklık, renk değişimi ve boyutsal kararlılık ısı işlem sonrası belirlenmiş ve ayrıca mekanik özellikleri (Eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci) ısı işlem sonrası bulunmuştur. Sonuçta fiziksel özelliklerde iyileşme görülürken, mekanik özelliklerde

kayıp gözlenmiştir. 6 saatteki mekanik özelliklerde meydana gelen düşüşün, 2 ve 4 saattekine göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Korkut (2008), Uludağ Göknaının bazı mekanik özellikleri (basınç, EM, eğilme direnci, janka sertlik ve çekme direnci)üzerine ısıtıl işlemin etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak; ısıtıl işlemin, odunun mekanik özelliklerini 0,05 düzeyinde anlamlı bir şekilde düşürdüğü belirlenmiştir.

Korkut ve Güller (2008), Akçağağ odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine ısıtıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda; ısıtıl işlem sıcaklık ve süresine bağılı olarak fiziksel özelliklerden genişlemenin azaldığını ve bu sonucun boyutsal stabilizasyon için önemli olduğunu belirtmişlerdir.

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

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

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

Korkut vd. (2008), 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 vd. (2008b), sarıçam odununun bazı teknolojik özellikleri (eğilmede elastikiyet modülü, 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 işlemde uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak direnç değerlerinin değiştiği ve farklı ısıtma işlem yöntemlerinin kullanılması ile ticari değeri olmayan türlerin daha çok kullanım yerlerinde değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Unsal vd. (2003), ısıtma işleminin okaliptüs odununun renk, fiziksel ve mekanik 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.

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.

Bekhta and Niemz (2003), kayın odununun mekanik özellikleri, renk değişimi ve boyutsal stabilizasyonu üzerine yüksek sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Sonuçta mekanik özelliklerde düşüşün gerçekleştiği, odun renginin koyulaştığı ve odunun boyutsal stabilizasyonunun arttığı belirlenmiştir. Isıl 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 ısıl işlem ve ışık etkisiyle belirlenmiştir. Isıl işlem sonucunda L*, a* ve b* değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Isıl işlemden sonra ışık muamelesi sonucunda L* ve a* değerlerinde düşüş gözlenmesine rağmen b* değerleri ısıl işlem sırasında ciddi bir düşüş göstermiştir. Bu durum ısıl işlem görmüş odunun ışık etkisi altında renk değişimine uğradığı anlamına gelmektedir. Işık yayılımıyla foto termal olarak muamele edilen odunun rengi ısıl işlemle iyileştirilebilmekte fakat gerekli önlemler alınmadığı sürece örneklerde istenmeyen renk değişimlerinin olabileceği söylenmektedir.

Özçifçi vd. (2009), Karabük Yenice bölgesinden temin edilen sarıçam odununa, 150, 170 ve 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat süreyle ısıl işlem uygulamıştır. Yapılan testlerin sonuçları değerlendirildiğinde, ısıl işlemin sarıçamın teknolojik özelliklerini değiştirdiği gözlenmiştir. 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. Isıl işlem sarıçamın eğilme direnci ve elastikiyet modülünde azalmaya neden olurken basınç direncinde artışa neden olmuştur. Mekanik dirençler arasında Isıl işlem uygulamasından en fazla eğilme direncinin etkilendiği belirlenmiştir.

Esteves vd. (2007a), sahil çamı ve okaliptüs odun örnekleri hava ortamında buharla birlikte otoklav içerisinde 2-12 saat ve 190-210 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıyla muamele edilmiştir. Sonuçta odunun su-alış verişinde önemli iyileşmeler meydana gelmiş, denge rutubet oranı çamda % 46 ve okaliptüste % 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 ısıtılma işlemi verdiği tepki iğne yapraklılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tjeerdsma vd. (1998) boyutsal stabiliteyi ve rutubet alışverişini yumuşak termal muamelelerle araştırmışlardır. Boyutsal stabilitedeki gelişim ve odunun rutubet alışverişinin azalmasıyla çapraz bağlanmada artış olduğu görülmüştür.

Vital vd. (1983), 100-155 °C sıcaklıkta 10–160 saat arasında okalıptüs odunu kullanılarak odunu muamele etmiş ve ilerleyen zaman dilimlerinde basınç direncinde artışlar olduğunu gözlemiştir.

Millitz (2002), farklı ısıtılma proseslerini yani odunun; fiziksel, mekanik, biyolojik performansı ve hücre çeperi polimerlerinin kimyasal dönüşümünü incelemiştir. Odunun direnci, odun türü ve muamele şartlarına bağlı olarak kısmen değişmiştir. Şok direnci deneylerde en çok düşüş gösteren özellik olmuştur. Odunun rutubet alışverişinin düşük seviyede olduğu belirlenmiştir.

Repelin and Guyonnet (2005), kayın örnekleri kullanarak, şişme özellikleri farklı, ısıtılma işlem görmemiş ve ısıtılma işlem görmüş odunun lif doygunluk noktasını tarama kalorimetresi ile belirlemişlerdir. Termal muameleyle yüksek sıcaklıkta odunun çalışmasında ve direncinde meydana gelen düşüşlere hemiselüloz yıkılmalarının ve ligninin kimyasal bozunmasının odunun sorpsiyon davranışında önemli değişimlere neden olduğu belirlenmiştir.

Santos (2000), okalıptüs odunu üzerinde % 25'lik su itici etkinlik (ASE) değeri ve 180 °C sıcaklıklarda 3 saat ısıtılma işleminin etkisini araştırmıştır. Isıtılma işlem uygulamasının odunun direncini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Isıtılma işlem uygulanmış odunun çekme direnci % 26 oranlarında düşmesine rağmen, elastikiyet modülü değerlerinin normal odununun değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

3.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada ısıtıl işlem (ThermoWood) görmüş odunun fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, özgül ağırlık ve anatomik özellikler gibi odunun kendi doğal yapısıyla ilgili farklılıklar gözönünde bulundurularak iğne yapraklı ağaçlardan Doğu Ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.] ve yapraklı ağaçlarından dağınık Sakallı Kızılağaç [*Alnus glutinosa* subsp. *Barbata* (C.A. Mey.) Yalt] kullanılmıştır. Aşağıda bu ağaç türlerinin özellikleri hakkında genel bilgiler verilmektedir.

3.1.1.1. Doğu Ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.]

Doğu Ladini, ülkemizde Sovyetler Birliği sınırı ile Ordu- Melet ırmağı arasında, dağların denize bakan yamaçlarında saf ve karışık meşçereler oluşturur. 40-50 m bazen 60 m boylara ulaşabilen, 1,5-2 m çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli birinci sınıf orman ağacıdır (Şahin, 2002).

Doğu Ladini odunu sarımsı beyaz renkte olup, boyuna kesitlerde ipek gibi parlaktır. Diri odun ve öz odun renk bakımından farksız olup gövdenin iç kısmında diri odun ile aynı renkte ancak su oranı daha az olan olgun odun bulunmaktadır. Yıllık halka sınırları belirgin ve yaz odunundan ilkbahar odununa geçiş tedricidir. Yıllık halka içindeki yaz odunu kırmızımsı sarı renkte ve çok dar olup radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturmaktadır. Yaz odunu katılım oranı % 6-50 arasında değişmekte olup en çok rastlanan değer % 22'dir. Dar ve seyrek bir şekilde dağılmış boyuna

reçine kanalları genellikle yaz odunu içinde açık renkte noktacıklar halinde görülürler. Reçinesi sarı ile kahverengindedir. Çok ince olan özışınları çıplak gözle görülmemekle birlikte tam radyal kesilmiş yüzeylerde mat bantlar halinde fark edilirler (Şahin, 1996).

İlkbahar ve yaz odunu traheidleri toplamı Doğu Ladini odununun % 90'ını oluşturmaktadır. Traheid uzunluğu 1,1-6,3 mm arasında değişir. Yaz odunu traheidlerinin çeperleri kalın ve radyal çapları (27,2 µm) küçüktür. İlkbahar odunu traheidleri (39,4 µm) ise ince çeperli ve geniş lümenlidir. İlkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerindeki geçitler tek sıralıdır. Ayrıca boyuna traheidlerin iç yüzeylerinde spiral kalınlaşmalar bulunur. Özışınları üniseri ve heterojendir. Reçine kanalı bulunan iğimsi özışınları orta kısımda çok sıralıdır. Özışınlarının kenarlarında alt ve üst kısımlarda bir veya iki sıra halinde bazen arada olmak üzere özışını traheidleri bulunmaktadır. Özışını traheidlerinin çeperleri ince çoğunlukla dalgalı veya düzgündür. Özışını paranzim hücreleri kalın çeperli olup çok sayıda geçitleri vardır. Özışınlarının genel hacme katılım oranı % 8,61 civarındadır. Boyuna paranzim hücreleri yoktur. Boyuna reçine kanalı çapı 63,6 µm olup tek veya gruplar halinde sadece yaz odununda bulunabildikleri gibi ilkbahar odununda da bulunabilirler (Şahin, 1996).

Doğu Ladini odununun tam kuru özgül ağırlık değeri ortalama olarak 0,416 g/cm³ ve hava kurusu özgül ağırlık değeri 0,451 g/cm³'tür (Mayes and Oksanan). Doğu Ladini odununun hava boşluğu oranı (porozite) % 72,0'dır. Doğu Ladini odununun içerisine alabileceği maksimum su miktarı hacim yoğunluk değerine (0,366 g/cm³) göre % 206,2 dir (Akyüz, 1997; Şahin, 2002).

Doğu Ladini odununda selüloz miktarı % 56,39, lignin miktarı % 27,5, holoselüloz miktarı % 71,18, kül miktarı % 0,38 ve alkol-benzende çözünen ekstraktif madde miktarı % 1,72'dir.

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 (Güller, 1998).

3.1.1.2. Sakallı Kızılağaç [*Alnus glutinosa subsp. Barbata* (C.A. Mey.) Yalt]

Kızılağaç'ın çok geniş bir coğrafi yayılımı vardır. Tüm Avrupa, Kuzey Afrika, Kafkasya, Türkiye, İran, Sibirya ve Japonya'da yayılım göstermektedir. Ülkemizde, Trakya, Marmara çevresi, Batı Karadeniz ve kısmen de Doğu Karadeniz Bölgeleri ile Muş, Bitlis gibi Doğu ve Güney Doğu Anadolu'da doğal olarak yetişmektedir (Güller, 1998).

Kızılağaç odunu, yeni kesildiğinde koyu kirli sarı renktedir. Yıllık halkalar düzenlidir. Enine kesitte traheler çıplak gözle zorlukla görülürler. Radyal kesitte özışınları, koyu zemin üzerinde gümüş renğinde ve parlaktır. Teğet kesite yalancı özışınları uzun kahverengi çizgiler şeklinde görülürler (Merev, 1983).

Trahelerin oduna katılım oranı % 28,05'dir. Traheler yıllık halka içinde dağınık dizilişindedir. Geniş yıllık halkalarda ilkbahar ve yaz odununu ayırmak oldukça kolaydır. Yıllık halka sınırında trahelerin teğet çapları ilk oluşan trahelerden sonra giderek artmaktadır. Traheler tek tek bulunabilir, fakat çoğunlukla gruplar oluştururlar. Ortalama trahe uzunluğu 0,819 mm'dir. Ortalama trahe çapı ilkbahar odununda 59,4-66,7 mikron, yaz odununda 42,1-29,5 mikrondur. Perforasyon merdiven şeklindedir. Boyuna paraşim hücreleri dağınık biçimde tek tek veya ikili gruplar halinde görülürler. Boyuna paraşimin oduna katılım oranı % 8,29'dur. Özışınları homojen ve üniseridir. Özışınlarının oduna katılım oranı % 13,97'dir. Odun lifi, traheid ve traheid lifi bulunur. Kızılağaç odununda % 49,67 oranında lif dokusu yer almaktadır. Yalancı özışınlarına oldukça sık rastlanır (Merev, 1983; Güller, 1998).

Kızılağaç odununun tam kuru özgül ağırlık değeri 0,454-0,502 g/cm³ ve hava kuru özgül ağırlık değeri 0,482-0,511 g/cm³ arasında değişmektedir. Sakallı Kızılağaç odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 68,3'tür. Kızılağaç odununun içerisine alabileceği en yüksek su miktarı tam kuru özgül ağırlığa (0,454 g/cm³) göre % 186,46, hacim yoğunluk değerine (0,399 g/cm³) göre ise % 183,96'dır (Güller, 1998).

Kızılağaç odununda selüloz miktarı % 43,64, lignin miktarı % 24,57, pentozanlar % 22,94 ve kül miktarı % 0,49'dur (Hafizoğlu, 1982).

3.2. METOT

3.2.1. Örnek Ağaçların Seçilmesi ve 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 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri.

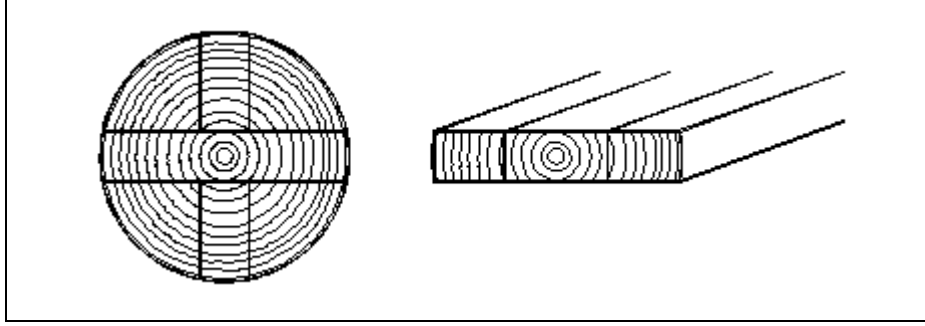
Ağaç Türü	Bölge Adı		Yaş (Yıl)	1,30 m'de Çap (cm)	Yetiştirme Yeri Yüksekliği (m)
Doğu Ladini	Artvin	Borçka	86	45	680
Sakallı Kızılağaç	Giresun	Tirebolu	77	34	6

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 3m'lik tomruklar, Eskipazar Kereste 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 65x10x5 cm boyutlarında kesilmiştir. (Şekil

3.1). Aynı gruptaki numuneler birbirinin devamı olan kerestelerden alınacak şekilde işaretlenmiş ve bu şekilde gruplandırma yapılmıştır.

Daha sonra elde edilen keresteler yine Eskipazar'daki kereste fabrikasındaki 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 % 9-13 seviyesine gelmiştir. Şekil 3.1'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 keresteler Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş' nin Gerede de bulunan Thermo Wood Kereste Üretim Fabrikasına götürülmüştür. Burada kerestelerin fırına konmadan önceki rutubetleri ölçülmüş ortalama olarak % 12 rutubet içerdikleri tespit edilmiştir.

3.2.2. Isıl İşlem Uygulanması

Bu çalışmada, örnekler ThermoWood ısıl işlem metodu ile çalışan Gerede Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş'de ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Burada bulunan bilgisayar kontrollü test fırınında 190, 205 ve 212 °C sıcaklıklarda 2 saat süre ile, her iki odun türü ve her sıcaklık için ise, 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 uygulanmıştır ve bu ısıl işlem uygulaması 3 aşamada gerçekleştirilmiştir: Birinci aşamada, test fırınının sıcaklığı 100 °C 'ye yükseltilmiştir. Odunun iç ısı aynı sıcaklığa yaklaştığında, fırının sıcaklığı dikkatli bir şekilde hedeflenen ısıl işlem sıcaklığına yükseltilmiştir. Hedeflenen ısıl işlem sıcaklıkları 190, 205 ve 212 °C dir. Her bir tür için hedeflenen sıcaklığa ulaştıktan sonra sıcaklık 2 saat süre ile sıcaklık 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 uygulanmıştır. Bu aşamada sıcaklık 80-90 °C düşürülmüştür. İlaveten odunun nihai rutubet içeriğinin % 4-7 olması için nemlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Isıl işlem görmüş keresteler daha sonra Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Ana Bilim Dalı Atölyesine götürülmüş ve burada 2 ay bekletilmiştir. Sonra yapılacak olan deneylerin örnek boyutlarına göre kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir test için 15 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 ± 5 bağıl neme sahip iklimlendirme dolabında 2 ay değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmişlerdir.

3.2.3. Deneysel Çalışmalar

3.2.3.1. 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 (4) için 15 adet olmak üzere 2x4x15=120 adet deney örneği hazırlanmıştır. Örnekler % 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarında klima odasında 2 ay bekletilerek ağırlıkları belirli aralıklarla ölçülmüş ve değişmez ağırlığa gelince DRM değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamaları takiben test örnekleri 103 ± 2 °C de değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuştur.

Daha sonra örneklerin ağırlıkları ± 0.001 g duyarlı terazide tartılmıştır. Test örneklerinin DRM'sinin belirlenmesinde TS 2471' den yararlanılmıştır.

$$\text{DRM} = \frac{A_r - A_0}{A_0} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

DRM : (%)

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

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

3.2.3.2. Hava Kuru Yoğunluk

Hava kuru yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için, her bir sıcaklık ve kontrol (4) için 15 adet olmak üzere 2x4x15=120 adet deney örneği hazırlanmıştır. Örneklerin yoğunlukları TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2472, 1976). Buna göre; deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem şartlarındaki kabinde bekletilerek değişmez ağırlığa ve boyutsal stabilizeye ulaşması sağlanmıştır. Daha sonra $\pm 0,001$ g duyarlılık analitik terazide tartılmış, boyutları $\pm 0,01$ mm duyarlılık kompas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kuru yoğunluk, aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} (g/cm^3) \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

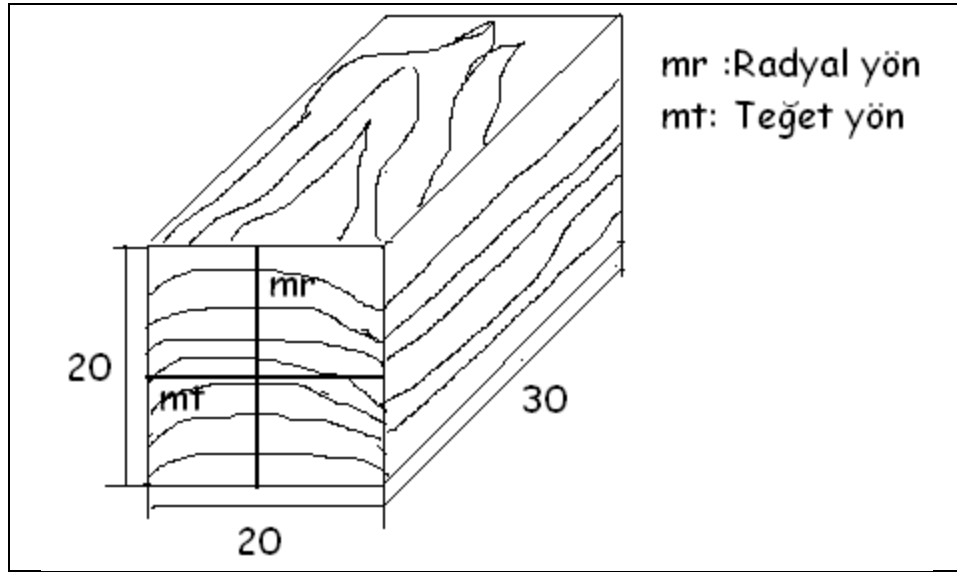
δ_{12} : Hava kuru yoğunluk (g/cm^3),

M_{12} : Hava kuru haldeki ağırlık (g),

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

3.2.3.3. Boyutsal Değişim

Boyutsal değişim miktarının belirlenmesi için; TS 4086'ya göre 20x20x30 mm boyutlarında (Şekil 3.2) örnekler kullanılmıştır (TS 4086, 1983). Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık ve kontrol (4) için 15 adet olmak üzere 2x4x15=120 adet daralma için örnek hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. 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 kompasla 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.

$$\beta = \frac{R_{\delta} - K_{\delta}}{R_{\delta}} \times 100 \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

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.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

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.

3.2.3.5. Isı İletkenlik Katsayısının Belirlenmesi Deneyi

Isı iletkenliği deneyleri için, her bir odun türü (2), her bir sıcaklık ve kontrol (4), teğet yön için (4) adet olmak üzere (2x4x4) 32 adet örnek hazırlanmıştır. Ladin ve kızılçam odunlarından ASTM C 177/C 518'e göre hazırlanan 20x50x100 mm boyutlarındaki odun örnekleri, deney işleminden önce 20 ± 2 °C ve % 65 ± 5 bağıl neme sahip klimatize dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek % 12 rutubete ulaşmaları sağlanmıştır.

Ölçümler ASTM C 1113-99 hot-wire metoduna dayanmaktadır. 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 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4. QTM-500 cihazı ile ısı iletkenlik katsayısı deneyi.

3.2.3.6. 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 (4) için 15 adet olmak üzere 2x4x15=120 adet deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri klima odasından çıkarıldıktan sonra, ± 0.001 mm hassaslıkla ölçüm yapabilen kumpasla en kesit boyutları ölçülmüş daha sonra lif yönü kuvvet yönüne paralel gelecek şekilde, Şekil 3.5' de görüldüğü gibi universal test makinesine yerleştirilmiştir. Üniversal test mekanizması, ezilmenin yükleme anından itibaren 1-2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde çalıştırılmıştır (TS 2595, 1977). Deneylerden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı ölçülüp, basınç dirençleri (σ_b); aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} (N / mm^2) \quad (3.5)$$

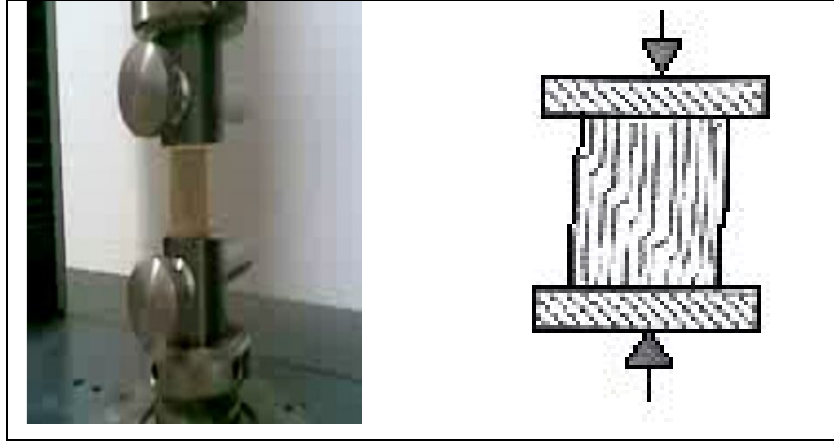
Bu eşitlikte;

σ_b : Basınç direnci.

F : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N).

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

Üniversal test makinesinde liflere paralel basınç direnci deney örneği Şekil 3.5' de görülmektedir.



Şekil 3.5. Üniversal test makinesinde liflere paralel basınç direnci.

3.2.3.7. 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 ve kontrol (4) için 15 adet olmak üzere (2x4x15) 120 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deneyler yapılmadan önce örnekler hava kurusu hale getirilip ve ± 0.001 mm duyarlılığa sahip olan dijital bir kompasla genişliği ve kalınlığı ölçülmüştür. 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.

$$\sigma_e = \frac{3 * F * l_s}{2b * h^2} (N / mm^2) \quad (3.6)$$

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, 1978 standardına uygun olarak hazırlanan 20x20x300 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Her bir odun türü (2) için ve her bir sıcaklık ve kontrol (4) için 15 adet olmak üzere 2x4x15=120 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.

$$E = \frac{F * L_s^3}{4 * f * b * h^3} (N / mm^2) \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte;

E : Elastikiyet modülü (N/mm²).

F : Elastikiyet bölgedeki kuvvet (N).

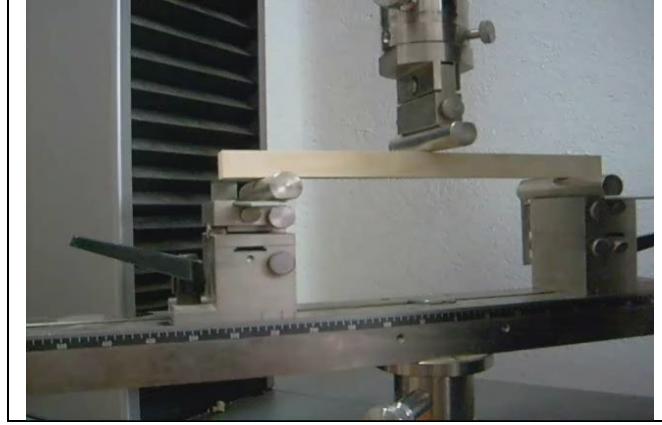
L_s : Dayanak açıklığı, (240 mm).

f : Eğilme miktarı (mm).

b : Örnek genişliği (mm).

h : Örnek yüksekliği (mm), değerlerini ifade etmektedir.

Üniversal test makinesinde yapılan eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi Şekil 3.6' da görülmektedir.



Şekil 3.6. Üniversal test cihazında eğilme direnci ve elastikiyet modülü deneyi.

3.2.3.8. Kontrol Örneklerine Göre Meydana Gelen 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.

$$A_o = \frac{K_{\delta} - T_{\delta}}{K_{\delta}} \cdot 100 \quad (3.8)$$

Bu eşitlikte;

A_o : Artış veya azalış oranı (%).

K_{δ} : Kontrol örneği değerini.

T_{δ} : Test örneği değerini, ifade etmektedir.

3.2.3.9. 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. Ayrıca ortalama ve istatistiksel analizler içinde yine tanımlayıcı istatistiklerden faydalanılmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR

4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

4.1.1. Denge Rutubet Miktarı (DRM)

Isıl işlem uygulanmış örneklerin 20 °C sıcaklıkla % 65 bağıl nem ortamında 2 ay bekletildikten sonra, ulaştığı DRM Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

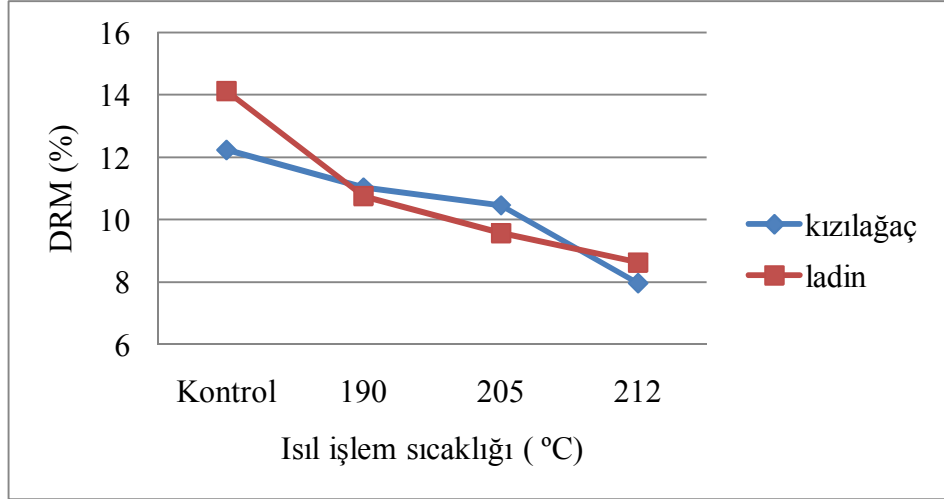
Çizelge 4.1. Denge rutubet miktarı değerleri.

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	N	Rutubet miktarı (%)	
				A.O	S.S
Kızılağaç	Kontrol	-	15	12,239	0,980
	190	2	15	11,040	0,588
	205	2	15	10,462	1,449
	212	2	15	7,960	0,494
Ladin	Kontrol	-	15	14,127	0,685
	190	2	15	10,747	0,696
	205	2	15	9,570	1,774
	212	2	15	8,623	1,010

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

Çizelge 4.1’e göre her iki odun türünde de ısıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak DRM’nda azalma olmuştur. Kontrol örneklerinin DRM; ladinde % 14,1 ve kızılağaçta % 12,2 olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem görmüş örneklerde ise DRM’de en az azalmanın olduğu 190 °C’de, ladinin DRM’si % 10,7, kızılağacın DRM’si % 11,0, en fazla azalmanın olduğu 212 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde ise ladin % 8,6 ve kızılağaçta % 7,9 olarak kaydedilmiştir.

Ladin ve kızılağaç odununda, DRM değerlerinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. DRM'nin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

DRM üzerine, odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. DRM üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları.

DRM	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
	Odun Türü	3,497	1,000	3,497	3,189	0,077
	Sıcaklık	372,864	3,000	124,288	113,349	0,000
	Odun * Sıcaklık	33,142	3,000	11,047	10,075	0,000
	Hata	122,808	112,000	1,097		
	Toplam	14005,440	120,000			
	Düzeltilmiş Toplam	532,311	119,000			

Varyans analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.2) DRM üzerine, $P \leq 0,05$ anlam düzeyinde odun türünün etkisinin olmadığı ancak sıcaklık ve odun türü ve sıcaklığın birlikteki etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3'de odun türü bazında sıcaklığın DRM üzerine etkisi basit varyans analizinde irdelenmiştir.

Çizelge 4.3. Isıl işlemin DRM üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Top.	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Kızılağaç	Gruplar Arası	146,233	3	48,744	53,391	0,000
	Gruplar İçi	51,126	56	0,913		
	Toplam	197,360	59			
Ladin	Gruplar Arası	259,772	3	86,591	67,647	0,000
	Gruplar İçi	71,682	56	1,280		
	Toplam	331,454	59			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.3) kızılağaç ve ladin odununda ısıl işlem sıcaklığının DRM üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. DRM üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	N	Rutubet miktarı (%)	
				A.O	Eş gruplar
Kızılağaç	Kontrol	-	15	12,2394	a
	190	2	15	11,0400	b
	205	2	15	10,4621	b
	212	2	15	7,9598	c
Ladin	Kontrol	-	15	14,1270	a
	190	2	15	10,7467	b
	205	2	15	9,5699	c
	212	2	15	8,6233	d

Duncan testine göre, en yüksek DRM her iki odunda da ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde tespit edilirken, en düşük DRM, 212 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Ladin ve kızılağaç odunu denge rutubet miktarında tüm ısıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark bulunmuştur.

4.1.2. Hava Kuru Yoğunluk

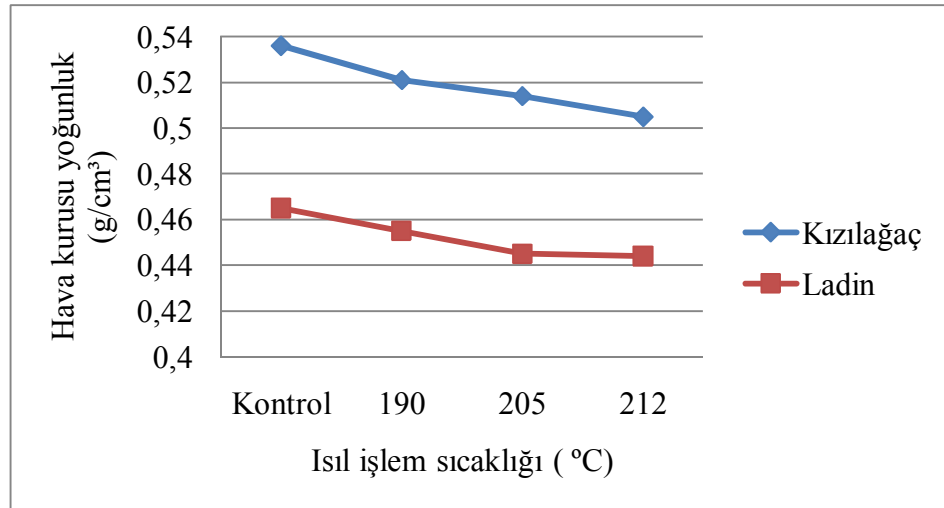
Ladin ve kızılağaç odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin hava kuru yoğunluklarına ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.5’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Hava kurusu yoğunluk değerleri.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılağaç		Ladin	
			A.O (g/cm ³)	S.S	A.O (g/cm ³)	S.S
Kontrol	15	-	0,536	0,034	0,466	0,103
190	15	2	0,522	0,029	0,455	0,013
205	15	2	0,514	0,016	0,446	0,015
212	15	2	0,506	0,110	0,445	0,027

Hava kurusu yoğunluk değerleri incelendiğinde ısı işlem sıcaklığı arttıkça yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Ladin odununda en yüksek yoğunluk (0,466 g/cm³) ısı işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en düşük yoğunluk (0,445 g/cm³) 212 °C ısı işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kızılağaç odununda en yüksek yoğunluk (0,536 g/cm³) ısı işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en düşük yoğunluk (0,506 g/cm³) 212 °C ısı işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir.

Ladin ve kızılağaç odununda hava kurusu yoğunluk değerlerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Hava kurusu yoğunluk değerlerinin ısı işleme bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.2’deki grafikte de görüldüğü gibi ısı işlem sıcaklığı arttıkça hava kurusu yoğunluk azalmaktadır.

Hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Özgül Ağırlık	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
	Odun Türü	0,134	1,000	0,134	66,541	0,000
	Sıcaklık	0,011	3,000	0,004	1,875	0,138
	Odun * Sıcaklık	0,000	3,000	0,000	0,059	0,981
	Hata	0,225	112,000	0,002		
	Toplam	28,730	120,000			
	Düzeltilmiş Toplam	0,370	119,000			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.6) hava kurusu yoğunluk üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu ancak, ısı işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olmadığı belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden yoğunluk kaybı üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Ladin ve kızılğaç odunlarının hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.7' de ve Duncan testi sonuçları da Çizelge 4.8' de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Hava kurusu yoğunluğa ısı işlemin etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Kızılğaç	Gruplar Arası	0,007	3,000	0,002	0,678	0,569
	Gruplar İçi	0,202	56,000	0,004		
	Toplam	0,209	59,000			
Ladin	Gruplar Arası	0,004	3,000	0,001	3,465	0,022
	Gruplar İçi	0,023	56,000	0,000		
	Toplam	0,028	59,000			

BVA sonuçlarına göre, (Çizelge 4.7) kızılğaç odununda ısı işlem sıcaklığının yoğunluk üzerine etkisinin olmadığı ancak ladin odununda ısı işlem sıcaklığının yoğunluk üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Isıl işlemin hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Sıcaklık(°C)	N	Süre (Saat)	Kızılağaç		Ladin	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	15	-	0,536	a	0,465	a
190	15	2	0,521	a	0,455	ab
205	15	2	0,514	a	0,445	b
212	15	2	0,505	a	0,444	b

Duncan testi sonuçlarına göre; Isıl işlem görmüş örneklerde en yüksek yoğunluk değerlerinin her iki odun türünde de 190 °C’de, en düşük yoğunluk değerlerinin ise 212 °C’de olduğu belirlenmiştir. Ladin odununda kontrol örnekleri ile 205 ve 212 °C’de ısıl işlem görmüş örnekler arasında istatistiksel olarak fark gözlenirken, kızılağaç odununda ise 190, 205 ve 212 °C de ısıl işlem görmüş örnekler arasında istatistiksel olarak bir fark gözlenmemiştir (Çizelge 4.8).

4.1.3. Boyutsal Değişim

Boyutsal değişim daralma yönünden incelenmiştir. Kızılağaç ve ladin odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonunda, ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak test örneklerinin daralma yüzdelerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kontrol ve ısıl işleme 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	
Kızılağaç	Kontrol	8,310	0,684	3,929	0,483	12,239	0,980	15
	190	5,897	1,366	3,919	0,685	9,698	1,233	15
	205	5,819	0,929	3,363	0,863	9,306	1,319	15
	212	3,652	0,529	2,043	0,478	5,590	0,515	15
Ladin	Kontrol	6,803	0,649	3,203	0,992	10,006	1,140	15
	190	5,182	0,546	2,792	0,808	7,975	1,140	15
	205	3,764	0,529	1,974	0,544	5,738	0,533	15
	212	3,370	0,984	1,824	0,504	5,194	1,243	15

Daralma yüzdeleri incelendiğinde, her iki ağaç türünde de ısıl işlem sıcaklığı arttıkça daralma yüzdelerinin azaldığı görülmektedir. Kızılağaç odununda hacimsel olarak en

yüksek daralma yüzdesi ısıtma işlemi görmemiş kontrol örneklerinde % 12,2, en düşük daralma yüzdesi ise 212 °C’ deki ısıtma işlemi görmüş örneklerde % 5,6 olarak tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde ladin odununda da hacimsel olarak en yüksek daralma yüzdesi ısıtma işlemi görmemiş kontrol örneklerinde % 10, en düşük daralma yüzdesi ise 212 °C ısıtma işlemi görmüş örneklerde % 5,1 olarak tespit edilmiştir.

Daralma yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtma işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. 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	38,986	1	38,986	57,292	0,00
	Sıcaklık	257,964	3	85,988	126,363	0,00
	Odun * Sıcaklık	14,158	3	4,719	6,935	0,00
	Hata	76,214	112	0,680		
	Toplam	3821,688	120			
	Düzeltilmiş Toplam	387,323	119			
Radyal Daralma	Odun	22,458	1	22,458	46,506	0,00
	Sıcaklık	49,120	3	16,373	33,906	0,00
	Odun * Sıcaklık	5,856	3	1,952	4,042	0,01
	Hata	54,085	112	0,483		
	Toplam	1127,614	120			
	Düzeltilmiş Toplam	131,519	119			
Hacimsel Daralma	Odun	117,629	1	117,629	105,556	0,00
	Sıcaklık	518,742	3	172,914	155,167	0,00
	Odun * Sıcaklık	38,720	3	12,907	11,582	0,00
	Hata	124,810	112	1,114		
	Toplam	8904,811	120			
	Düzeltilmiş Toplam	799,901	119			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.10) daralma yüzdeleri üzerine odun türü ve ısıtma işlem sıcaklığının $P \leq 0,05$ anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Odun türünün etkisi önemli olduğundan ısıtma işleminin etkisi odun türleri teker teker ele alınarak incelenmiştir.

Kızılğaç odununun daralma yüzdesi üzerine, ısıtma işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.11’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kızılğaç odununda ısıtma işleminin daralma yüzdesi üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	163,011	3	54,337	62,526	0,00
	Gruplar İçi	48,665	56	0,869		
	Toplam	211,676	59			
Radyal	Gruplar Arası	35,429	3	11,810	28,167	0,00
	Gruplar İçi	23,479	56	0,419		
	Toplam	58,908	59			
Hacimsel Daralma	Gruplar Arası	337,968	3	112,656	100,430	0,00
	Gruplar İçi	62,817	56	1,122		
	Toplam	400,785	59			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 3.11) kızılğaç odununda ısıtma işlem sıcaklığının daralma yüzdesi üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

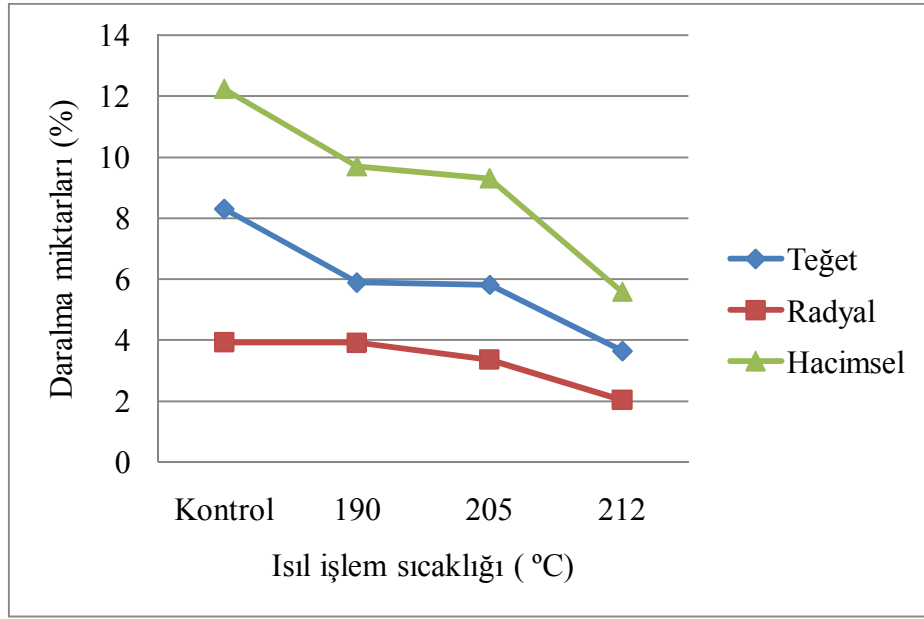
Çizelge 3.12. Kızılğaç odununda ısıtma işleminin daralma yüzdesi üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Sıcaklık (°C)	N	Teğet		Radyal		Hacimsel	
		A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	15	8,310	a	3,929	a	12,239	a
190	15	5,897	b	3,919	a	9,816	b
205	15	5,819	b	3,363	b	9,449	b
212	15	3,652	c	2,043	c	5,695	c

Duncan testi sonuçlarına göre kızılğaç odunu, teğet, radyal ve hacimsel daralma yüzdesinde kontrol örneklerine göre, en yüksek azalma 212 °C’de, en düşük azalma

ise 190 °C'de ısıtılmış örneklerde tespit edilmiştir. Daralma yüzdeleri incelendiğinde kontrol örnekleri ile ısıtılmış örnekleri arasında istatistiksel olarak fark gözlenmiştir.

Kızılağaç odununda ısıtılma sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen daralma miktarları Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Kızılağaç odununda daralma yüzdelerinin ısıtılma sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi kızılağaç odununda ısıtılma sıcaklığı arttıkça daralma yüzdeleri azalmakta ve boyutsal kararlılık artmaktadır.

Ladin odununun daralma yüzdesi üzerine, ısıtılma sıcaklığına ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.13'de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Ladin odununda ısıtıl işlemin daralma yüzdeleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	109,111	3,000	36,370	73,932	0,000
	Gruplar İçi	27,549	56,000	0,492		
	Toplam	136,660	59,000			
Radyal	Gruplar Arası	19,547	3,000	6,516	11,922	0,000
	Gruplar İçi	30,606	56,000	0,547		
	Toplam	50,153	59,000			
Hacimsel Daralma	Gruplar Arası	219,494	3,000	73,165	66,092	0,000
	Gruplar İçi	61,993	56,000	1,107		
	Toplam	281,487	59,000			

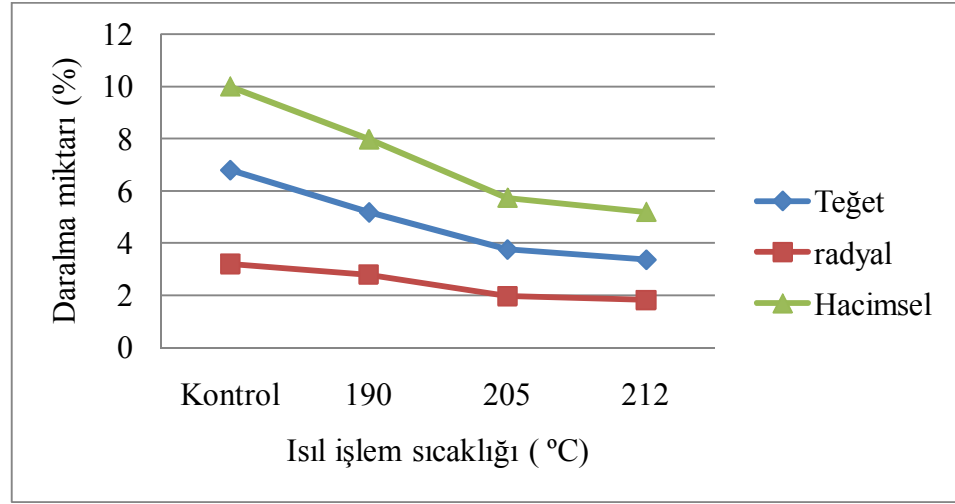
BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.13) ladin odununda ısıtıl işlem sıcaklığının daralma yüzdesi üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.14. Ladin 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	15	6,80	a	3,20	a	10,00	a
190	15	5,18	b	2,79	b	7,97	b
205	15	3,76	c	1,97	c	5,73	c
212	15	3,37	c	1,82	c	5,19	c

Duncan testi sonuçlarına göre ladin odunu, teğet, radyal ve hacimsel daralma yüzdelerinde kontrol örneklerine göre en yüksek azalma 212 °C’de, en düşük azalma ise 190 °C’de ısıtıl işlem görmüş örneklerde görülmüştür. Teğet, radyal ve hacimsel daralma yüzdeleri incelendiğinde kontrol örnekleri ile tüm ısıtıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark olduğu gözlenmiştir.

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



Şekil 4.4. Ladin odununda daralma yüzdelerinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.4'de de görüldüğü gibi ladin odununda ısıl işlem sıcaklığı arttıkça daralma yüzdeleri azalmakta ve boyutsal stabilizasyon artmaktadır.

4.1.4. Renk Değişimi

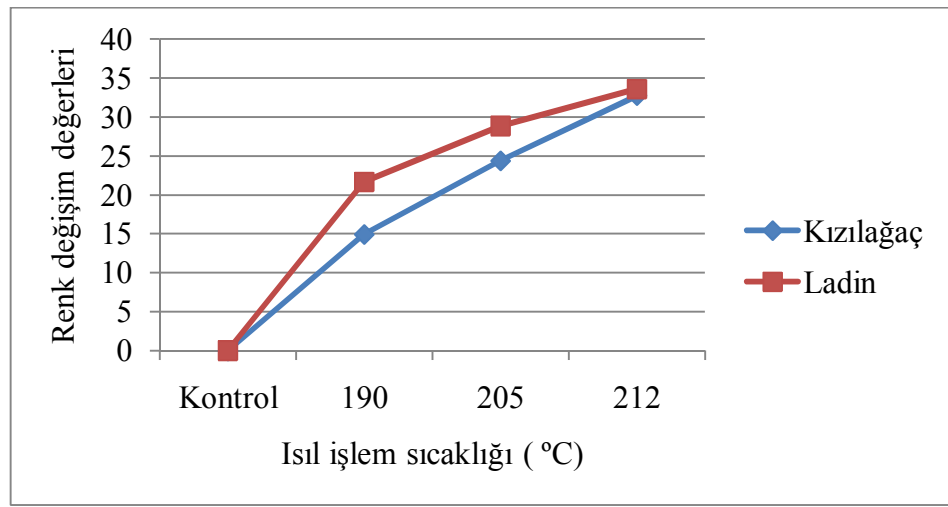
Kızılağaç ve ladin odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin renk değişimine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Isıl işleme tabi tutulmuş örneklerin toplam renk değişim değerleri.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılağaç		Ladin	
			A.O	S.S	A.O	S.S
190	15	2	21,660	1,540	14,928	2,808
205	15	2	28,830	1,889	24,378	0,914
212	15	2	33,580	0,643	32,730	1,185

Renk değişimi değerleri incelendiğinde ısııl işlem sıcaklığı arttıka rening koyulaştığı görülmektedir. Kızıılağa odunun da en yüksek renk değişimi 212 C’de ısııl işlem gören örneklerde; en düşük 190 C’de ısııl işlem gören örneklerde tespit edilmiştir. Ladin odunun da en yüksek renk değişimi 212 C’de ısııl işlem gören örneklerde; en düşük 190 C’de ısııl işlem gören örneklerde tespit edilmiştir.

Ladin ve kıızıılağa odununda ısııl işlem sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen renk değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Isıl işlem sıcaklığına bağlı olarak meydana gelen renk değişimi.

Renk değişimi üzerine odun türü ve ısııl işlem sıcaklığının etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları izelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Renk değişimi üzerine odun türü ve ısııl 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	96,561	1,000	96,561	35,162	0,000
	Sıcaklık	887,551	2,000	443,776	161,597	0,000
	Odun * Sıcaklık	35,187	2,000	17,593	6,406	0,008
	Hata	49,431	18,000	2,746		
	Toplam	17314,578	24,000			
	Düzeltilmiş Toplam	96,561	1,000	96,561	35,162	0,000

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.16) toplam renk değişimi değerleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisinin $P \leq 0,05$ anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğundan ısı işlemin etkisi odun türleri teker teker ele alınarak incelenmiştir.

Ladin ve kızılgağaç odununun toplam renk değişimi değerleri üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.17’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Isıl işlemin renk değişimi üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

Odun türü		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri ($P \leq 0,05$)
Kızılgağaç	Gruplar Arası	288,077	2,000	144,039	68,008	0,000
	Gruplar İçi	19,062	9,000	2,118		
	Toplam	307,139	11,000			
Ladin	Gruplar Arası	634,661	2,000	317,331	94,041	0,000
	Gruplar İçi	30,370	9,000	3,374		
	Toplam	665,031	11,000			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.17) ladin ve kızılgağaç odununda ısı işlem sıcaklığının renk değişimi üzerine etkisinin ($P \leq 0,05$) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Isıl işlemin renk değişimi üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Ladin		Kızılgağaç	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
190	15	2	14,9275	a	21,66	a
205	15	2	24,3775	b	28,83	b
212	15	2	32,73	c	33,58	c

Duncan testi sonuçlarına göre ladin ve kızılgağaç odunu toplam renk değişiminde en fazla artış 212 °C’de ısı işlem görmüş örneklerde, en az artış ise 190 °C’de ısı işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde tüm ısı işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak fark olduğu gözlenmiştir.

Kızılağaç ve ladin odununda, ısıtılmanın etkisiyle meydana gelen renk değişimleri Şekil 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.



Kontrol

190

205

212

Şekil 4.6. Isıl işlemin kıızılağaçta meydana getirdiği renk değişimi.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi farklı sıcaklıklardaki ısıtılma uygulaması kıızılağaçta rengi koyulaştırmıştır.



Kontrol

190

205

212

Şekil 4.7. Isıl işlemin ladin odununda meydana getirdiği renk değişimi.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi farklı sıcaklıklardaki ısıtılma uygulaması ladin odununda rengi koyulaştırmıştır.

4.1.5. Isı İletkenliği

Ladin ve kızılğaç odunu türlerinde gerçekleştirilen ısı işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin teğet haldeki ısı iletkenliğine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Isı iletkenliği değerleri.

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Örnek Sayısı	Süre (Saat)	Teğet Yön (W/mK)	
				A.O	S.S
Kızılğaç	Kontrol	4	-	0,152	0,01226
	190	4	2	0,1336	0,01238
	205	4	2	0,1139	0,00614
	212	4	2	0,1137	0,00104
Ladin	Kontrol	4	-	0,1813	0,00428
	190	4	2	0,178	0,09284
	205	4	2	0,1328	0,0075
	212	4	2	0,1319	0,00634

Çizelge 4.19’da ısı iletkenliği incelendiğinde ısı işlem sıcaklığı arttıkça ısı iletkenliğinin azaldığı görülmektedir. Ladin odununda en yüksek ısı iletkenliği ısı işlem görmemiş kontrol örneklerinde, (0,1813 W/mK), en düşük ısı iletkenliği ise 212 °C’de ısı işlem görmüş test örneklerinde (0,1319 W/mK) tespit edilmiştir. Yine kızılğaç odununda da en yüksek ısı iletkenliği, ısı işlem görmemiş kontrol örneklerinde (0,152 W/mK) gözlenirken, en düşük ısı iletkenliği ise 212 °C’de ısı işlem görmüş test örneklerinde(0,1137 W/mK) elde edilmiştir.

Isı iletkenliği üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Isı iletkenliği 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)
Teğet Yöndeki Isı iletkenliği	Odun Türü	0,012	3	0,004	3,562	0,029
	Sıcaklık	0,006	1	0,006	5,412	0,029
	Odun * Sıcaklık	0,001	3	0	0,264	0,851
	Hata	0,027	24	0,001		
	Toplam	0,693	32			
	Düzeltilmiş Toplam	0,046	31			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.20) ısı iletkenliği üzerine odun türü ve ısıl işlem sıcaklığının, etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğundan ısıl işlemin etkisi odun türleri teker teker ele alınarak incelenmiştir.

Kızılağaç odununun ısı iletkenliği üzerine, ısıl işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.21’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Kızılağaç odununda ısıl işlemin teğet yöndeki ısı iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	0,004	3,000	0,001	15,756	0,000
	Gruplar İçi	0,001	12,000	0,000		
	Toplam	0,005	15,000			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.21) ısıl işlem sıcaklığının ladin odununda teğet yöndeki ısı iletkenliği üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.22. Kızılağaç odununda ısı işlemin ısı iletkenliği üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Teğet Yön (W/mK)	
			A.O	Eş Gruplar
Kontrol	4	-	0,1520	a
190	4	2	0,1336	b
205	4	2	0,1139	c
212	4	2	0,1137	c

Duncan testi sonuçlarına göre kızılğaç odunu, teğet yöndeki ısı iletkenliği değerleri en yüksek kontrol örneklerinde tespit edilmiş, en düşük ise 212 °C’de ısı işlem görmüş test örneklerinde tespit edilmiştir. Isı iletkenliği değerlerinin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde ısı işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak bir fark olduğu gözlenmiştir.

Ladin odununun ısı iletkenliği üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.23’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Ladin odununda ısı işlemin teğet yöndeki ısı iletkenliğine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Teğet	Gruplar Arası	0,009	3,000	0,003	1,371	0,020
	Gruplar İçi	0,026	12,000	0,002		
	Toplam	0,035	15,000			

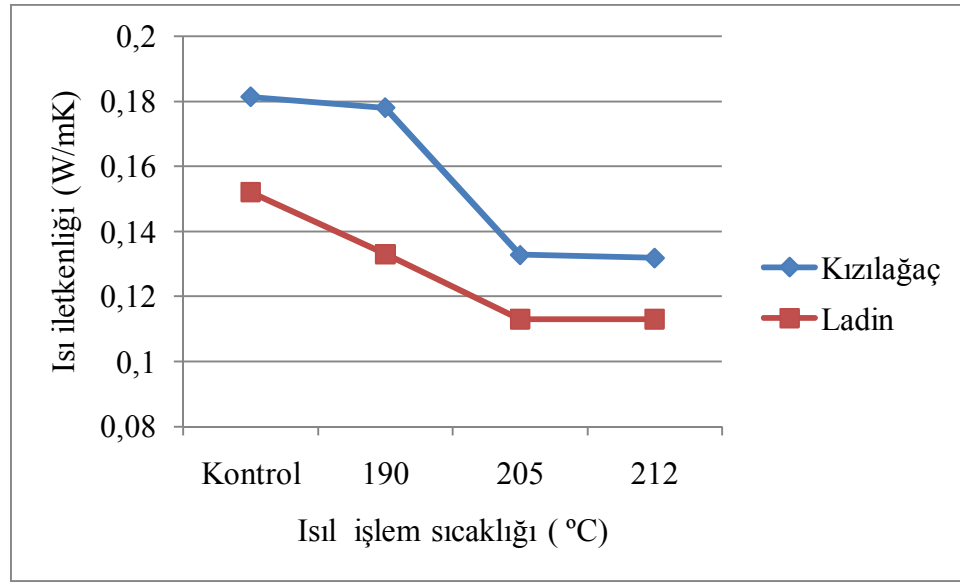
BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.23) ısı işlem sıcaklığının ladin odununda teğet yöndeki ısı iletkenliği üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.24. Ladin odununda ısı işlemin ısı iletkenliği üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Teğet Yön (W/mK)	
			A.O	Eş Gruplar
Kontrol	4	-	0,1813	a
190	4	2	0,178	b
205	4	2	0,1328	c
212	4	2	0,1319	c

Duncan testi sonuçlarına göre ladin odunu, teğet yöndeki ısı iletkenliği miktarları en yüksek kontrol örneklerinde tespit edilmiş, en düşük ise 212 °C’de ısıl işlem görmüş test örneklerinde görülmüştür. Isı iletkenliği incelendiğinde ısıl işlem sıcaklıkları arasında istatistiksel olarak bir fark olduğu gözlenmiştir.

Ladin ve kızılağaç odununda ısı iletkenliğinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Ladin ve kızılağaç odununda ısı iletkenliğinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi ladin ve kızılağaç odununda ısı iletkenliği ısıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak azalarak daha yalıtkan bir malzeme haline gelmektedir.

4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

4.2.1. Liflere Paralel Basınç Direnci

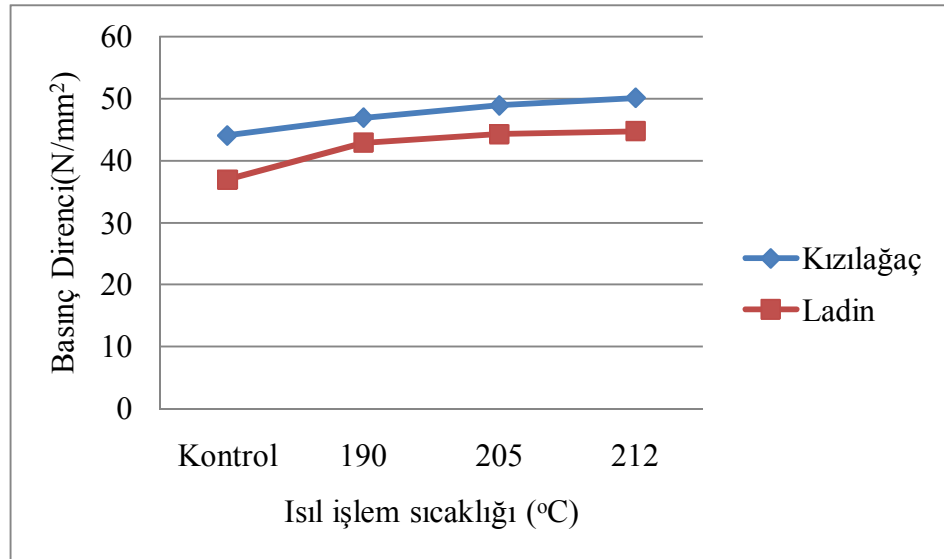
Ladin ve kızılağaç odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin liflere paralel basınç dirençlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Liflere paralel basınç direnci değerleri.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılağaç		Ladin	
			A.O	S.S	A.O	S.S
Kontrol	15	-	44,102	7,603	36,956	4,138
190	15	2	46,925	5,119	42,908	2,790
205	15	2	48,918	7,564	44,292	6,690
212	15	2	50,104	6,930	44,739	4,546

Liflere paralel basınç direnci değerleri (Çizelge 4.25) incelendiğinde ısıl işlem sıcaklığı arttıkça basınç direncinin arttığı görülmektedir. Ladin odununda en yüksek basınç direnci ($44,7 \text{ N/mm}^2$) 212 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde, en düşük ise ($36,9 \text{ N/mm}^2$) ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde kızılağaç odununda da en yüksek basınç direnci ($50,01 \text{ N/mm}^2$) 212 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde, en düşük basınç direnci de ($44,1 \text{ N/mm}^2$) ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde tespit edilmiştir.

Ladin ve kızılağaç odununda liflere paralel basınç direncinin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. Liflere paralel basınç direncinin ısıl işlem sıcaklığına göre değişimi.

Şekil 4.9’da da görüldüğü gibi ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak basınç direncide artmaktadır.

Basınç dirençleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Basınç dirençleri üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Basınç direnci	Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Hesap)	P değeri (P≤0,05)
	Odun Türü	838,89	1,00	838,89	20,25	0,00
	Sıcaklık	851,06	3,00	283,69	6,85	0,00
	Odun * Sıcaklık	41,30	3,00	13,77	0,33	0,80
	Hata	4639,26	112,00	41,42		
	Toplam	247948,80	120,00			
	Düzeltilmiş Toplam	6370,51	119,00			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.26) liflere paralel basınç direnci üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden liflere paralel basınç direnci üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Ladin ve kızılğaç odunlarının liflere paralel basınç dirençleri üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.27’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Isıl işlemin basınç dirençleri üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0.05)
Kızılğaç	Gruplar Arası	310,082	3,000	103,361	2,185	0,100
	Gruplar İçi	2649,046	56,000	47,304		
	Toplam	2959,128	59,000			
Ladin	Gruplar Arası	582,284	3,000	194,095	5,461	0,002
	Gruplar İçi	1990,211	56,000	35,539		
	Toplam	2572,495	59,000			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.27) ladin odununda ısıtma işlem sıcaklığının liflere paralel basınç direnci üzerine etkisinin ($P \leq 0,05$) önemli olduğu belirlenmiştir. Fakat kızılâğaç odununda kontrol örnekleri ile ısıtma işlem görmüş örnekleri arasında istatistiksel fark belirlenmemiştir.

Çizelge 4.28. Isıtma işleminin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılâğaç		Ladin	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	15	-	44,102	a	36,956	A
190	15	2	46,925	ab	42,908	B
205	15	2	48,918	ab	44,292	B
212	15	2	50,104	b	44,739	B

Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek liflere paralel basınç direncinin ladin ve kızılâğaç odununda 212 °C’de ısıtma işlem görmüş örneklerde, en düşük liflere paralel basınç direncinin ise ısıtma işlem görmemiş kontrol örneklerinde olduğu belirlenmiştir.

4.2.2. Eğilme Direnci

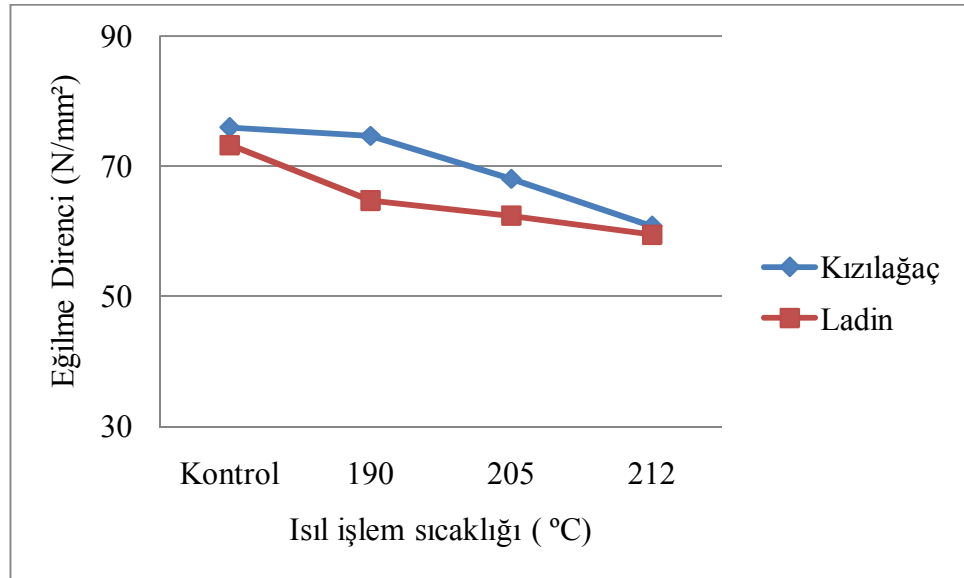
Kızılâğaç ve ladin odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıtma işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin eğilme dirençlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Eğilme direnci değerleri.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılâğaç		Ladin	
			A.O	S.S	A.O	S.S
Kontrol	15	-	75,9767	5,01063	73,2260	4,22762
190	15	2	74,6527	11,29955	64,7140	5,82866
205	15	2	68,0093	10,31931	62,3867	7,39041
212	15	2	60,8047	5,33380	59,4780	10,66942

Eğilme direnci değerleri incelendiğinde ısıtım işlem sıcaklığı arttıkça eğilme direncinin azaldığı görülmektedir. Ladin odununda en yüksek eğilme direnci, ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerinde 73,2 N/mm², en düşük eğilme direnci ise 212 °C ısıtım işlem görmüş örneklerde 59,4 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Kızılağaç odununda en yüksek eğilme direnci 75,9 N/mm² ile ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerinde ve en düşük eğilme direnci de 109,1 N/mm² ile 212 °C ısıtım işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir.

Şekil 4.10'da ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak ladin ve kıızılağaç odununun eğilme direnci değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10. Ladin ve kıızılağaç odununda eğilme direncinin ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak değışimi.

Şekil 4.10'daki grafikte de görüldüğü gibi ısıtım işlem sıcaklığı arttıkça eğilme direnci her iki odun türünde de azalmaktadır.

Eğilme direnci üzerine odun türü ve ısıtım işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Eğilme direnci üzerine odun türü ve ısı 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	824,6715	1	824,67	13,54	0,00
	Sıcaklık	3738,878	3	1246,29	20,46	0,00
	Odun * Sıcaklık	263,0778	3	87,69	1,44	0,24
	Hata	6823,599	112	60,92		
	Toplam	554185,6	120			
	Düzeltilmiş Toplam	11650,23	119			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.30) eğilme direnci üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden eğilme direnci üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Kızılağaç ve ladin odunlarının eğilme dirençleri üzerine, ısı işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.31’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Isıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Kızılağaç	Gruplar Arası	2187,109	3	729,036	10,135	0,00
	Gruplar İçi	4028,134	56	71,931		
	Toplam	6215,244	59			
Ladin	Gruplar Arası	1814,847	3	604,949	12,119	0,00
	Gruplar İçi	2795,464	56	49,919		
	Toplam	4610,311	59			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.31) ladin ve kızağaç odununda ısı işlem sıcaklığının eğilme direnci üzerine etkisinin (P≤0,05) önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.32. Isıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılağaç		Ladin	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	15	-	75,9767	a	73,2260	a
190	15	2	74,6527	a	64,7140	b
205	15	2	68,0093	b	62,3867	bc
212	15	2	60,8047	c	59,4780	c

Duncan testi sonuçlarına göre en yüksek eğilme direncinin ladin ve kızılağaç odununda ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde, en düşük eğilme direncinin ise 212 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlem görmüş örnekler arasında istatistiksel olarak farklar gözlenmektedir.

4.2.3. Elastikiyet Modülü

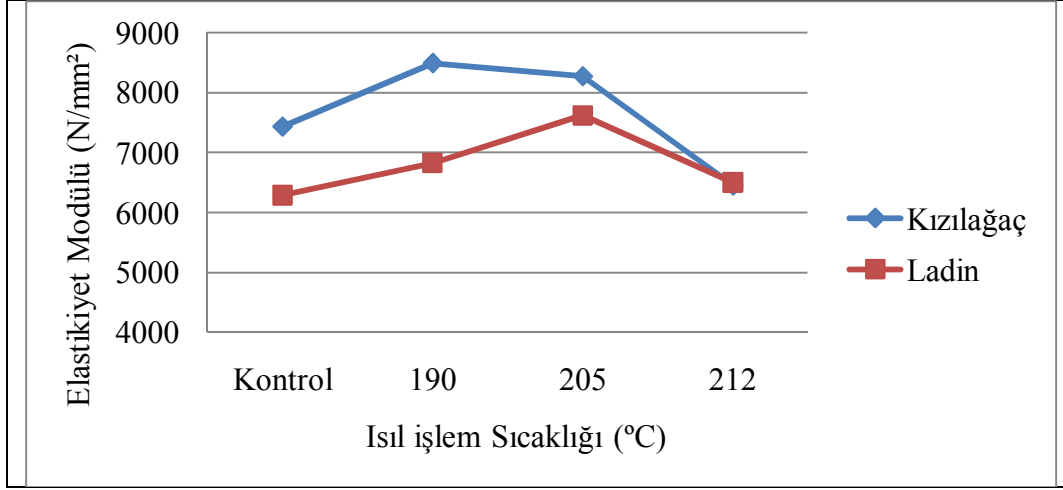
Kızılağaç ve ladin odunu türlerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonunda, sıcaklığa bağlı olarak test örneklerinin elastikiyet modülüne ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Elastikiyet modülü değerleri.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılağaç		Ladin	
			A.O	S.S	A.O	S.S
Kontrol	15	-	7434,051	817,929	6288,32	747,516
190	15	2	8490,160	478,992	6824,58	673,337
205	15	2	8270,383	456,463	7620,16	486,710
212	15	2	6457,259	1123,526	6501,90	771,000

Isıl işlem görmüş örneklerin elastikiyet modülünde 205 °C’ye kadar yükselme 205 °C’den sonra ise her iki ağaç türünde de düşme gözlenmektedir. Kızılağaç odununda en düşük elastikiyet modülü 212 °C’de 6457,2 N/mm² olarak belirlenmiştir. Ladin odununda ise en düşük elastikiyet modülü 212 °C’de 6288,3 N/mm² ile ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde tesbit edilmiştir.

Şekil 4.11’de ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak ladin ve kızılğaç odununun elastikiyet modülü değerlerinin değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.11. Elastikiyet modülünün ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Elastikiyet modülü üzerine odun türü ve ısı işlem sıcaklığının, etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4.34. 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	21890976,35	1,00	21890976,35	37,73	0,00
	Sıcaklık	41798378,85	3,00	13932792,95	24,01	0,00
	Odun * Sıcaklık	11946356,91	3,00	3982118,97	6,86	0,00
	Hata	64980637,69	112,00	580184,27		
	Toplam	6423521113,10	120,00			
	Düzeltilmiş Toplam	140616349,79	119,00			

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.34) elastikiyet modülü üzerine odun türünün etkisinin istatistiksel olarak ($P \leq 0,05$) önemli olduğu, ısı işlem sıcaklığının etkisinin istatistiksel olarak $P \leq 0,05$ güven anlamında önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türünün etkisi önemli olduğu belirlendiğinden eğilme direnci üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisi odun türü bazında basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Ladin ve kızılğaç odunlarının elastikiyet modülü değerleri üzerine, ısıl işlem sıcaklığının etkisine ilişkin BVA sonuçları Çizelge 4.35’de ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.35. Isıl işlemin elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin BVA sonuçları.

		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap	P değeri (P≤0,05)
Kızılğaç	Gruplar Arası	38390072,01	3,00	12796690,67	21,61	0,00
	Gruplar İçi	33167538,30	56,00	592277,47		
	Toplam	71557610,31	59,00			
Ladin	Gruplar Arası	15354663,75	3,00	5118221,25	9,01	0,00
	Gruplar İçi	31813099,38	56,00	568091,06		
	Toplam	47167763,13	59,00			

BVA sonuçlarına göre (Çizelge 4.35) ladin ve kızılğaç odununda ısıl işlem sıcaklığının elastikiyet modülü üzerine etkisinin $P \leq 0,05$ önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.36. Isıl işlemin elastikiyet modülüne etkisine ilişkin Duncan testi sonuçları.

Sıcaklık (°C)	N	Süre (Saat)	Kızılğaç		Ladin	
			A.O	Eş Gruplar	A.O	Eş Gruplar
Kontrol	15	-	7434,051	a	6288,32	a
190	15	2	8490,160	b	6824,58	a
205	15	2	8270,383	b	7620,16	b
212	15	2	6457,259	c	6501,90	a

Duncan testi sonuçlarına göre, en yüksek elastikiyet modülünün kızılğaç odununda 190 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde 8490,1 N/mm² ile, ladin odununda da 205 °C’de ısıl işlem görmüş örneklerde 7620, 1 N/mm² ile tespit edilmiştir. En düşük elastikiyet modülü, kızılğaç odununda 212 °C’de 6457, 2 N/mm² ve ladin odununda ise ısıl işlem görmemiş kontrol örneklerinde 6288,32 N/mm² olarak tespit edilmiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

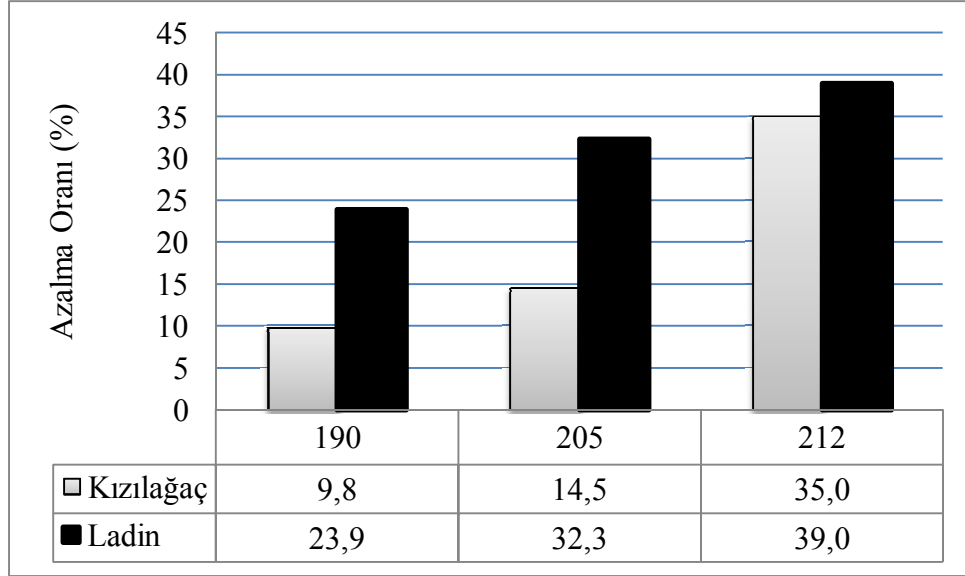
5.1. Fiziksel Özellikler

5.1.1. Denge Rutubet Miktarı

Isıl işleme tabi tutulan kızılâğaç ve ladin odununun test örneklerinde, DRM'nin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir (Şekil 5.1). Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak DRM azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir.

Her iki ağaç türüne ait en düşük azalma oranı 190 °C'de gerçekleşmiştir. Söz konusu sıcaklık için azalma kızılâğaçta % 9,8, ladinde % 23,9 olmuştur. En yüksek azalma oranı ise her iki türde de 212 °C'de gerçekleşmiş ve ladinde % 39, kızılâğaçta % 35 olarak tespit edilmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan ladin ve kızılâğaç odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen DRM değerlerine ait azalma oranları Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Isıl işlem sonucu DRM'nin kontrole göre azalma oranları.

Çalışmada elde edilen sonuçlarda sıcaklık yükseldikçe DRM'nin düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir. Sefil (2010) yaptığı çalışmada; kayın ve göknar odununa 170, 180, 190, 200, 210 °C'de ısıl işlem uygulamış ve her bir sıcaklıkta da DRM'nin kontrole oranla azaldığını tespit etmiştir. (Vital and Lucia, 1982; Kotilainen, 2000; Unsal vd., 2003; Esteves vd., 2007a; Esteves vd., 2007b; Bektas, 2007; Gündüz vd., 2008; Gündüz ve Aydemir, 2009; Kaygın vd., 2009; Akyıldız vd., 2009; Sefil, 2010).

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 vd., 1998a; Tjeerdsma and Militz 2005; Esteves vd., 2007).

5.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk

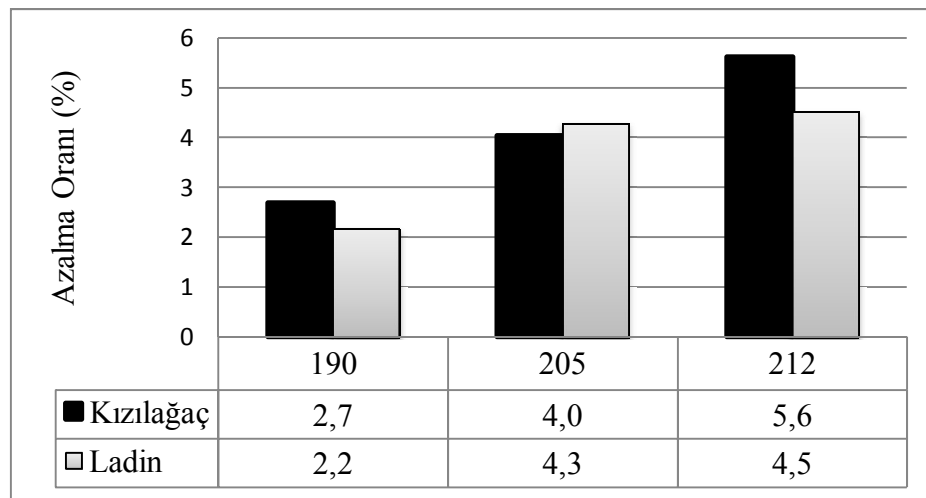
Isıl işleme tabi tutulan ladin ve kızılalğaç odununun test örneklerinde, hava kurusu yoğunluk değerlerinin kontrole oranla azaldığı gözlenmiştir (Şekil 5.2). Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak yoğunluk değerlerindeki azalma oranlarında da

artış kaydedilmiştir (Şekil 5.2). Her iki ağaç türüne ait en fazla azalma oranı 212 °C’de gerçekleşmiş olup ladin odununda % 4,5 iken, kızılâğaç odununda % 5,6 olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Sefil, (2010); Gündüz ve Aydemir, (2009); Kaygın vd., (2009); Gündüz vd., (2008); Akyıldız vd., (2009) ; Şahin, (2002) tarafından da belirtilmiştir.

Çalışmamızda elde edilen sonuçlara göre, ısıl işlem sıcaklığının artışıyla yoğunluktaki düşüşün daha da yükseldiği sonucuna varılmıştır. Kortelainen et al., (2005) çalışmalarında, ısıl işlem sıcaklıkları ne kadar yüksek olursa kütle kaybının o derecede yüksek olacağını ve bu kütle kaybının da yoğunluğu düşürecek bir etki yaptığını belirtmişlerdir.

Literatürde, ısıl 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 (Vital and Lucia, 1983, Boonstra vd., 2007b).

Isıl işleme tabi tutulan ladin ve kızılâğaç odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen hava kurusu yoğunluk değerlerine ait azalma oranları Şekil 5.2’ de verilmiştir.



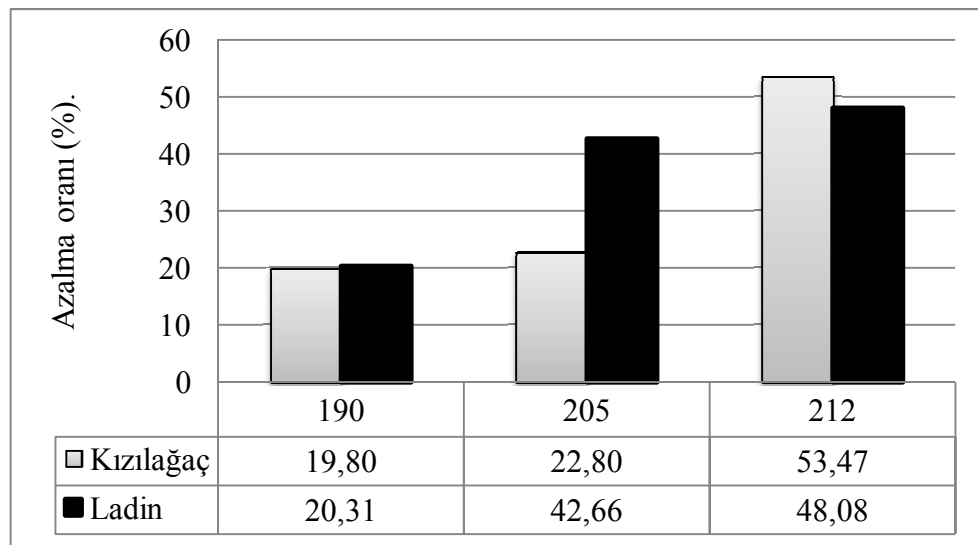
Şekil 5.2. Isıl işlem sonucu yoğunluğun kontrole göre azalma oranları.

Çalışmada ısıl işlem sonucu meydana gelen yoğunluktaki azalmanın kızılâğaç odununda ladin 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).

5.1.3. Boyutsal Değişim

Odun türlerinin boyutsal değişimi sadece daralma yönünden incelenmiştir. Isıl işlem görmüş test örneklerinin daralma yüzdeleri, kontrol örneklerinin daralma yüzdelerine kıyasla azalmıştır. Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak daralma yüzdelerindeki azalma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türü için en düşük azalma oranı 190 °C’de kızılâğaçta % 19,80, ladinde % 20,31, en yüksek azalma oranı ise 212 °C’de, kızılâğaçta % 53,47, ladinde ise % 48,08 olarak gerçekleşmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan ladin ve kızılâğaç odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen hacimsel daralma yüzdelerine ait azalma oranları Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Hacimsel daralma yüzdelerine ait azalma oranları.

Tespit edilen bu sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir. Kullanılan süre (2 saat), uygulanan 190, 205 ve 212 °C sıcaklık ve kullanılan ThermoWood yöntemine göre, boyutsal stabilitede iyileşmeler görülmektedir.

Hücre çeperindeki materyal kayıpları odunun boyutsal değişimine neden olmaktadır. Chang and Keith (1978), ısı 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. Isıl işlem serbest hidroksil gruplarının azalmasına neden olmaktadır (Pizzi et al., 1994). Çeşitli araştırmaların sonuçlarından, ısı işlem sonrası higroskopisitenin azalması ve buna bağlı olarak boyutsal stabilizasyonunda artışın sebepleri olarak; karbonhidratların ve özellikle hemiselülozların depolimerizasyonu hidroksil gruplarının toplam miktarında azalma (Kollman and Schneider, 1963; Burmester, 1975), 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) (Burmester, 1975; Bobleter and Binder 1980; Pizzi et al., 1994; Tjeerdsma et al., 1998a) gösterilebilir.

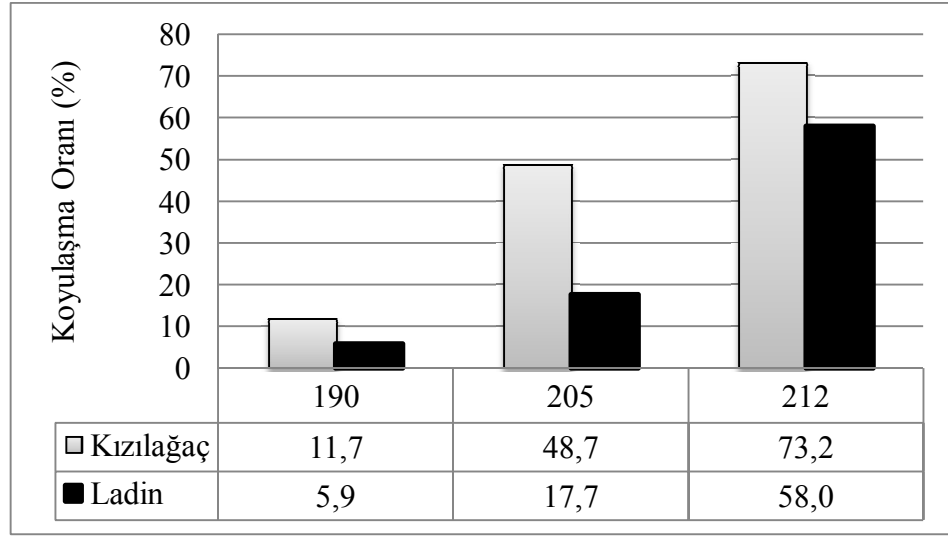
Yapılan birçok çalışmada genellikle sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte kullanılan tekniğe de bağlı olarak boyutsal stabilizasyonunun önemli oranda iyileştiği belirtilmektedir (Stamm et al., 1946; Yıldız, 2002; Esteves et al., 2007a Kaygın et al., 2009; Akyıldız et al., 2009).

5.1.4. Renk Değişimi

Isıl işlem görmüş test örnekleri, kontrol örneklerine kıyasla koyulaşmıştır. Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak toplam renk değişimindeki koyulaşma oranlarında da artış kaydedilmiştir. Her iki ağaç türüne ait toplam renk değişim oranı

en düşük 190 °C’de, kızılağaçta % 11,7 ve ladin odununda % 5,9 olarak en yüksek ise 212 °C’de kızılağaçta % 73,2 ve ladin odununda % 58 oranında koyulaşma gerçekleşmiştir (Şekil 5.4).

Isıl işleme tabi tutulan ladin ve kızılağaç odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen toplam renk değişimine ait koyulaşma oranları Şekil 5.4’ de verilmiştir.



Şekil 5.4. Isıl işlem sonucu toplam rengin kontrole göre koyulaşma oranları.

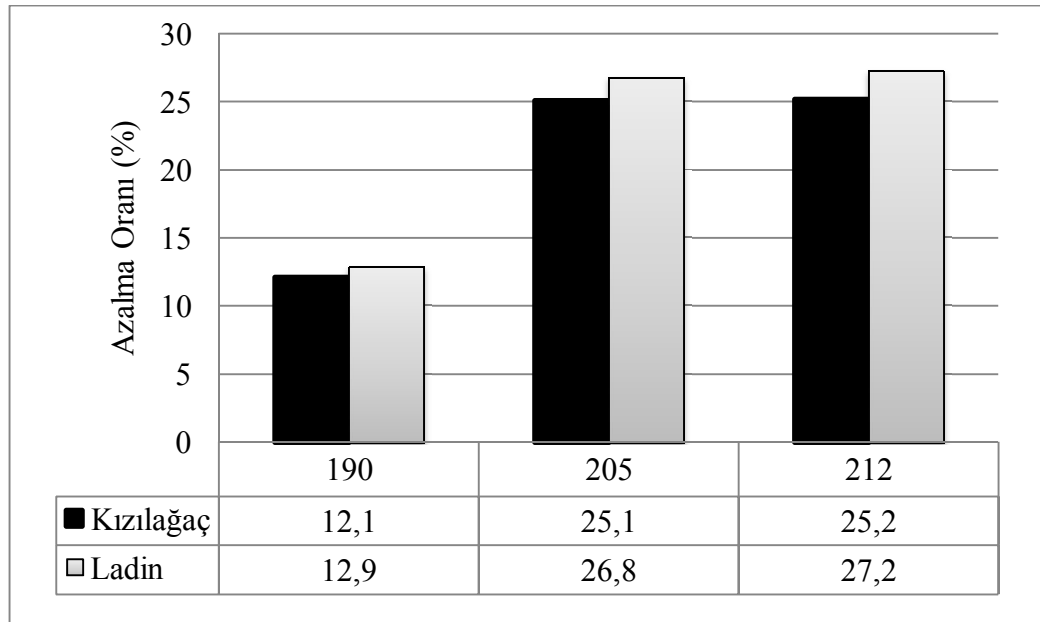
Chow and Mukai (1972), ısıl işlem nedeniyle meydana gelen renk değişimiyle kristallik derecesi, polimerizasyon derecesi ve OH miktarı arasında ilişki olduğunu belirtmektedir. Hillis’e göre (1975), odunda ısıl işlem sonrası renk değişimi hemiselülozun hidrolizinden kaynaklandığını belirtmiştir. Yine yapılan 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 (Terziev et. 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.

Elde edilen sonuçlar literatürle uyumluluk göstermiştir (Unsal et al., 2003; Niemz, 2003; Johanson and Mor'en 2006; Bekhta and; Mitsui, 2006; Bächle et. al., 2007; Özçifçi vd. 2009; Kaygın et al., 2009; 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 koyulaşma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir.

5.1.5. Isı İletkenliği

Isıl işleme tabi tutulan kızılğaç ve ladin 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. Bu deney sonucuna göre 190 °C'de, kızılğaçta % 12,1, ladinde % 12,9, 212 °C'de kızılğaçta % 25,2, ladinde % 27,2 oranında azalma meydana gelmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan kızılğaç ve ladin odunlarının test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen ısı iletkenliğine ait azalma oranları Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Isı iletkenliğine ait azalma oranları.

Şekil 5.5'e göre ısı işlem görmüş ağaç malzemenin ısı iletkenliği değeri ısı işlem sıcaklığı ile birlikte azalmıştır. Hem ladin hemde kızılâğaç odununda en yüksek ısı iletkenliği değeri teğet olarak kesilmiş kontrol örneklerinde 212 °C'de ısı işlem görmüş örneklerde tespit edilmiştir. Ayrıca varyans analizi sonuçlarına göre odun türünün ve ısı işlem sıcaklığının ısı iletkenliği üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Kızılâğaç odununun ısı iletkenliği ladin odununkinden düşük çıkmıştır.

Bu sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir (Santos, 2000; Militz, 2002; Kortelainen et al., 2006; Esteves et al., 2007b; Şahin Kol ve Sefil, 2011).

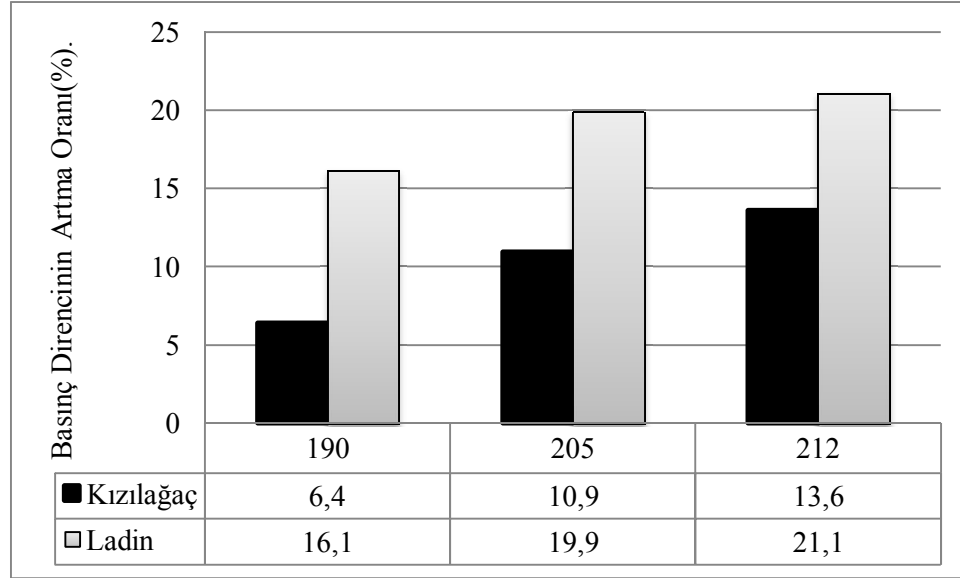
Isıl işlemin odunun ısı iletkenliğini önemli oranda azalttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni şöyle ifade edilebilir. Birincisi; ısı işlem denge rutubet miktarını azaltır. Çalışmada da ısı işlem odunun DRM'yi % 37 azalttığı belirlenmiştir. Rutubet miktarındaki azalma ısı iletkenlik değerini düşürecektir, çünkü rutubet miktarı ile ısı iletkenliği arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve rutubet düştükçe ısı iletkenliğinin de düşeceği belirtilmektedir (Gu and Hunt, 2007; Şahin Kol, 2009; Kol et. al.2011). İkincisi; ısı iletkenliği, yoğunluk düştükçe düşecektir. 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.

5.2. Mekanik Özellikler

5.2.1. Liflere Paralel Basınç Direnci

Isıl işleme tabi tutulan kızılâğaç ve ladin odununun test örneklerinde, liflere paralel basınç direnci değerlerinin kontrole oranla arttığı gözlenmiştir (Şekil 5.6). Isıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak liflere paralel basınç direnci değerlerindeki artmada artışlar gözlenmiştir. Her iki ağaç türüne ait en fazla artış oranı 212 °C'de gerçekleşmiştir. Ladin odununda bu sıcaklıkta liflere paralel basınç direnci artış oranı % 21,1 iken, kızılâğaç odununda % 13,6 olarak tespit edilmiştir.

Isıl işleme tabi tutulan ladin ve kızılâğaç odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait artış oranları Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Isıl işlem sonucu basınç direncinin kontrole göre oranları.

Benzer sonuçlar Sefil'in (2010) çalışmasında, farklı sıcaklıklarda (170, 180, 190, 200, 212 °C) ısı işlem uygulanmış odunlarda, liflere paralel basınç dirençlerinde % 13 artma olarak kaydedilmiştir. (Sefil, 2010; Şahin Kol, 2011) literatürlerde de buna benzer sonuçlar belirtilmektedir ve 195 °C'de 3 saat süreyle ısı 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 ısı 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 ısı işlem sonucunda liflere paralel basınç direncinde azalmalar olduğunu belirtmektedirler. Yıldız et. al., (2006) ısı 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 ısı işlem metoduna bağlı olduğu ve ThermoWood ısı 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 zayıflaması direnç özelliklerini azaltmaktadır. Çünkü direnç kovalent ayrıca hidrojen polimer bağlarıyla ilişkilidir (Fengel and Wegener, 1989; Winandy and Rowell, 1984). Böylece ısı işlem direnç özelliklerine pozitif katkıda bulunabilir. Çünkü ısı işlem görmüş odun daha az higroskopiktir ve maksimum bağlı 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 yüzde lignin miktarı artışı basınç direncinde artışa neden olabilir.

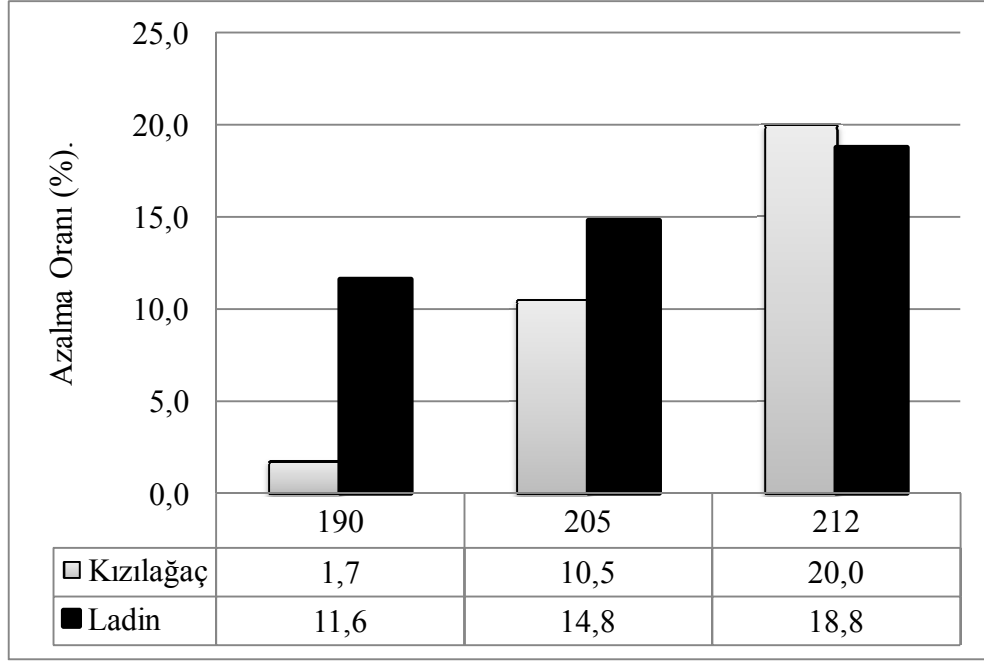
5.2.2. Eğilme Direnci

Isıl işleme tabi tutulan kızılâğaç ve ladin 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 5.7). Her iki ağaç türü için en yüksek azalma oranı 212 °C'de gerçekleşmiş olup ladin odununda eğilme direnci azalma oranı % 18,8 iken, kızılâğaç odununda % 20 olarak tespit edilmiştir.

Eğilme direnci için benzer sonuçlar literatürde belirtilmektedir. Sefil (2010) çalışmasında; ThermoWood yöntemiyle yaptığı deneylerde, kayın odunu için % 13,5, göknar odunu için ise % 15 oranında azalmalar kaydetmiştir. Aynı şekilde Şahin Kol (2010), çam için % 59,5 ve göknar odunu için % 13 azalmalar kaydetmiştir. Bu çalışmalarda ısıtma işleminin 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; Sefil, 2010; Şahin Kol, 2011).

Shi et al., (2007) 212 °C’de ladin için Thermo Wood yöntemiyle % 37’lik bir azalma bulmuşlardır. Korkut’da (2008) 180 °C normal atmosfer şartlarında yapılan ısıtma işlemi sonucunda % 16’lık azalma bulmuşlardır. Yapılan başka bir çalışmada 205 °C’de 5 saat süreyle ısıtma işlemi uygulanan *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, ısıtma işleminin odunun direnç özellikleri üzerine verebileceği zararı daha katlanılabilir hale getirmek için su buharıyla desteklenmiş bir sistemde ısıtma işleminin uygulanmasının daha uygun olduğu belirtilmektedir (Viitaniemi, 1997). Çalışmada bulunan sonuçlar bu yargıyı destekler niteliktedir.

Isıtma işlemine tabi tutulan ladin ve kızılçam odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları Şekil 5.7’de verilmiştir.



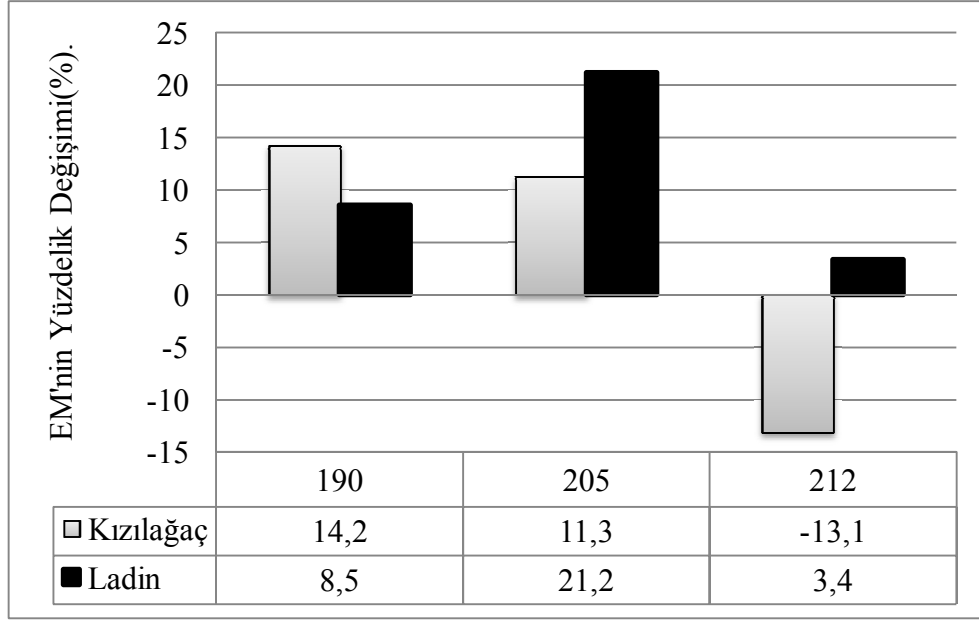
Şekil 5.7. Isıl işlem sonucu eğilme direncinin kontrole göre azalma oranları.

Isıl işlem sonrası eğilme direncindeki azalmanın esas nedeni hemiselülozların degradasyonuna atfedilir. Isıl işlem sıcaklığının artışı ile birlikte eğilme direncindeki azalma artar. Ayrıca, hemiselüloz miktarıyla eğilme direnci arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmektedir (Morrell 1993; Sweet and Winandy, 1999; Winandy and Lebow, 2001).

5.2.3. Elastikiyet Modülü

Isıl işleme tabi tutulan kızılğaç ve ladin odununun test örneklerinde, elastikiyet modülü değerlerinin kontrole oranla genelde azaldığı gözlenmiştir (Şekil 5.8). kızılğaçta ısıl işlem görmüş örneklerde maksimum azalma 190 °C’de, % 14,2 iken ladin odunundaki maksimum azalma 205 °C’de % 21,2 olarak görülmektedir. 205 °C sıcaklıktan sonra, ısıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak elastikiyet modülünün her iki ağaçta arttığı görülmektedir.

Isıl işleme tabi tutulan ladin ve kızılğaç odunu test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen elastikiyet modülü değerlerine ait oranlar Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Isıl işlem sonucu elastikiyet modülünün kontrole göre oranları.

Sefil (2010) çalışmasında; Isıl işlemin, kayın ve göknar odununda elastikiyet modülünde artış meydana getirdiğini tespit etmiştir. Elastikiyet modülündeki küçük fakat fark edilebilir artışın hemiselülozların degradasyonuna rağmen ısı işlem sonrası kristal selülozun nisbi miktarındaki artışından kaynaklanmış olabileceğini belirtmiştir (Sefil, 2010). Isıl işlem görmüş odun kontrolden daha az higroskopiktir (çünkü hücre çeperleri daha az bağlı su içerir) buda elastikiyet modülünü etkiler.

Literatürde ısı işlemin eğilmede elastikiyet modülünü arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Shi et. al., (2007) 202 °C’de ladin odununda % 17’lik bir artış olduğunu bulmuşlardır. Chang and Keith (1978) çalışmalarında; ılımlı ısı işlem sonucu odun örneklerinin elastikiyet modülünün önemsiz oranda arttığını ancak çok yüksek sıcaklıklarda muamelenin elastikiyet modülünde azalmaya neden olduğunu belirtmektedirler. Bekhta and Niemz (2003) çalışmalarında; ısı işlem sonucu elastikiyet modülündeki değişimin önemsiz olduğunu belirtmektedirler. Hills and Rozsa’ya (1978) göre, yüksek sıcaklık ve sürenin elastikiyet modülünü arttırıcı 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 ısı işleme 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).

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ThermoWood yöntemiyle ısıl işlem uygulanan Doğu Ladini ve Sakallı Kızılağaç odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu iki ağaç türü üç farklı sıcaklıkta (190, 205 ve 212 °C) ve iki saat süreyle ThermoWood yöntemiyle ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem görmüş odunlar kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Her iki ağaç türünde DRM, ısıl işlem sıcaklığıyla önemli oranda 212°C düşmüştür. Isıl işlemin özellikle 205 °C ve üzeri yüksek sıcaklıklarda ladin odununda %39, kızılğaç odununda % 35 oranında denge rutubet miktarında azalma tespit edilmiştir.

Isıl işlemin yoğunluğu düşürücü etkisinin olduğu ve bu düşüşün kızılğaç odununda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kızılğaç odununun hava kurusu yoğunluk değerinde en yüksek azalma 212 °C'de % 5,6 iken ladin odununun 212 °C'de % 4,5 olduğu kaydedilmiştir.

Odunun boyutsal stabilitesi ısıl işlem sıcaklığı arttıkça önemli oranda azalmış ve 212 °C'de kızılğaçta % 53,47, ladin odununda ise % 48,08 olarak tespit edilmiştir.

Isıl işlem sıcaklığı arttıkça odunun renginde de kahverengiye doğru bir renk koyulaşması tespit edilmiştir ve bu koyuluğun kızılğaçta daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Kontrol örnekleriyle yapılan kıyaslamada; kızılğaçta 212 °C'de % 73, ladinde ise % 58 oranında koyulaşma tespit edilmiştir. Ayrıca odundaki kısmi renk farklılıklarının ortadan kalktığı ve rengin homojen bir yapıya kavuştuğu görülmüştür.

Odunun ısı iletkenliği katsayısı sıcaklık yükseldikçe düşmemiştir. Her iki odun türünde azalma, en fazla 212 °C'de tespit edilmiştir. Kızılğaçta bu oran % 25,2 iken,

ladin odununda da % 27,2 olarak belirlenmiştir. Bu sayede odun, daha yalıtkan bir hale gelmiştir.

Isıl işlem sıcaklığının artmasıyla liflere paralel basınç direncinde kontrol örneklerine göre her iki ağaç türünde de artış görülmüştür. En yüksek artış 212 °C’de, kızılağaçta % 13,6, ladin odununda ise % 21,1 oranında tespit edilmiştir. Bu verilere göre; her iki ağaç türü de yük ve darbeye dayanıklı yerlerde önerilebilir.

Isıl işlem sıcaklık arttıkça eğilme direncini düşürmüştür. Eğilme direncinin en fazla azaldığı ısıl işlem sıcaklığının 212 °C olduğu belirlenmiştir. Eğilme direncinde, bu sıcaklıkta kızılağaçta % 20, ladin odununda ise % 18,8 gibi bir azalma tespit edilmiştir.

Isıl işlem, elastikiyet modülünde az miktarda ancak dikkate değer bir artış ve her iki odun türünde de 212 °C’de azalma meydana gelmiştir.

Bu çalışma sonucunda aşağıda verilen öneriler dikkate alınabilir.

Bu çalışmaya göre; ısıl işleme tabi tutulmuş ladin ve kızılağaç odunlarının ısıl işlem görmemiş oduna göre daha düşük denge rutubet değerine ve çalışma oranlarına sahip oluşundan dolayı dekorasyon, dış cephe kaplama ve havuz kenarlarında kaymayı engelleyici malzeme olarak kullanılabilmesi kanısına varılmakla beraber bu kanı spesifik çalışmalarla desteklenmelidir.

Boyutsal stabilite artış gerçekleştirdiği için her iki odun türü için de boyutsal çalışmanın istenmediği durumlarda, yani kapı, pencere yapımında, tavan döşemelerinde ısıl işlem uygulanmış kızılağaç ve ladin odunu kullanımı tavsiye edilebilir.

Ayrıca ısıl işlem sonucu ısı iletkenliğinin özellikle 212 °C’de önemli oranda azalması nedeniyle yalıtımın düşünüldüğü uygulama alanlarında tercih edilebilir.

Isıl işlem sonrası odunun renginde meydana gelen değişim ve kavuştuğu homojen yapıdan dolayı her iki odun türü de tavan ve dekoratif amaçlı kullanım için ideal bir malzeme olarak kabul edilebilir.

Yüksek sıcaklıkta muamele edilmiş kızılağaç ve ladin odununun EM ve direnç özelliklerindeki değişim göz önüne alındığında, konstrüksiyonlarda ısıl işlem uygulanmış malzeme kullanılacağı zaman, farklı direnç özellikleri üzerine ısıl işlemin etkileri orantılı olmadığı için pratik sonuçlar dikkatlice düşünölmelidir. Isıl işlem uygulanmış malzeme, konstrüksiyon üzerine uygulanan gerilmelere farklı tepkiler verebilir. Ayrıca kusursuz odun örneklerinde yapılan mekanik testler, farklı ısıl işlem metotlarının karşılaştırılması bakımından faydalı olmakla beraber konströktif elemanlar çeşitli güvenlik faktörleri dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

Akyıldız, H.M. and Ateş, S., “Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in Turkey”, *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4 (6): 660-665 (2008).

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).

Aydemir, D., “Gökmar (*Abies Bornmülleriana* mattf.) ve gürgen (*Carpinus Betulus*L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısı işleminin etkisi”, *ZKÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bartın, 7-68 (2007).

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).

Baltacı, S., “Bazı odunların çivi ve vida tutma direnci üzerine ısı işlem uygulamasının etkisi”, Yüksek lisans tezi, *KASÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kastamonu, 3-15 (2010).

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).

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).

Boonstra, M. J., “Two stage thermal modification of wood”, Ph.D., *Ghent University and Universite Henry Poincare-Nancy*, 20-90 (2008).

Burmester, A. “The dimensional stabilization of wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2 (2): 112–119 (1975).

Bourgois, J., Bartholin, M. C. and Guyonnet, R. “Thermal treatment of wood: analysis of the obtained product, *Wood Science and Technology*, 23 (4): 303–310 (1989).

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

[2]

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, Orman Endüstri Mühendisliği*, Trabzon, 29-30 (2001).

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

[4]

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 (2007).

Feist, W. C., Hajny, G. J. and Springer, E. L., “Effect of storing green wood chips at elevated temperatures, *Tappi*, 56 (8): 91–95 (1973).

[5]

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).

- Garrote, G., Domínguez, H. and Parajó, J. C., “Hydrothermal processing of lignocellulosic materials”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57 (3): 191–202 (1999).
- 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).
- Güller, B., and Sevim, Korkut, D., “The effects of heat treatment on some physical properties and surface roughness in red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood”, *Bioresource Technology*, 38-48 (2007).
- Gunduz, G., Korkut, S. and Sevim, Korkut, D., “The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyanı Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) wood”, *Bioresource Technology*, 99 (7): 2275-2280 (2008).
- Gündüz, G., Niemz, P. and Aydemir, D., “Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat-treated fir” *Wood Drying Technology*, 26 (9): 1135-1139 (2008).
- Gündüz, G. and Aydemir, D., “Some physical properties of heat-treated hornbeam wood”, *Wood Drying Technology*, 27 (5): 714-720 (2009).
- Hafizoğlu, H., “Orman ürünleri kimyası”, Ders notları, *KTÜ. Orman Fakültesi*, Trabzon, (1): 52 (1982).
- Haw, J. F. and Schultz, T. P., “Carbon-13 CP/MAS NMR and FT–IR study of low temperature lignin pyrolysis”, *Holzforschung*, 39 (5): 289–296 (1985).
- 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).
- Johansson, D., “Drying and heat treatment of wood: Influences on internal checking”, *Proceedings 3rd Nordic Drying Conference*, Karlstad, Sweden 1-10 (2005).

Johansson, D., “Strenght and Colour Response of Solid Wood to Heat Treatment, Licentiate Thesis”, *Luleå University of Technology, Department of Skellefteå Campus, Division of Wood Technology*, Sweden, (93): 58 (2005).

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 Tecnology*, 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).

[6] Korkut, S., “The effects of heat treatment on some technological properties in Uludağ fir wood”, *Build Environment*, 43 (4): 422-428 (2008).

[7]

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 (2008).

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 (2008).

Korkut, S. and Özdemir, H., “ThermoWood”, *Yapı Dekorasyon Ahşap-Araştırma-Teknoloji-Tasarım-Mobilya ve İç Mimari Dergisi*, (25): 133-136 (2003).

[8]

[9] 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).

[10]

Kotilainen, R., “Chemical changes in wood during heating at 150-260 °C PHD thesis”, *Jyväskylä 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 AWPA*, 47 (1): 155-169, (1951).

Mayes, D. and Oksanen, O., “Thermowood handbook”, *Finnforest*, Finland, 5-15 (2002).

Mc Donald, A. G., Dare, P. H., Gifford, J. S., Steward, D. and Riley, S., “Assessments of air emissions from industrial kiln drying of *Pinus radiata* wood”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, (60): 181-190 (2002).

Merev, N., “Odun anatomisi ve odun tanıtımı”, Lisans Ders Notları, *KTÜ. Orman Fakültesi*, Trabzon, 36-52 (1984).

Millett, M. A. and Gerhards, G. C., “Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C”, *Wood Science*, 4 (4): 193–201 (1972).

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 (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).

Repellin, V. and Guyonnet, R., “Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition”, *Holzforschung*, 59 (1): 28-34 (2005).

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).

[11] Santos, J. A., “Mechanical behaviour of eucalyptus wood modified by heat wood”, *Science Technology*, (34): 39-43 (2000).

[12] Schneider, A., “Investigations on the convection drying of lumber at extremely high temperatures”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 31 (1): 198-206 (1973).

Sefil, Y., “ThermoWood yöntemiyle, ısıl işlem uygulanmış göknar ve kayın odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 65-77 (2010).

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.J. and Hansen, L.A., “Minimizing wood shrinkage and swelling, effect of heating in various gases”. *Industrial and Engineering Chemistry*, 29 (7): 831–833 (1937).

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).

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).

Sidorova, E., “Trends and reasons for development of heat treated wood”, Master thesis, *Lulea University of technology*, Sweden, 40 (2009).

Şahin, K. H., “Thermal and dielectric properties of pine wood in the transverse direction”, *BioResources*, 4 (4): 1663-1669 (2009).

Şahin, K. H., “Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing”, *Journal of Environmental Biology*, 31: 1007-1011 (2010).

Şahin, K. H. ve Sefil, Y., “The Thermal Conductivity of Fir and Beech Wood Heat Treated at 170, 180, 190, 200, and 212 °C”, *Journal of Applied Polymer Science*, 121 : 2473–2480 (2011).

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).

Tiemann, H.D., “The effect of different methods of drying on the strength of wood” , *LumberWorld Review*, 28 (7): 19-20 (1915).

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 (1998).

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 (1998).

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).

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 ağırlığının tayini", *TSE*, Ankara, Kasım (1992).

TS 2474: "Odunda statik eğilme dayanımının tayini", *TSE*, Ankara, (1976).

TS 2478: "Odunda statik egilmede elastiklik modülünün tayini", *TSE*, Ankara, Kasım (1978).

TS 2595: "Oduunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini", *TSE*, Ankara, (1997).

TS 4086: "Wood-determination of volumetric swelling", *TSE*, Ankara, (1983).

TS 4176: "Oduunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin tayini için homojen meşçerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması", *I. Baskı, TSE* Ankara, Eylül (1984).

[13] 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).

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).

Winandy, J. E. and Rowell, R. M., "Chemistry Of Wood Strength", *Handbook Of Wood Chemistry And Wood Composites-Unit. 11: Thermal Degradaion*, 303-350 (2005).

Vital, B. R. and Lucia, R. M. D., "Effect of heating on dimensional stability and hygroscopticity 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).

ÖZGEÇMİŞ

Zeliha ÇALIOVA 1984'de Samsun'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Samsun 100. Yıl Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 2004 yılında ZKÜ, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği Bölümü'ne girdi. 2008 yılında mezun oldu ve aynı yıl Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Haziran 2011'de yüksek lisans öğrenimini tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Şirinevler Mah. Şahinbey cad. /KARABÜK
Tel : 0 505 260 12 84
E-posta : zozbey.caliova@gmail.com