



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DOĞU KAYINI VE SAPLI MEŞE ODUNLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

GÖKÇE BÜRÜÇ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. DENİZ AYDEMİR

BARTIN-2018



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞU KAYINI VE SAPLI MEŞE ODUNLARININ BAZI ÖZELLİKLER
ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
Gökçe BÜRÜÇ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Doç. Dr. Deniz AYDEMİR	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğretim Üyesi Kıvanç BAKIR	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğretim Üyesi Cemal ÖZCAN	- Karabük Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin YÖRÜR	- Karabük Üniversitesi

BARTIN-2018

KABUL VE ONAY

Gökçe BÜRÜÇ tarafından hazırlanan “DOĞU KAYINI VE SAPLI MEŞE ODUNLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ” başlıklı bu çalışma, 07.09.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Deniz AYDEMİR (Danışman)

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Kıvanç BAKIR (İkinci Danışman)

Üye : Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Cemal ÖZCAN

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin YÖRÜR

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Deniz AYDEMİR danışmanlığında hazırlamış olduğum “DOĞU KAYINI VE SAPLI MEŞE ODUNLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

07.09.2018

Gökçe BÜRÜÇ

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren saygıdeğer danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Deniz AYDEMİR’e teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Bartın Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunda görev yapan ve tez çalışmalarım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen 2. danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Kıvanç BAKIR’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ’e teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Tezimin değerlendirilmesinde ve değerli bilgilerinden yararlandığım değerli hocam, Sayın Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin YÖRÜR ve Dr. Öğretim Üyesi Cemal ÖZCAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen babam Polat BÜRÜÇ, annem Hanife BÜRÜÇ’e sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışmalarım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım Samet KIZILIRMAK’a teşekkür ederim.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOĞU KAYINI VE SAPLI MEŞE ODUNLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ

Gökçe BÜRÜÇ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Deniz AYDEMİR

Bartın-2018, sayfa: 63

Ahşap, birçok sektörde kolay işleme, mukavemet değerleri ve fiyat gibi birçok avantaj için kullanılmıştır. Tüm bunlar için, ahşap malzemelerin yüksek hidrofilik davranış, düşük termal kararlılık gibi birçok dezavantajı vardır. Dezavantajların azaltılması için çeşitli teknikler kullanılmıştır. Ahşap malzemelerin Isıl işlemi bu tekniklerden biridir. Bu çalışmanın amacı ısıl işlem görmüş ahşabın 180°C ve 220°C'de 8 saat muamelesi sonrasında termal ve mekanik özelliklerini araştırmaktır. Isıl işlem sonrası; Eğilme direnci ve modülü, basınç direnci ve yapışma direnci gibi mekanik özellikler, termogravimetrik analiz incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ısıl işlem görmüş ahşap malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri düşmüştür ve ısıl işlem sıcaklığı 180°C'den 220 °C'ye yükselirken, fiziksel ve mekanik özelliklerdeki düşüş artmıştır. Termogravimetrik analiz sonrasında termal kararlılığın arttığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Odun, Isıl işlem, odun modifikasyonu, malzeme karakterizasyonu

Bilim Kodu: 502.15.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON THE SOME PROPERTIES OF BEECH AND OAK WOOD

Gökçe BÜRÜÇ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Forest Industrial Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Deniz AYDEMİR

Bartın-2018, pp: 63

Wood has been used to many advantages such as their easy processing, strength values, and price in the many sectors. For all that, wood materials have many disadvantages such as high hidrofilic behavior, low thermal stability. The various treatment technics were used to overcome the disadvantages. The heat treatment of wood materials is one of the technics. The aim of this study was to determine the physical, thermal and mechanical properties of heat-treated wood at 180°C and 220°C for 8 h. After heat treatment process; mechanical properties such as flexural MOR and MOE, compression MOR and lap shear strength, physical properties such as density and water intake, thermal properties such as thermal stability with TGA were investigated. According to the obtained results, physical and mechanical properties of heat-treated wood materials decreased, and while temperature in the heat treatment was rising from 180°C to 220°C, physical and mechanical properties decreased more. Thermal stability was determined to increase with thermogravimetric analysis.

Keywords: Wood, heat treatment, Wood modification, material characterization

Science Code: 502.15.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	2
BEYANNAME	3
ÖNSÖZ.....	4
ÖZET	5
ABSTRACT	6
İÇİNDEKİLER.....	7
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	10
TABLolar DİZİNİ	11
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	14
 BÖLÜM 1 GENEL BİLGİLER	 15
1.1. Giriş	15
1.2. Yüksek Sıcaklıklarda Ahşap Materyalin Modifikasyonu	17
1.3. Isıl İşlem Metodu	17
1.3.1. Kurutma Aşaması	17
1.3.2. Isıl İşlem Aşaması	18
1.3.3. Soğutma ve Kondisyonlama.....	18
1.4. Yüksek Sıcaklıkta Modifikasyon Sonrası Ahşap Materyalin Özelliklerindeki Değişimler.....	19
1.4.1. Isıl işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerine etkisi	19
1.4.2. Isıl işlem uygulamasının mekanik özellikler üzerine etkisi	19
1.4.3. Isıl işlem uygulamasının kimyasal özellikler üzerine etkisi.....	20
1.5. Yüksek Sıcaklıkta Modifiye Edilmiş Ahşap Materyalin Avantajları ve Dezavantajları	21
1.6. Çalışmada Kullanılan Ağaç Türlerine Ait Bilgiler	22
1.6.1. Kayın	22
1.6.2. Meşe	22
1.7. Literatür Özeti	23
 BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOT	 28

2.1. Materyal	28
2.1.1. Ağaç Malzeme	28
2.2. Metot	28
2.2.1. Örneklerin Hazırlanması	28
2.2.2. Yapılan Isıl İşlem Metodu	29
2.2.3. Yoğunluk	30
2.2.4. Su Alma	31
2.2.5. Renk Değişimi	31
2.2.6. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü	31
2.2.7. Basınç Direnci	33
2.2.8. Yapışma Direnci	33
2.2.9. SEM Analizi	34
2.2.10. TGA Analizi	34
2.2.11. Kullanılan İstatistik Yöntem	34
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	35
3.1. Yoğunluk	35
3.1.1 Meşe Odununa Ait Hava Kuru (%12) Yoğunluk Değerleri	35
3.1.2. Kayın Odununa Ait Hava Kuru (%12) Yoğunluk Değerleri	36
3.2.1. Su Alma Oranları	38
3.2.2. Su alma	39
3.3. Renk Değişimi	40
3.3.1. Meşe Odununa Ait Delta L Değerleri	40
3.3.2. Meşe Odununa ait Delta a Değerleri	41
3.3.3. Meşe Odununa Ait Delta b Değerleri	42
3.3.4. Kayın Odununa Ait Delta L Değerleri	43
3.3.5. Kayın Odununa Ait Delta a Değerleri	43
3.3.6. Kayın Odununa Ait Delta b Değerleri	44
3.4. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü	45
3.4.1. Meşe Odununda Eğilme Direnci	45
3.4.2. Kayın Odununda Eğilme Direnci	46
3.4.3. Meşe Odununda Eğilmede Elastikiyet Modülü	47
3.4.4. Kayın Odununda Eğilmede Elastikiyet Modülü	48

3.5. Basınç Direnci.....	48
3.5.1. Meşe Odununda Basınç Direnci	48
3.5.2. Kayın Odununda Basınç Direnci	49
3.6. Yapışma Direnci	50
3.6.1. Meşe Odununda Yapışma Direnci	50
3.6.2. Kayın Odununda Yapışma Direnci	51
3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri	53
3.8. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	54
 BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
 KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1. Isıl işlem aşamaları.....	18
2.1. Deney örneklerinin hazırlanması	29
2.2. Isıl işlem görmüş deney örnekleri	30
2.3. Örneklerin eğilme direnci ölçümü	32
2.4. Örneklerin yapışma direnci ölçümüne hazırlığı	33
3.1. Meşe odununa ait hava kurusu (%12) yoğunluk değerleri.....	36
3.2. Isıl işlem sonrası kayın odununun hava kurusu (%12) değerlerine ilişkin basit varyans (BVA) analizi.....	38
3.3. Isıl işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının özgül kütlesine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	40
3.4. Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin içyapı görüntüleri.....	53
3.5. Isıl işlem görmüş ve kontrol odunlarının TG eğrileri	54
3.6. Isıl işlem görmüş ve kontrol odunlarının DTG eğrileri	55

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1.1. Kayın odunun fiziksel ve mekanik özellik değerleri	22
1.2. Meşe odunun fiziksel ve mekanik özellik değerleri	23
2.1. Isıl işlem uygulamasıyla her iki ağaç türü için iki ayrı sıcaklık ve tek süre kombinasyonu ile toplam 4 varyasyonda yapılan çalışma	29
3.1. Isıl işlem sonrası meşe odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	35
3.2. Isıl işlem sonrası meşe odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin %95 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	36
3.3. Isıl işlem sonrası kayın odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	37
3.4. Isıl işlem sonrası kayın odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin 0,05güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları	37
3.5. işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının özgül kütlesine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	39
3.6. Isıl işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının özgül kütlesine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	39
3.7. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta L renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	41
3.8. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta L renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	41
3.9. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta a renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	41
3.10. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta a renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	42
3.11. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta b renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	42
3.12. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta b renk değişimine ilişkin 0,05güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	42
3.13. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta L renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	43

3.14. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta L renk değişimine ilişkin 0,05güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	43
3.15. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta a renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	43
3.16. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta a renk değişimine ilişkin 0,05güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	44
3.17. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta b renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları	44
3.18. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta b renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	44
3.19. Kayın ve meşe odunlarının ısı işlem sonucunda meydana gelen renk değişimleri	45
3.20. Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	46
3.21. Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme direncine ilişkin 0,05güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	46
3.22. Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	46
3.23. Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	47
3.24. Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme modülüne ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	47
3.25. Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme modülüne ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	47
3.26. Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme modülüne ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	48
3.27. Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme modülüne ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	48
3.28. Isıl işlem sonrası meşe odununun basınç direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	49
3.29. Isıl işlem sonrası meşe odununun basınç direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	49
3.30. Isıl işlem sonrası kayın odununun basınç direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	49

3.31. Isıl işlem sonrası kayın odununun basınç direncine ilişkin 0,05güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	39
3.32. Isıl işlem sonrası meşe odununun yapışma direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	40
3.33. Isıl işlem sonrası meşe odununun yapışma direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	40
3.34. Isıl işlem sonrası kayın odununun yapışma direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.....	41
3.35. Isıl işlem sonrası kayın odununun yapışma direncine ilişkin 0,05güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.....	41
3.36. Isıl işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının dirençlerine ilişkin basit varyans 4 analizi (BVA) sonuçları	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F	:	Kırılma anındaki maksimum kuvvet
H ₂ O	:	Su
T (h)	:	Zaman
T (c)	:	Sıcaklık
ΔE	:	Toplam renk değişimi
ΔF	:	Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı
Δf	:	Örnekteki eğilme miktarı farkı
$\Delta L, \Delta a, \Delta b$	:	Renklerin ilk hali (i) ile son hali (f) arasında oluşan değişiklikler

KISALTMALAR

CS	:	Paralel sıkıştırma mukavemeti
DTA	:	Diferansiyel termal analiz
DTG	:	Diferansiyel termogravimetrik analiz
FTIR – ATR	:	Spektroskopisi fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
IBS	:	Darbe eğilme dayanımı
K	:	Kayın
KK	:	Kontrol kayın
KM	:	Kontrol meşe
M	:	Meşe
MOE	:	Elastiklik modülü
MOR	:	Eğilme mukavemeti
MPa	:	Megapascal
OHT	:	Alman inert gazı
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
VTT	:	Finlandiya teknik araştırma merkezi
XPS	:	X-ray photoelectron spectroscopy
XRD	:	X- ışını kırınım analizi

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Gelişen Dünya üzerinde gün geçtikçe insan sayısı ve refah seviyesi artış göstermekte, bu nedenle ağaç malzemenin kullanımı daha fazla artmakta ve beraberinde ağaç malzemeye duyulan ihtiyaçta çoğalmaktadır. Ağaç esaslı hammaddelerin, bu şekilde çoğalan istekleri gidermeleri hayli zor görülmektedir. Bu nedenle, geçmişten günümüze ağaç malzemenin doğal bir şekilde kullanım ömrünü uzatmaya ait yapılan çalışmalara olan ilgi, her geçen gün fazlalaşmaktadır. Isıl işlem doğrultusunda gerçekleşen kapsamlı tetkikler sayesinde thermowood ticari bir ürün olarak piyasadaki yerini almıştır. Thermowood ticari ismi, Finlandiya araştırma merkezi (VTT) ile birlikte gerçekleştirdikleri ortak çalışmalar doğrultusunda ortak karar verilmiştir (Bektaş vd., 2017).

Ağaç malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine birçok alanda çalışmalar yapılmış ve hala bu doğrultuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda oluşan metotlara "Odun Modifikasyonu" metotları denilmektedir. Bu yöntemler ağaç malzemenin günümüzde dekorasyon amaçlı kullanımını arttırmıştır. Ağaç malzeme ilk kez 1930'lu yıllarda Almanya'da Stamm ve Hansen tarafından ısıl işleme tabii tutulmuştur. Ağaç malzemenin buhar kullanılarak ısıtılması yöntemi, Fin (Thermowood) yönteminden daha sonra geliştirilmiştir. Aynı zamanda buhar ve sıcak havayı birlikte kullanarak Plato yöntemi geliştirilmiştir. Fransız (Rectification) yönteminde, inert gaz kullanmışlardır. Alman (OHT) yönteminde ise ısıl işlem yöntemi sıcak yağ kullanılarak yapılmaktadır. Bu şekilde ağaç malzemenin ısıl işlem ile muamele edilmesi sonucunda mekanik, fiziksel vb. özellikleri değişmektedir. Dış ve iç mekân uygulamalarında ısıl işlem görmüş ağaç malzeme kapı, dış cephe kaplaması, bahçe mobilyası, pencere, yer döşemesi, lambri vb. alanlarda gittikçe artan bir kullanım sahasına sahip olmuşlardır (Altınok vd., 2010).

Ağaç malzeme fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından kullanım alanlarındaki beklenen performansına göre farklı türleri seçilerek kullanılabilirler. Yük taşıyıcı yapı elemanları için eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci gibi mekanik özellikler önemlidir.

Kullanılan ağaç malzemede boyutsal kararlılık, banyo ve bahçe mobilyaları vb. rutubetli ortamlar için önemli bir faktördür. Bu yüzden ahşap malzemenin boyutsal kararlılığı birçok çalışmaya konu olmuştur. Ağaç malzemenin fiziksel özelliklerini, ısıtma işlemi ile boyutsal kararlılığını artırarak higroskopisitesinin iyileştirildiği belirtilmektedir. Elde edilecek bu iyileşme, ağaç malzemenin anatomik yapısına, ısıtma işlemi yöntemine, uygulama süresine ve sıcaklığına vb. gibi ısıtma işlemi sırasında uygulanan parametrelere bağlıdır. Isıtma işlemi uygulamasına maruz kalan kayın odununda %47,64 şişmeye karşı dayanıklılık elde edildiği ortaya konulmaktadır. Ayrıca ısıtma işlemi, ağaç malzemenin mantar çürümelerine karşı direncini artırabilmektedir. Ağaç malzemenin termit unsuruna karşı direnci, ağaç malzemeye ısıtma işlemi uygulandığında termit türüne göre değişiklik göstermektedir. Isıtma işlemi bu şekilde olumlu değişiklikler sunabildiği gibi mekanik dirençlerde azalmaya sebep olarak olumsuz değişimlere de yol açabilmektedir. Mekanik dirençlerdeki düşüş, ağaç malzemenin türü ve ısıtma işlemi uygulamasının şartlarına bağlıdır. Isıtma işlemi uygulamaları günümüzde daha teknolojik ve bilimsel sistemlerle gerçekleştirilmektedir (Özçiftçi vd., 2009).

İnsanlar ahşabı çeşitli gereksinimlerde kullanmak ve ahşabı dış etkenlere karşı daha dayanıklı yapmak için birden fazla işleme tabii tutmuştur. Ahşabın iyileştirilmesi için günümüze kadar gelen basit sistemlerden bazıları; teknik kurutma, doğal kurutma, ısıtma, yakma vb. sistemlerdir. Bu sistemlerin gelişmiş teknolojik yapılar ile yapılması, hızla çoğalan ve dayanımı düşük olan yapraklı ve iğne yapraklı ağaç çeşitlerinin kalitesini yükseltmek açısından çevre dostu ve ekonomik bir alternatif olarak görülmektedir. Isıtma işlemi ile alakalı yapılan araştırmalar sonucunda thermowood ticari bir uygulama olarak 1990 yılından bugüne kadar ticari bir ürün olarak orman ürünleri piyasasındaki yerini aldığı görülmektedir (Can ve Yıldız, 2013).

Bu çalışmanın amacı; Doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.) ve Saplı meşe (*Quercus petraea* L.) örnekleri 180 ve 220 °C sıcaklıkta 8 saat süre ile ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Isıtma işlemi uğrayan ahşap malzemelerin ısıtma işlemi uğramamış örneklerle kıyasla fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik özelliklerinin nasıl bir değişime uğradığı araştırılmış olup ısıtma işlemi hakkında temel bir bilgi sunulmuştur.

1. 2 Yüksek Sıcaklıklarda Ahşap Materyalin Modifikasyonu

Isıl işlem teknolojisi, ülkemizde birçok alanda kullanılmaya başlamış bir uygulamadır. Yapılan çalışmalarda, ısıtıl işlem uygulaması ağaç malzemenin fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Bu olumlu sonuçlara dayanarak ağaç malzemenin en çok dış mekan uygulamaları ve yapı malzemesi olarak uygulanmasının yararlı olabileceği ifade edilmiştir. Bu açıdan ülkemizde ısıtıl işlem uygulamaları sonrası, yerli ve yabancı ağaçlarda fiziksel ve mekaniksel özellikleri belirlemesi endüstriyel anlamda büyük değere sahiptir. Buna ek olarak farklı ağaç çeşitlerinin birleştirilmesi sonucu elde edilen lamine ahşap uygulamaları, ağaç malzemedan daha ekonomik olarak yararlanılmasına imkân sağlamak ve dayanım özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan bir tekniktir.

Lamine ahşap uygulamalarında dış yüzeylerde dirençli ve ticarete değeri fazla olan ağaç türleri, iç katmanda ise ticarete değeri düşük, yoğunluğu daha az olan ağaç türleri hem görsel hem de fiziksel, ekonomik ve mekanik ihtiyaçlarına daha olumlu yanıt verebilmek için tercih edilmektedir. Oluşturulan yapılarda orta katmanda daha uygun ve düşük yoğunluklu ağaç malzemelerin kullanılması ile daha ekonomik, daha hafif ve beklenen görselliğe sahip malzemelere ulaşılmaktadır. Kullanılan ağaç türlerinin dayanıklılığı iyi olursa kullanım yerlerinde iken dış ortama maruz kalan bölgelerinde daha iyi dayanıklılık sağlar ve daha ekonomik olarak kullanılır. Isıl işlem yöntemi kompozit malzemelerde liflere ve kaplamalara; daha yüksek stabilite, dayanıklılık ve kullanım süresinde artma, ürün emniyetinde iyileşme, güvenilirlik ve daha yüksek fiyat ederine sahip olma vb. özellikler sağlamaktadır (Ayan ve Ciritoglu, 2012).

1.3 Isıl İşlem Metodu

Isıl işlem yöntemi 3 ana safhadan oluşmaktadır.

1.3.1 Kurutma Aşaması

Ahşap malzemeye ısıtıl işlem tatbikinde ahşabın başlangıç rutubetinin hiçbir önemi yoktur. Isıl işlem yeni kesilmiş (yaş) veya fırın kurusu hammaddelere uygulanabilmektedir. Kurutma aşaması ısıtıl işlem metodunun en uzun safhasıdır. Sıcaklık ve buhar tatbik edilerek fırının sıcaklık değeri hızlı bir şekilde 100 °C'ye yükseltilmiştir. Kurutmanın

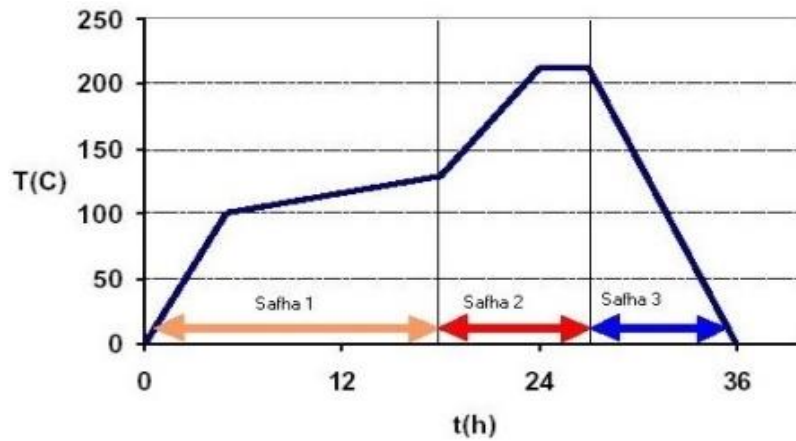
gerçekleştirdiği yüksek sıcaklık süresi boyunca artış gösteren sıcaklık, 130 °C'ye yükseltilmiş ve ahşap malzemedeki nem içeriğini %0'a kadar düşürmüştür (Doruk vd., 2010).

1.3.2 Isıl İşlem Aşaması

Isıl işlem uygulaması kapalı bir odada sıcaklığın 185 °C'ye yükseltilmesi ile gerçekleştirilir. İstenilen sıcaklığa erişildiğinde, ısıtım işlemi uygulaması amacına göre, ağaç malzeme kapalı bir odada sabit bir şekilde 2-3 saat boyunca tutulur. Isıl işlem aşaması kurutma aşamasından hemen sonra başlatılır (Doruk vd., 2010).

1.3.3 Soğutma ve Kondisyonlama Aşaması

Isıl işlem uygulamasından sonra, ağaç malzemeyi kontrollü olarak soğutmak için kondisyonlama periyodu uygulanmaktadır. Ağaç malzeme de çatlak oluşumunun önüne geçmek için dış hava arasındaki yüksek sıcaklık farklılıkları bu aşamada en alt düzeye indirgenmiştir. Isıl işlem uygulaması sırasındaki sıcaklığa ve kerestenin cinsine bağlı olarak kondisyonlama 2-5 saat arasında sürmektedir. Ayrıca ağaç malzemeyi istenilen rutubet seviyesine ulaştırmak için yeniden nemlendirme işlemi yapılarak sadece su ve ısı enerjisi kullanılmaktadır. İşlem gerçekleştirildikten sonra, ulaşılan nem seviyesi ağaç malzemenin çalışma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Mizgin, 2016).



Şekil 1.1: Isıl işlem aşamaları (Mayes ve Oksanen, 2002).

1.4 Yüksek Sıcaklıkta Modifikasyon Sonrası Ahşap Materyalin Özelliklerindeki Değişimler

Isıl işlem, ağaç malzemenin hücrelerindeki hücre duvarlarının polimer ile bileşenlerin kalıcı değişimine neden olan fiziksel bir işlemdir. Bu değişim 150 °C'den fazla olan sıcaklıklara tabii tutulan ahşap materyalde meydana gelir. Bu değişimlerin ardından ahşap materyalin özelliklerinde de değişimler meydana gelmektedir (Akkılıç vd., 2014).

Isıl işlem, ağaç malzemenin moleküler yapısının değişmesine yol açar ve bu sayede ağaç malzemenin performansını arttırabilir. Isıl işlem sayesinde ağaç malzemenin biyolojik (mantar ve böcek) dayanımı ve düşük denge rutubeti elde edilebilir. Ağaç malzemenin genişleme ve daralma oranlarına göre boyutsal stabilitesi artış gösterir. Isıl yalıtım kabiliyeti artar. Dış hava koşullarına karşı dayanım, boya adezyonu, dekoratif renk çeşitliliği de artmaktadır. Ayrıca bunların yanında ağaç malzemelerin kullanım süreleri de uzamaktadır. Isıl işlem uygulaması, düşük kaliteli ağaç çeşitlerine yeni pazar fırsatları sağlayarak, daha kaliteli ağaç çeşitlerine karşı rekabet gücünü arttırabilmektedir. Isıl işlem uygulamasında tüm bu değişimler kimyasal maddeler kullanılmadan insan ve çevre sağlığına zararsız olarak elde edildiği için emprenye uygulamasına karşı ekolojik bir seçenek olarak tercih edilebilir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

1.4.1 Isıl işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerine etkisi

Ağaç malzemenin, ısı işlem uygulamasına maruz kalması sonucunda ağaç malzemenin su adsorpsiyonu azalmaktadır. Su adsorpsiyonunda ki azalma odunun daralmasını ve genişlemesini azaltır, bu sayede odunun boyutsal stabilitesini arttırmaktadır. Isıl işlem sonrasında ağaç malzemede ağırlık ve yoğunluk değişmektedir. Ayrıca ağaç malzemede ki ana bileşenlerin bozunması sonucu iç gerilmeler daha az moleküler materyal üzerine dağıtılır. Bu durum da direnç özelliklerinin azalmasına neden olur (Korkut ve Kocaefe, 2009).

1.4.2 Isıl işlem uygulamasının mekanik özellikler üzerine etkisi

Isıl işlem uygulamasında, ısı ve süreye bağlı olarak ağaç malzemedeki görülen kütle kaybı, lignin ana bileşeninin deformasyona uğraması ve polimerik yapıdaki bozunma nedeniyle

150-280 °C arasındaki sıcaklıklarda odunun mekanik özellikleri azalmaktadır. Isıl işlem sonrası, mekanik dirençlerde kayıpların yaşanmasından dolayı ağaç malzemenin yük taşıma ve dayanıklılık gerektirecek yapılarda kullanılması tavsiye edilmez. Daha çok dekoratif ve estetik amaçla kullanılması ve bunun yanında mutlaka boyutsal stabilizasyonun önemli olduğu sulu veya nemli alanlarda kullanılması önerilir. Isıl işlem sonrası mekanik özelliklerden; makaslama direnci azalır, liflere paralel çekme direnci daha fazla azalır, eğilme direnci ve liflere paralel çekme direnci düşer, şok direnci diğer dirençlere göre daha fazla düşer, eğilme testi boyunca elastikiyet modülünde düşer. Sertlik ve liflere paralel basınç direnci artar. Özellikle düşük sıcaklıklarda (180 °C altı) artışlar görülebilmektedir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

1.4.3 Isıl işlem uygulamasının kimyasal özellikler üzerine etkisi

Ağaç malzeme, ısı ile etkileşime geçtiği zaman hidroliz ile asetilleşen hemiselülozlardan asetik asit meydana gelir. Serbest kalan bu asetik asit hemiselülozun şekerlere hidrolizinde bir katalizör görevi görür. Ayrıca asetik asit, amorf bölgedeki selüloz mikrofibrilleri depolimerize hale getirir ve bu da selülozu parçalayarak kısa zincirlere dönüşümünü sağlar. Ligninin plastik hale gelmesi ve ağaç malzemenin lignoselülozik polimerik bileşiklerinin tekrardan yapılması ısı ile işleme tabii tutulmuş ağaç malzemenin daha yüksek hidrofobik özelliklere sahip olmasını açıklamaktadır. Isıl işleme maruz kalmış odun materyelinde, hemiselüloz ve karbonhidratların depolimerizasyonu sonucu serbest hidroksil gruplarının miktarı azalmaktadır. Hemiselüloz bozunmasında, ısı ile işlem süresi ve sıcaklığı önemli bir etkidir. Sıcaklık ve sürenin artış miktarına bağlı olarak galaktoz, arabinoz vb. yan zincir bileşenleri kopar ve bunu mannoz, glikoz ve ksiloz gibi ana bileşenlerin bozunması takip eder. 165-185 °C gibi sıcaklıklarda selüloz cüzi oranlarda bozunmaktadır. Selüloz yüksek derecelerde (%60) düzenli ve kristalimsi bir yapıya sahiptir. Bu durum selüloz zincirlerine yüksek bir kararlılık katmaktadır. Odunu oluşturan bileşenlerin içeriğinde lignin ısıya karşı en stabil bileşendir. Sıcaklık sadece 200 °C'nin üstüne çıktığında ligninin ağırlığında azalma olur ve β -aril-eter bağlarında parçalanma oluşmaya başlar ve ligninin metoksi içeriği sıcaklık arttıkça daha da düşer (Korkut ve Kocaefe, 2009).

1.5 Yüksek Sıcaklıkta Modifiye Edilmiş Ahşap Materyalin Avantajları ve Dezavantajları

Odun modifikasyonunda amaç kimyasal tepkimelerin hızlandığı sıcaklık aralığında ahşap malzemenin ısı ile tatbik edilmesidir. Odun hücre çeperinin polimerik yapısının başlıca lignin, hemiselüloz ve selüloz gibi kimyasal bileşiklerin tamamen değişmesine sebep olur.

Odun modifikasyonu 180 °C ile 260 °C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Odun modifikasyonunda sıcaklık en önemli faktördür. Sıcaklık 140 °C'nin altında olursa odunun yalnızca özellikleri değişkenlik gösterir eğer bu sıcaklığın üstüne çıkılırsa odunda istenilmeyen yıkımlar meydana gelir. Sıcaklık 300 °C üzerinde olup ısı işlem çalışmaları yapıldığında sonuç olarak odundaki birçok önemli maddenin yıkımlandığı görülmüştür.

Isıl işlem uygulaması, odunun moleküler yapısını değiştirdiğinden dolayı performansını yükseltmektedir. Isıl işlem uygulaması ile artan potansiyel nitelikler; böcek ve mantar zararlılarına karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubet içeriği, daralma ve genişlemedeki azalışa bağlı olarak artan boyutsal stabilite, artan termal yalıtım kabiliyeti, boya adezyonu, dış hava koşullarına karşı dayanıklılıkları, dekoratif renk çeşitliği artar ve kullanım ömrünü uzatmaya katkı sağlamaktadır (Köse Demirel ve Temiz, 2015). Isıl işlem uygulaması odunun rutubet alışverişini azaltır bir başka deyişle oduna boyutsal stabilizasyon kazandırır. Kalitesi düşük ağaç çeşitlerine yeni pazar imkânı sağlayarak bunların daha kaliteli türlere karşı rekabet gücünü yükseltmektedir. Odun modifikasyonu uygulaması ayrıca kompozit malzemelerde liflere ve kaplamalara; daha yüksek bir stabilite, ürün güvencesinde iyileşme, kullanım ömrünü arttırma, daha yüksek maliyet ederine sahip olma gibi özellikler sağlamaktadır. Isıl işlem uygulanmış odundan yapı sanayinde yararlanmak büyük bir avantajdır. Isıl işlem uygulaması ile odunun mukavemetinin ve boyutsal stabilitesinin yüksek biyolojik tehlike şartlarına karşı iyileşmesi önemlidir. Isıl işlem uygulanmış odunda kırılma ve tipik direnç karakteristiklerinin iyileşmesi sonucunda bazı alanlarda odun hammaddesinin kullanımını desteklemektedir. Isıl işlem uygulamasıyla odunun rutubet alışverişinin ve denge rutubeti ölçüsünün azaltılması, çalışmanın en aza indirgenmesi, tahrip edici organizmalara karşı biyolojik mukavemetinin arttırılması ile üst yüzey işlemlerinin performansını güçlendirmek amaçlanmaktadır. Odunda tüm bu değişmeler, insan ve çevre sağlığına

zararlı kimyasallardan ilave yapılmaksızın gerçekleştiğinden dolayı ısıtıl işlem uygulaması ekolojik bir seçenek olarak düşünülmektedir (Mıdıroğlu,2015).

1.6 Çalışmada Kullanılan Ağaç Türlerine Ait Bilgiler

Çalışma da kullanılan ağaç türlerine ait bilgiler özet olarak verilmiştir.

1.6.1 Doğu Kayını

Kayın ağacı, 35-50 metreye kadar boylanabilmektedir. Yaprakları, eliptik olup tam kenarlıdır. Sürgünler ucuna doğru hafif tüylüdür (Saribaş, 2012). Kayın odununun fiziksel ve mekanik özellik değerleri Tablo 1’de verilmiştir (As vd., 2001).

Tablo 1.1: Kayın odunun fiziksel ve mekanik özellik değerleri (As vd., 2001).

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	Tam kuru yoğunluğu (g/cm^3)	0.64
	Hava kurusu yoğunluğu (g/cm^3)	0.66
	Hacim ağırlığı (g/cm^3)	0.53
	Radyal daralma (%)	5
	Teğet daralma (%)	11.4
	Hacmen daralma (%)	16.21
MEKANİK ÖZELLİKLERİ	Basınç direnci (N/mm^2)	57
	Eğilme direnci (N/mm^2)	112.3
	Elastikiyet modülü (N/mm^2)	13082
	Çekme direnci (N/mm^2)	131.6
	Makaslama direnci (N/mm^2)	9.9
	Dinamik eğilme (N/mm^2)	0.95
	Yarılma direnci radyal (N/mm^2)	0.74
	Yarılma direnci teğet (N/mm^2)	1.07
	Brinell sertlik liflere paralel (N/mm^2)	54.9
	Brinell sertlik liflere dik (N/mm^2)	27

1.6.2 Meşe

Meşe ağacı 15-40 metreye kadar boylanabilmektedir. Yaprakları, ters yumurta şeklinde olup iki kenarında 5-8 adet kenarlı loplu bulunmaktadır. Sürgünler çıplaktır (Saribaş, 2012). Meşe odunun fiziksel ve mekanik özellik değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1.2: Meşe odunun fiziksel ve mekanik özellik değerleri (As vd., 2001).

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	Tam kuru yoğunluğu (g/cm^3)	0.65
	Hava kuru yoğunluğu (g/cm^3)	0.69
	Radyal daralma (%)	4
	Teğet daralma (%)	% 7.8
	Hacmen daralma (%)	% 12.2
MEKANİK ÖZELLİKLERİ	Basınç direnci (N/mm^2)	61
	Eğilme direnci (N/mm^2)	88
	Elastikiyet modülü (N/mm^2)	11700
	Çekme direnci (N/mm^2)	90
	Dinamik eğilme (N/mm^2)	0.6
	Brinell sertlik liflere paralel (N/mm^2)	65

1.7 Literatür Özeti

Yüksek sıcaklıkta ahşap materyalin modifikasyonu ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle farklı ahşap materyallerin özelliklerindeki değişimler üzerine yoğunlaşmıştır.

Yapılan bir çalışmada Kol (2010) endüstriyel olarak önemli olan iki ağaç türü, çam (*Pinus nigra* Arnold.) ve göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) thermowood işlemi kullanılarak ısıyla işleminden geçirilmiştir. Çam ve göknar örnekleri sırasıyla 212 ve 190 °C 'de 2 saat boyunca termal olarak modifiye edilmiştir. Termal modifiye edilmiş ahşabın kopma modülü (MOR), bükülme esneklik modülü (MOE), darbe bükme kuvveti (IBS) ve sıkıştırma kuvveti (CS) incelenmiştir. Isıl işlem prosesi genel olarak her iki ahşap türünün sıkıştırma gücü haricinde mekanik özelliklerini azalttığı belirlenmiştir. Isıl işlemle MOE, çam için %13,1 ve göknar için %9,5 oranında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, ısıl işlem sırasıyla çam ve göknar için MOR'da %59,5 ve %10,5 oranında azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Isıl işlemle IBS, çam için %63,1 ve göknar için %10,5 oranında düşürülmüştür. Isıl işlemle CS, çamda %4,2, göknar için %17 arttığı belirlenmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada, Yıldız vd. (2011) ısıl işlem uygulanmış kızılğacında doğal hava koşullarının biyolojik direnç, kopma modülü ve renk kararlılığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yıpranmış ahşabın kimyasal bileşimi de Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR - ATR) spektroskopik spektrumları tarafından incelenmiştir. Kızılğaç örnekleri 2, 6 ve 10 saatlik sürelerle 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda ısıl işleme tabii tutulmuştur ve bu örnekler daha sonra 3 sene boyunca Türkiye'nin kuzeyindeki bir alanda doğal hava

koşullarına ve bozunmalara maruz bırakılmıştır. Isıl işlem uygulanmış kızılğaç örneklerinin bozunma endeksi, kontrollerden daha düşük olarak belirlenmiştir. Toprak mikroorganizmalarının neden olduğu çürüme, ısıdan daha fazla kopma modülü kaybına yol açmıştır. Ayrışma süreci örneklerde dikkate değer renk değişikliklerine neden olduğu belirtilmektedir. FTIR-ATR spektrumları, özellikle ısıyla işlenmiş numunelerin hemiselülozlarında, ahşap bileşenlerinde önemli deformasyonlar ve degradasyonlar görülmüştür. Hemiselülozların degradasyonu, ısı sıcaklığının ve maruz kalma süresinin artışı ile beraber arttığı belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada Ding vd. (2011) Isıl işlem uygulanmış mango-lian çam kerestesini sırasıyla atmosferik buharda ve basınçlı buharda işlemiştir. Daha sonra mango-lian çam kerestesinin fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, her iki işlemde de dinamik kırılma tokluğunun, paralel basınç mukavemetinin, elastikiyet modülünün ve numunelerdeki kopma modülünün istatistiksel olarak farklı olmadığını göstermiştir. Basınçlı buharda işleminden geçirilen numuneler, atmosferik buharda işlenenlere kıyasla önemli ölçüde higroskopisite azalmış ve yüksek boyutsal stabiliteye sahip oldukları belirlenmiştir.

Diğer bir çalışmada Kocaefe vd. (2012) Kuzey Amerika ağaç türlerinden jack çam, huş ağacı ve kavakcık ısı ile muamele edilmiş ve yapay hava koşullarında farklı zamanlarda ahşap yüzey üzerinde meydana gelen kimyasal değişiklikleri değerlendirmek için X-ışını foto elektron spektroskopisi (XPS) çalışması gerçekleştirilmiştir. XPS spektrum sonuçları, hava şartlarına bağlı olarak O/C (oksijen/karbon) oranının arttığını ve ısı ile işlenmiş ahşap yüzeylerin oksitlendiğini göstermektedir. Isıl işlem sonucu odun yüzeyleri selüloz bakımından zenginleşmiştir ve oksidasyonun neden olduğu oksitlenmenin bir sonucu olarak lignin açısından zayıf olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, ligninin, ısı ile işlenmiş ahşap yüzeylerindeki diğer bileşenlerden daha fazla hava koşullarına karşı daha duyarlı olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca ısıl işlemin ağaç malzemedeki asiditesinin azalmasına neden olduğu saptanmıştır. Bu hemiselülozların bozunmasına ve hemiselülozlarda esas olarak bulunan karboksilik asit fonksiyonlarının azalmasına neden olduğu tahmin edilmektedir.

Başka bir çalışmada Kasemsiri vd. (2012) Isıl işlem uygulanmasının doğu redcedar örneklerinin kimyasal stabilitesi, yüzey pürüzlülüğü ve kesilme kuvveti üzerindeki etkisi

araştırılmıştır. Numunelerin anatomik yapıları da taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile gözlenmiştir. Örnekler 2 ve 8 saatlik süreler için 120 °C, 160 °C ve 190 °C sıcaklık seviyelerinde ısıtılma maruz bırakılmıştır. Isıtılmanın doğru redcedar'ın boyutsal stabilitesi üzerinde sınırlı fayda sağladığı gözlenmiştir. Numunelerin yüzey kalitesi, ısıtılma sonucunda gözle görülür şekilde arttırıldığı görülmüştür. Öte yandan, numunelerin kesilme direnci ısıtılma ile azalma eğilimi göstermiştir. Bu nedenle, doğru redcedarın ısıtılma işlemi, yapısal mukavemet özelliklerinin kritik olduğu yerlerde kullanılacak uygulamalar için önerilmediği belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada; Priadi ve Hızıroğlu (2013) tespih (*Melia azedarach* L.), maun (*Swietenia macrophylla*), kırmızı meşe (*Quercus falcata* Michx.) noel çamı (*Pinus taeda* L.) türlerinden alınan örneklerin şişme, sertlik ve yüzey kalitesi üzerine ısıtılmanın etkisi araştırılmıştır. Örnekler 2 ve 8 saat boyunca 130 °C ve 200 °C sıcaklık seviyelerine maruz bırakılmıştır. Bu çalışmadaki bulgulara dayanarak, numunelerin sertlik özellikleri, hücre çeper yapısının bozulmasına bağlı olarak belirli bir azalma yüzdesine sahip oldukları görülmüştür. Sonuçlar, dört türe ait teğetsel ve radyal şişme değerlerinin ısıya maruz kalma fonksiyonu bakımından iyileştiğini ve bu tür iyileşmelerin ısıtılma sırasında pozlama süresinin ve sıcaklığın artmasıyla daha belirgin olduğu görülmüştür. Isıtılma işlemi, bu deneysel çalışmada kullanılan türlerin higroskopik türünü arttırmak için potansiyel bir yaklaşım olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Böylece ömrü boyunca herhangi bir boyutsal hareket problemi yaşamadan daha verimli bir şekilde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Diğer bir çalışmada Cademartori vd. (2012) okaliptüs grandis ahşabına farklı sıcaklık ve zaman seviyelerinde ısıtılma uygulanarak fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Okaliptus grandis ahşap örneklerine (10x10x200 mm), 180 °C, 200 °C, 220 °C ve 240 °C'de 4 ve 8 saat boyunca ısıtılma uygulanmıştır. Isıtılma işlemi görmüş ile ısıtılma işlemi görmemiş numunelerin mekanik özellikleri statik bükme testleri ile belirlenmiştir. Fiziksel özellikler kilo verme ve şişme testleriyle belirlenmiştir. Genel olarak, termik doğrultucuların mekanik özellikleri önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Bununla birlikte, farklı sıcaklıkların aksine, ısıtılmanın uzunluğu mekanik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Yırtılma modülü için en yüksek ortalama değer, muamele edilmemiş numuneler de görülmüştür. Bununla birlikte, MOR'un en düşük ortalama değeri, özellikle 240 °C'de 8 saatlik muamelede gözlenmiştir. Elastikiyet modülü, zaman ve sıcaklık süresi arttıkça azaldığı görülmüştür. Isıtılma işlemi görmüş numunelerin

hacimsel şişmede ki ortalama değerleri, muamele edilmemiş numunelere göre %6,8 ile %55,21 arasında azaldığını saptamışlardır. Aynı şekilde doğrusal şişme oranları (radyal ve teğetsel) da boyutsal kararlılığın arttığı da görölmüştür.

Başka bir çalışmada Estaves vd. (2013) sert odunlu olan *eucalyptus globulus labill* ve yumuşak odunlu olan *Pinus pinaster* Aiton, bir fırında 170 ila 210 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıyla muamele edilmiştir. Numuneler, dikloro metan, etanol ve su ile önceden ekstre edilip öğütölmüştür. Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) spektroskopik analizi ile kimyasal özellikler üzerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Isıl işlem, polisakkaritler ve lignin yapısını değiştirerek ahşabın kimyasal bileşimi ve yapısında önemli değişiklikler meydana getirdiğı görölmüştür. Bu durum FTIR analizi ile gözlemlenebilmiştir. Hemiselülozlar destilasyon nedeniyle bozunan ilk bileşenler olduğı belirlenmiştir. Sert odundaki lignin, alifatik yan zincirlerin kopması nedeniyle yumuşak odundaki lignininden daha fazla değiştii görölmüştür.

Başka bir çalışmada Tomak vd. (2014) Isıl işleme tabi tutulmuş kül, iroko, iskoç çamı ve ladin ağaç türlerinin nem içeriğı, renk, yüzey pürüzlölüğü, tane irisine paralel sıkıştırma kuvveti, rüptür modölü ve elastikiyet modölündeki değişikliklerin araştırılması amaçlanmıştır. İki yıl performans değerlendirmesi için örnekler 6 aylık aralıklarla çıkarılmış ve test sonuçları kontrollerle karşılaştırılmıştır. Isıl işlem görmüş numunelerin nem içeriğı, iki yıllık hava şartlarında kontrollerden geçen örneklerden önemli ölçüde daha düşük olduğı saptanmıştır. Isıl işlem görmüş kül ve iroko örnekleri, hava şartlarından sonra gümüş renginde bir renk aldığı görölmüştür. Isıl işlem görmüş iskoç çamı ve ladin örnekleri 18 aylık hava koşullarında koyu renkler ortaya çıkardığı görölmüştür. Isıl işlem görmüş sert ağaç numuneleri, ısıl işlem görmüş yumuşak ağaç numunelerden daha az renk değişikliği gösterdiği belirlenmiştir. Numuneler üzerinde gözlemlenen çatlaklar, ısı ile muamele edilen örneklere kıyasla kontrollerde ve sert ağaçlara kıyasla yumuşak ağaçlarda daha fazla olduğı görölmüştür. Isıl işlem MOR'u düşürürken sıkıştırma kuvveti ve MOE'yi arttırdığı belirlenmiştir. Doğal havalandırma faktörleri numunelerin tüm mukavemet özelliklerinde azalmaya neden olduğı görölmüştür. Isıl işlem görmüş numuneler için mekanik mukavemet özelliklerinde azalma oranı, hava şartlarından sonra kontrol numunelerinden daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Diğer bir çalışmada Aydemir vd. (2014) çam ve akçaağaç dolgulu naylon 6 kompozitleri 212 °C’ de 8 saat boyunca ısıtılma işlemine tabii tutulmuştur. X ışınım kırılım analizi (XRD) yapılmıştır. Kontrol ve ısıtılma işlem görmüş ahşap dolgu naylon 6 kompozitlerin mekanik ve reolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Hemiselülozun bozunması veya lignin'in ısıtılma sırasında yoğunlaşması, ahşap dolgu maddelerinin termal stabilitesini arttırdığı görülmüştür. Selülozun mikro yapısı, XRD'de ısıtılma işlem sonrasında sabit olduğu saptanmıştır. Çekme mukavemeti, ısıtılma işlemle dikkat çekici şekilde arttığı belirlenmiştir. Kompozitlerin reolojik özellikleri, ısıtılma işlemine tabii tutulduktan sonra ahşap dolgu maddelerinin kristallliği ile korelasyon gösterdiği görülmüştür. Isıtılma işlem sonrasında yüksek kristallliğe sahip olan ahşap dolgu maddeleri, kompozitler içerisinde daha yüksek depolama modülü, kompleks viskozite, sabit kayma viskozitesi ve düşük kayıp faktörü sergiledikleri belirlendiği bulunmuştur. Bu çalışmadan elde edilen bilgilerin ve gelecek çalışmaların, özellikle otomobil endüstrisinde cam ve mineral dolgu maddelerinin yerini alan, naylon 6 kompozitlerin ısıtılma işlemine tabii tutulmasıyla sonuçlanacağına inanılmaktadır.

Yapılan bir çalışmada, Araujo vd. (2016) 3 farklı Brezilya türü olan *Aspidosperma populifolium* (perobamica), *Dipteryx dorata* (cumarü) ve *Mimosas cabrella* (bracatinga) odunları 180, 200 ve 220 °C sıcaklıkta 1 saat muamele edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, muamele sonrasında üç tür içinde daha düşük denge rutubeti elde edilmiştir. Buna karşın boyutsal kararlılığındaki azalma çok düşük oranlarda kalmıştır. Ayrıca odunun su alışveriş davranışlarının değiştiği saptanmıştır. Mekanik özelliklere bakıldığında üç odun türü içinde hem sertlik değerleri hem de eğilme direnç değerlerinde artışlar saptanmıştır.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan ahşap materyal ve kondisyonlanması aşağıda açıklanmaktadır.

2.1.1 Ağaç Malzeme

Bu çalışmada, materyal olarak Doğu kayını (*Fagus Orientalis L.*), Saplı meşe (*Quercus robur*) odunları kullanılmıştır. Kullanılan ağaç türleri piyasada ahşap materyal satan bir firmadan hava kurusu halde satın alınmıştır. Satın alınan keresteler işlenerek örnek hazırlama öncesinde 20 °C ve %65 bağıl nemde %12'ye ulaşınca kadar iklimlendirme dolabında tutulmuştur.

2.2 Metot

Çalışmada kullanılacak örneklerin hazırlanması ve test metotları hakkında özet bilgiler verilmiştir.

2.2.1 Örneklerin Hazırlanması

Bartın Üniversitesi Mobilya Atölyesinde meşe ve kayın malzemelerinden test örnekleri hazırlanmıştır. Bu örnekler ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Testler öncesinde numuneler iklimlendirme kabini içinde %12 denge rutubetine ulaşınca kadar %65 bağıl nem ve 20 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Hazırlanan bu parçalardan eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü için 20x20x360 cm TS 2474 (2005), basınç direnci için 20x20x30 cm TS 2471 (2005) ve yapışma direnci için 2x0,5x15 cm TS EN 392 (1999), ölçülerinde dikdörtgen prizması şeklinde 10 adet test örneği hazırlanmıştır. Bu örnek hazırlama aşaması hem ısıtılma işlemi görmüş numuneler için hemde kontrol numuneleri için ayrı ayrı yürütülmüştür.



Şekil 2.1: Deney örneklerinin hazırlanması.

2.2.2 Yapılan Isıl İşlem Metodu

Kurutma, ısıl işlem ve dengeleme olmak üzere 3 kademede uygulanmıştır. %12'deki test örnekleri ± 1 °C sıcaklık duyarlılığı olan bir kabin içerisinde hava akımı sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir. Isıl işlem boyunca ahşap malzemelerin ciddi zarar görmesinin önüne geçmek için her 30 dakikada bir kabine su buharı verilmiştir. Isıl işlem 180 °C ve 220 °C sıcaklıkta 8 saat süreyle yapılmıştır. Isıl işlem bitiminde kabinde alınan örnekler dijital bir kumpasla boyutları 0,01 mm olarak belirlenerek tam kuru ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra örnekler 20 °C sıcaklık ile %65 bağıl nem koşullarına getirilen iklimlendirme cihazında %12 rutubete ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Isıl işlem uygulaması her iki ağaç türü için iki ayrı sıcaklık iki ayrı tür ve tek süre kombinasyonu ile toplam 4 varyasyonda yapılmış olup çalışmalar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 2.1: Isıl işlem uygulamasıyla her iki ağaç türü için iki ayrı sıcaklık ve tek süre kombinasyonu ile toplam 4 varyasyonda yapılan çalışma.

Ağaç Türü	Sıcaklık	Süre	Örnek Sayısı
Meşe	180	8	10
Meşe	220	8	10
Kayın	180	8	10
Kayın	220	8	10

Çalışmamızda kullanılan metot Viitaniemi'nin çalışmasında (Viitaniemi, 1997b) uyguladığı yöntemle benzer şekilde yapılmış ve buna göre örneklerin ısıl işlem muamelesi, sıcaklık duyarlılığı ± 1 °C olan bir etüv kullanılarak hava ortamında ve su buharının korunması altında ısıyla muamele edilmiştir. Isıl işlem sonunda etüvden çıkarılan

örneklerin ağırlık ve boyutları ölçüldükten sonra, bir hafta süre ile rutubetlerinin dengelenmesi için beklenmiş ve tekrar 103 ± 2 °C sıcaklıktaki etüvde tutularak ısıtıl işlem sonrası tam kuru ağırlıkları ve boyutları tespit edilmiştir. Örnekler daha sonra %12 rutubete getirilmek üzere iklimlendirme dolabına yerleştirilmiştir.



Şekil 2.2: Isıl işlem görmüş deney örnekleri.

2.2.3 Yoğunluk

Örneklerin ısıtıl işlem uygulaması sonrası yoğunluk değişimleri 20x20x30 mm boyutlarındaki numunelerden TS 53 (2005), esaslarına göre yapılmıştır. Test ve kontrol örnekleri etüvde 103 ± 2 °C’de tam kuru hale gelinceye ve değişmez ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuştur. Kurutulan örneklerin ağırlıkları 0,001 g duyarlılık da precisa adlı hassas terazi ile ölçülmüş, 0,001 mm duyarlılıkta olan dijital kumpasla da boyutları ölçülerek tam kuru yoğunluk ve hava kurusu yoğunluk formülüne göre hesaplanmıştır;

$$\delta_o = \frac{m_o}{v_o} \left(\frac{g}{cm^3} \right) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

δ_o : Tam kuru yoğunluk (g/cm^3),

M_o : Tam kuru ağırlık (g),

V_o : Tam kuru hacim (cm^3).

2.2.4 Su Alma

TS 4084 (1983), standartlarına uygun olarak hazırlanmış 10'ar adet kontrol ve ısıtma işlemiyle muamele edilmiş örnekler $103 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde kütlesi sabit duruma gelene kadar kurutulmuştur. Sonrasında dijital bir kumpas yardımıyla boyutları ölçülmüştür. Kurutulan ve boyutları ölçülen örnekler 20°C sıcaklıktaki temiz ve dinlendirilmiş su içerisinde 24 saat boyunca bekletilerek boyutları tekrar ölçülmüştür.

2.2.5 Renk Değişimi:

Renk ölçümleri beyaz renge göre $a=4,91$; $b=3,45$; $c=6,00$; $L=324,9$ olacak biçimde kalibre edilebilen renk ölçüm cihazı ile önce kontrol örnekleri, sonrada muamele sırasına göre ısıtma işlemi uygulanmış örneklerdeki değişimler incelenmiştir. Örneklerle ait renk değişimleri L^* siyah-beyaz (siyah için $L^* = 0$, beyaz için $L^* = 100$) yörüngesinde, a^* kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) yörüngesinde, b^* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) yörüngesinde yer almaktadır. Değişim, rengin hangi tonunda tesir ettiğini bulmak amacıyla kırmızı renk tonu (a^*), sarı renk tonu (b^*) ve renk açısı (L^*) değerleri birbirinden ayrı olacak şekilde incelenmiştir. Buna ek olarak, toplam renk değişimi (ΔE^*_{ab}) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır;

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (2)$$

2.2.6 Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme direnci ve elastikiyet modülünün belirlenmesi için TS 2474 (2005), standartlarına uygun olarak $20 \times 20 \times 360$ mm boyutlarında 5 adet kontrol ve ısıtma işlemi görmüş örnekler hazırlanmıştır. Eğilme testi TS 2474 (2005) standardına göre yürütülmüş ve aşağıdaki eşitliğe uygun olarak hesaplanmıştır. Buna göre;

$$\sigma_e = \frac{3xF_{max}xL}{2xbxh^2} N/mm^2 \quad (3)$$

Burada;

L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm),

b: Örneğin genişliği (mm),
h: Örneğin kalınlığı (mm),
 σ_e : Eğilme direnci (N/mm^2).

Elastikiyet modülünün tespit edilmesinde eğilme direnci deney örnekleri kullanılmış ve deneylerde TS 2478 (1976) temellerine uyulmuştur. Elastik deformasyon ortamında gerçekleşen kuvvet farkı (ΔF) için örnekteki eğilme nicelik farkı (Δf) etkisi ile elastiklik modülü bulunmuştur. Buna göre; rutubet ayarlaması için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$MOE = \frac{\Delta F x l^3}{4 x \Delta f x b x h^3} N/mm^2 \quad (4)$$

Rutubet ayarlaması için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\delta_{12} = \delta_m * [1 + a(M_2 - 12)] \quad (5)$$

Eşitlikte;

δ_{12} : %12 rutubetteki direnç değeri (N/mm^2)

δ_m : %12'den farklı rutubetteki direnç değeri (N/mm^2)

a: Direnç ve rutubet arasındaki ilişkiyi gösteren sabit değer (a: 0.005, 0.04, 0.002 sırasıyla σ_B , σ_e , E)

M_2 : Test esnasındaki rutubet içeriği (%).



Şekil 2.3: Örneklerin eğilme direnci ölçümü.

2.2.7 Basınç Direnci

Basınç direnci TS 2595 (1977)'e göre 20x20x30 mm boyutlarında kesilen 6'şar adet kontrol ve ısıtıl işlem görmüş örnekler hazırlanmıştır. 0,01 mm duyarlı bir kumpasla örneklerin enine kesit boyutları hesaplanmıştır. Örnekler deney anında 1,5-2 dk arasında kırılabilir biçimde ayarlanmıştır. Kırılma esnasında ki kuvvet (F_{max}) ölçülerek liflere paralel basınç direncine ($\sigma_{//B}$) göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_{//B} = \frac{F_{max}}{a \times b} \quad (6)$$

2.2.8 Yapışma Direnci

Yapışma direnci utest mekanik test cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Başlık hızı test süresi boyunca 5 mm/dk olarak belirlenmiştir. Test numuneleri 20 mm genişlik ve 150 mm uzunlukta hazırlanmıştır. Örnek kalınlığı ise 0,5 mm kalınlıkta iki plakanın birleşmesiyle 10 mm civarında ölçülmüştür. Çekme testinde kullanılan örnekler TS EN 392 (1999), esaslarına göre hazırlanmıştır. Örnekler hazırlanırken tutkal olarak poliüretan tutkalı kullanılmış ve yüzeylere 220 g/m² olacak şekilde fırçayla tatbik edilmiştir. Birbirine yapıştırılan numuneler sertleşmenin gerçekleşmesi süresince 24 °C'de 1 MPa basınçta pres altında bekletilmiştir. Bu test için toplamda 10 tekerrür kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Örneklerin yapışma direnci ölçümüne hazırlığı.

2.2.9 Elektron Mikroskobu ile Morfolojik Karakterizasyon

Numunelerin yarılarak kırılmış bölgeden yüzeyden içe doğru taramalı elektron mikroskobu analizleri Tescan marka (MAIA3 XMU) cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ahşap yüzeylerde parlama olmaması için bu yüzeyler altın tozuyla kaplanmıştır.

2.2.10 TGA Analizi

TGA örnek ağırlığının; deney esnasındaki sıcaklık veya zamana göre değişiminin hesaplanmasıdır. Bu değerler ağırlık değişimini belirtmektedir. Yaklaşık 10 mg'lık örnekler üzerinden gerçekleştirilen TGA deneyinde Perkin Elmer marka TGA-DTA cihazı kullanılmıştır. Bu deneyde oksidasyonu önlemek için 20 ml/dk akış hızında azot gazı kullanılmıştır. Test sırasında 10 °C/dk ısıtma hızıyla sıcaklık oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar artırılmıştır.

2.2.11 İstatistik Analizi

Çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin arasındaki değişimlerin anlamlı olup olmadığını tespit etmek için SPSS 16 paket programı kullanılarak Varyans Analizi ve Duncan testleri yapılarak gruplar arasındaki etkileşimler incelenmiştir.

BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin yoğunluk değerleri, renk değişimi, eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci, yapışma direnci, termogravimetrik analizi ve morfolojik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

3.1 Yoğunluk

Kontrol ve ısıtma işlemi görmüş kayın ve meşe örnekleri tam kuru hale gelinceye kadar kurutma dolabında $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuş, ağırlık ve boyut ölçümleri alınarak yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.

3.1.1 Meşe Odununa Ait Hava Kuru (%12) Yoğunluk Değerleri

Meşe odununun ısıtma işlemi sonrasında tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve duncan test sonuçları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Isıtma işlemi sonrası meşe odununun hava kuru (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

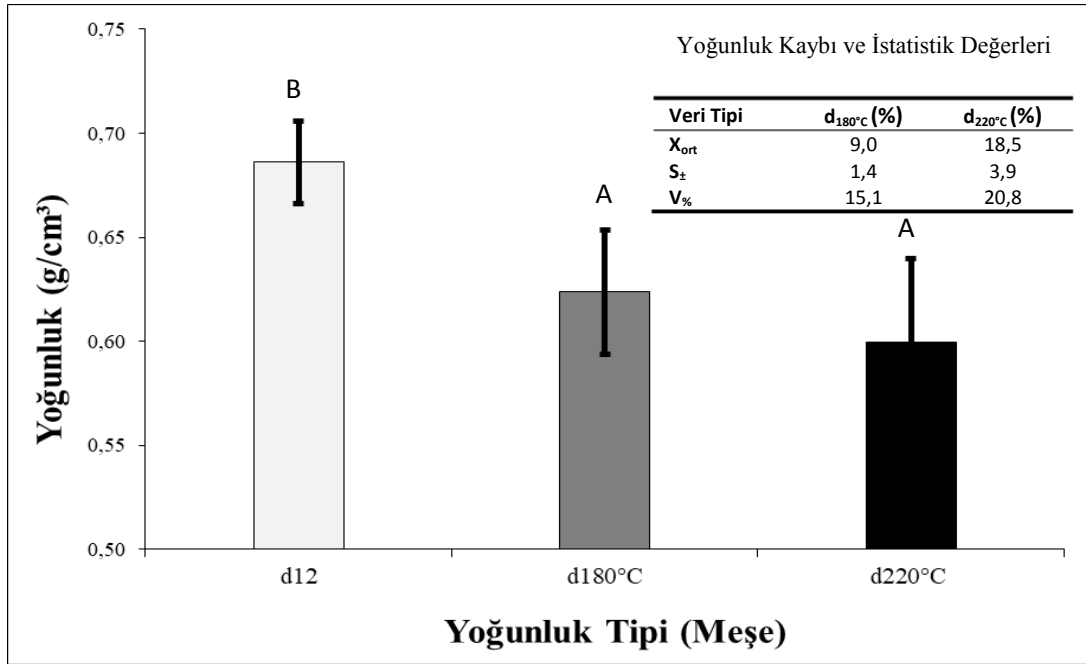
	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	0,04	2	0,02	7,17	0,00
Grup içinde	0,06	24	0,01		
Toplam	0,1	26			

Yapılan ANOVA testine göre hava kuru (%12) yoğunluk değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.2: Isıl işlem sonrası meşe odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin %95 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
220M	0,59	
180M	0,62	
KM		0,68

Isıl işlem sonrası meşe odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin özet veriler ve duncan testi sonuçlarına ait özetler sonuçlar Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Meşe odununa ait hava kurusu (%12) yoğunluk değerleri.

Şekil 3.1’e göre en yüksek hava kurusu (%12) yoğunluk meşe kontrol odunları için saptanmıştır. En düşük hava kurusu (%12) yoğunluk değeri ise 220 °C’de muamele edilmiş meşe odunlarında saptanmıştır. Isıl işlemle birlikte hava kurusu (%12) yoğunluğun düştüğü ve hava kurusu (%12) yoğunluktaki düşüşün %9 ile %18,5 arasında değiştiği belirlenmiştir.

3.1.2 Kayın Odununa Ait Hava Kurusu (%12) Yoğunluk Değerleri

Kayın odununun hava kurusu yoğunluk (%12) değerlerine ilişkin hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.3: Isıl işlem sonrası kayın odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

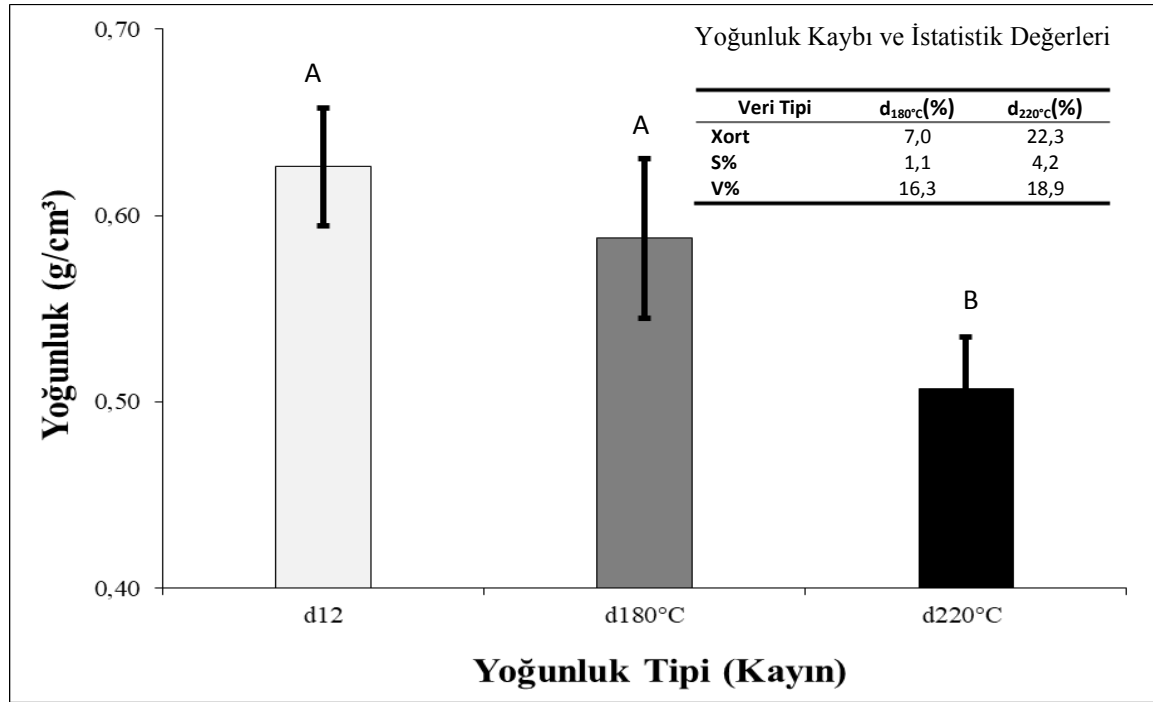
	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	0,07	2	0,03	13,40	0,00
Grup içinde	0,06	24	0,00		
Toplam	0,13	26			

Yapılan ANOVA testine göre hava kurusu (%12) yoğunluk değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.4: Isıl işlem sonrası kayın odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
220K	0,50	
180K		0,58
KK		0,62

Kayın odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ait özet veriler ve duncan testi sonuçları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Isıl işlem sonrası kayın odununun hava kurusu (%12) yoğunluk değerlerine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

Şekil 3.2'e göre en yüksek hava kurusu (%12) yoğunluk kayın kontrol odunları için saptanmıştır. En düşük hava kurusu (%12) yoğunluk değeri ise 220 °C'de muamele görmüş kayın odunlarında saptanmıştır. Meşe odununda olduğu gibi ısıtma sıcaklığı artarken hava kurusu (%12) yoğunluk kaybı daha da artmıştır. Ayrıca 220 °C sıcaklıkta kayın örneklerindeki azalma meşe örneklerine göre çok daha fazla oranda gerçekleşmiştir. Yapılan bir çalışmada, sarıçam ve iroko odunları 185 °C'de ısıtma tabi tutulmuştur. Tam kuru yoğunluklarına ilişkin istatistik sonuçları ele alındığında en yüksek tam kuru yoğunluk değeri iroko örneklerinde tespit edilmiştir. Hava kurusu yoğunluklarına ilişkin sonuçlar ele alındığında en yüksek hava kurusu (%12) yoğunluk değerinin iroko örneklerinde olduğu tespit edilmiştir (Ayan ve Ciritoğlu, 2012).

3.2.1 Su Alma Oranları

Kontrol ve ısıtma görmüş kayın ve meşe örnekleri ağırlığı değişmez hâle gelinceye kadar kurutulmuş ve boyutları belirlenmiştir. Daha sonra 24 saat boyunca temiz suda bekletilip örneklerin tekrar ölçüm yapılarak ne kadar su aldığı araştırılmış ve su alma değerleri belirlenmiştir.

3.2.2 Su alma

Hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre su alma değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.5: Isıl işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının özgül kütlesine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

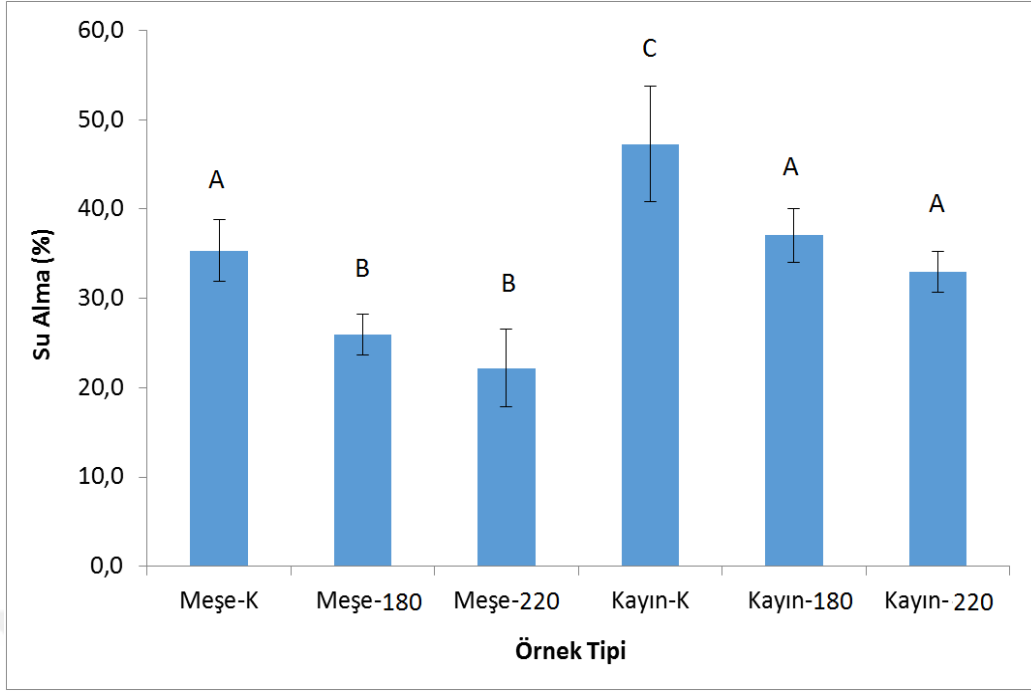
	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	1954,16	5	390,83	25,53	0,00
Grup içinde	367,43	24	15,31		
Toplam	2321,59	29			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.6: Isıl işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının özgül kütlesine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)		
	A	B	C
220M	22,20		
180M	25,92		
KM		35,38	
220K		32,96	
180K		37,04	
KK			47,26

Kayın ve meşe odunlarının su alma değerlerine ait özet veriler ve duncan test sonuçları Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3: Isıl işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının özgül kütlesine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

Şekil 3.3'e göre en yüksek su alma kontrol kayın odunları için saptanmıştır. En düşük su alma değeri ise 180 °C'de meşe odunlarında saptanmıştır. En yüksek su alma oranları kayın odunu için tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada, sarıçam ve uludağ göknarı odunları 190 °C'de ısıtılma tabi tutulmuştur. Isıl işlem görmüş sarıçam ve göknar odun örneklerinin su alma oranlarında azalma gözlenmiştir. Ayrıca sarıçam odununun su alma kapasitesi göknar odununa göre daha az olduğu tespit edilmiştir (Özan vd., 2017).

3.3 Renk Değişimi

Kontrol ve ısıtılma görmüş meşe ve kayın örneklerinin renk değişim cihazında delta L, delta a, delta b oranları araştırılmış ve renk değişim değerleri aşağıda verilmiştir.

3.3.1 Meşe Odununa Ait Delta L Değerleri

Meşe odunlarının delta L renk değişimi için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.7 ve tablo 3.8'de verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre delta L değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.7: Isıl işlem sonrası meşe odununun delta L renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	4577,91	2	2288,96	318,59	0,00
Grup içinde	107,77	15	7,19		
Toplam	4685,68	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.8. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta L renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)		
	A	B	C
220M	3,03		
180M		5,11	
KM			6,93

3.3.2 Meşe Odununa ait Delta a Değerleri

Meşe odunlarının delta a renk değişimi için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.9 ve tablo 3.10'da verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre delta a değişimler istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.9. Isıl işlem sonrası meşe odununun delta a renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	69,09	2	34,55	44,47	0,00
Grup içinde	11,65	15	0,78		
Toplam	80,75	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.10: Isıl işlem sonrası meşe odununun delta a renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)		
	A	B	C
220M	3,55		
180M			8,21
KM		6,89	

3.3.3 Meşe Odununa Ait Delta b Değerleri

Meşe odunlarının delta b renk değişimi için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.11 ve tablo 3.12’de verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre delta b değişimler istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.11: Isıl işlem sonrası meşe odununun delta b renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	902,96	2	451,48	148,05	0,00
Grup içinde	45,74	15	3,05		
Toplam	948,70	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.12: Isıl işlem sonrası meşe odununun delta b renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
Meşe-220	4,21	
Meşe-180		18,22
Meşe-K		20,08

3.3.4 Kayın Odununa Ait Delta L Değerleri

Kayın odunlarının delta L renk değişimi için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.13 ve tablo 3.14’de verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre delta L değişimler istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.13. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta L renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	4535,40	2	2267,70	1415	0,00
Grup içinde	24,04	15	1,60		
Toplam	4559,44	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.14. Isıl işlem sonrası kayın odununun delta L renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)		
	A	B	C
Kayın-220	29,6		
Kayın-180		54,6	
Kayın-K			67,9

3.3.5 Kayın Odununa Ait Delta a Değerleri

Kayın odunlarının delta a renk değişimi için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.15 ve tablo 3.16’da verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre delta a değişimler istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.15: Isıl işlem sonrası kayın odununun delta a renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	199,75	2	99,87	410,73	0,00
Grup içinde	3,65	15	0,24		
Toplam	203,39	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.16: Isıl işlem sonrası kayın odununun delta a renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
Kayın-220	3,81	
Kayın-180		10,56
Kayın-K		11,14

3.3.6 Kayın Odununa Ait Delta b Değerleri

Kayın odunlarının delta b renk değişimi için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.17 ve tablo 3.18’de verilmiştir. Yapılan ANOVA testine göre delta a değişimler istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.17: Isıl işlem sonrası kayın odununun delta b renk değişimine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	761,37	2	380,68	459,70	0,00
Grup içinde	12,42	15	0,828		
Toplam	773,79	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.18: Isıl işlem sonrası kayın odununun delta b renk değişimine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
Kayın-220	5,7	
Kayın-180		18,9
Kayın-K		20

Elde edilen renk değişim değerlere göre; toplam renk değişimleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Tablo 3.19 da verilmiştir.

Tablo 3.19: Kayın ve meşe odunlarının ısııl işlem sonucunda meydana gelen renk değişimleri özetlenerek aşağıda verilmiştir.

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE_{ab}^*
Meşe-K	69,4 (1,4)	6,9 (0,3)	20,1 (0,7)	72,5 (1,6)
Meşe-180	51,2 (4,2)	8,2 (1,0)	18,2 (2,3)	54,9 (4,9)
Meşe-220	30,3 (1,5)	3,6(1,1)	4,2 (1,8)	30,8 (1,6)
Kayın-K	67,9 (1,0)	11,1 (0,2)	20,0 (1,0)	71,6 (1,5)
Kayın-180	54,7 (0,9)	10,6 (0,5)	18,9 (0,9)	58,8 (1,4)
Kayın-220	29,6 (1,8)	3,8 (0,7)	5,7 (0,9)	30,4 (2,1)

Tablo 3.19’a göre en yüksek ΔL^* değeri kontrol meşe odunları için saptanmıştır. En düşük değeri ise 220⁰C’de kayın odunlarında saptanmıştır. En yüksek Δa^* değeri kontrol kayın odunları için saptanmıştır. En düşük değeri ise 220 ⁰C’de meşe odunlarında saptanmıştır. En yüksek Δb^* değeri kontrol meşe odunları için saptanmıştır. En düşük değeri ise 220 ⁰C’de meşe odunlarında saptanmıştır. En yüksek ΔE_{ab}^* değeri kontrol meşe odunları için saptanmıştır. En düşük değeri ise 220 ⁰C’de kayın odunlarında saptanmıştır. Yapılan bir çalışmada, douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) rneklerini 160, 180, 200 ve 220 ⁰C sıcaklıklarda işleme tabii tutmuşlardır. Test sonuçları ısııl işlemin odunun rengini koyulaştırdığını göstermiştir (Li vd., 2011). Ayrıca sıcaklığın artmasıyla özellikle yapraklı ağaç türlerinde daha yüksek renk değişimi gerçekleştiği saptanmıştır.

3.4 Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Kontrol ve ısııl işlem görmüş kayın ve meşe odunları ısııl işlem sonucunda mekanik özelliklerindeki kayıpların belirlenmesi için analiz edilmiştir. Tüm testler utest mekanik test cihazında test edilmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.4.1 Meşe Odununda Eğilme Direnci

Meşe odunlarının eğilme direnci için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.20 ve tablo 3.21’de verilmiştir. ANOVA testine göre eğilme direnci değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.20: Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	11137,523	2	5568,762	19,507	0,000
Grup içinde	4567,491	16	285,468		
Toplam	15705,014	18			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.21: Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)		
	A	B	C
220M	49,1		
180M		73,1	
KM			107,3

3.4.2 Kayın Odununda Eğilme Direnci

Kayın odunlarının eğilme direnci için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.22 ve tablo 3.23’de verilmiştir. ANOVA testine göre eğilme direnci değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.22: Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	17208,80	2	8604,40	45,93	0,00
Grup içinde	2809,93	15	187,33		
Toplam	20018,74	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.23: Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
220K	29,41	
180K		89,41
KK		99,53

3.4.3 Meşe Odununda Eğilmede Elastikiyet Modülü

Meşe odunlarının eğilme modülü için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.24 ve tablo 3.25’de verilmiştir. ANOVA testine göre eğilme modülü değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.24: Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme modülüne ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	3,93	2	1,97	8,88	0,00
Grup içinde	3,54	16	2211738,07		
Toplam	7,47	18			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasında anlamlı farklılıklar olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.25: Isıl işlem sonrası meşe odununun eğilme modülüne ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
220M	6,29	
180M	8,04	8,04
KM		9,78

3.4.4 Kayın Odununda Eğilmede Elastikiyet Modülü

Kayın odunlarının eğilme modülü için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.26 ve tablo 3.27’de verilmiştir. ANOVA testine göre eğilme modülü değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.26: Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme modülüne ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	6,09	2	3,05	33,42	0,00
Grup içinde	1,37	15	911369,87		
Toplam	7,46	17			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.27: Isıl işlem sonrası kayın odununun eğilme modülüne ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	B
220K	4,98	
180K		8,35
KK		9,26

3.5 Basınç Direnci

Kontrol ve ısıtılmış kayın ve meşe örnekleri utest mekanik test cihazında basınç uygulanarak dayanımları araştırılmış ve basınç direnci değerleri aşağıda verilmiştir.

3.5.1 Meşe Odununda Basınç Direnci

Meşe odunlarının basınç için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.28 ve tablo 3.29’da verilmiştir. ANOVA testine göre basınç direnci değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.28: Isıl işlem sonrası meşe odununun basınç direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	654,74	2	327,37	2,59	0,15
Grup içinde	757,34	6	126,22		
Toplam	1412,09	8			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.29: Isıl işlem sonrası meşe odununun basınç direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)	
	A	
220M	46,68	
180M	50,70	
KM	66,45	

3.5.2 Kayın Odununda Basınç Direnci

Kayın odunlarının basınç için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.30 ve tablo 3.31’de verilmiştir. ANOVA testine göre basınç direnci değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.30: Isıl işlem sonrası kayın odununun basınç direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	260,42	2	130,21	1,98	0,22
Grup içinde	394,08	6	65,68		
Toplam	654,50	8			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.31: Isıl işlem sonrası kayın odununun basınç direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)
	A
220K	54,45
180K	58,70
KK	67,38

3.6 Yapışma Direnci

Kontrol ve ısıt işlem görmüş kayın ve meşe örnekleri plakalar halinde kesilip birbirine poliüretan tutkalı ile yapıştırılmıştır. Örneklerle çekme testi uygulanarak dayanımları araştırılmış ve yapışma direnci değerleri aşağıda verilmiştir.

3.6.1 Meşe Odununda Yapışma Direnci

Meşe odunlarının yapışma için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.32 ve tablo 3.33’de verilmiştir. ANOVA testine göre yapışma direnci değişimleri istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.32: Isıl işlem sonrası meşe odununun yapışma direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	15,45	2	7,72	6,99	0,01
Grup içinde	12,15	11	1,11		
Toplam	27,60	13			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.33: Isıl işlem sonrası meşe odununun yapışma direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	A	B
220K	4,14	
180K	5,24	5,24
KK		6,74

3.6.2 Kayın Odununda Yapışma Direnci

Meşe odunlarının yapışma için hazırlanan ANOVA ve duncan test sonuçları tablo 3.34 ve tablo 3.35’de verilmiştir. ANOVA testine göre yapışma direnci değişimleri istatistikî olarak anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.34: Isıl işlem sonrası kayın odununun yapışma direncine ilişkin basit varyans analizi (BVA) sonuçları.

	Kareler Toplamı	Df	Kareler Ortalaması	F	Önem Düzeyi
Gruplar arasında	65,32	2	32,66	69,04	0,00
Grup içinde	5,68	12	0,47		
Toplam	70,10	14			

Bunun sonucunda hangi gruplar arasındaki anlamlı farklılıkların olduğunu belirlemek için duncan testi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.35: Isıl işlem sonrası kayın odununun yapışma direncine ilişkin 0,05 güven aralığında farklılıkları gösteren duncan testi sonuçları.

Örnekler	Duncan Testi (Güvenirlilik Düzeyi = 0.05)		
	A	B	C
220K	1,25		
180K		3,98	
KK			6,66

Isıl işlem sonucunda gerek kayın odununun gerekse meşe odununun mekanik özellikleri önemli oranlarda düşmüştür. Elde edilen tüm veriler Tablo 3.36’da verilmiştir.

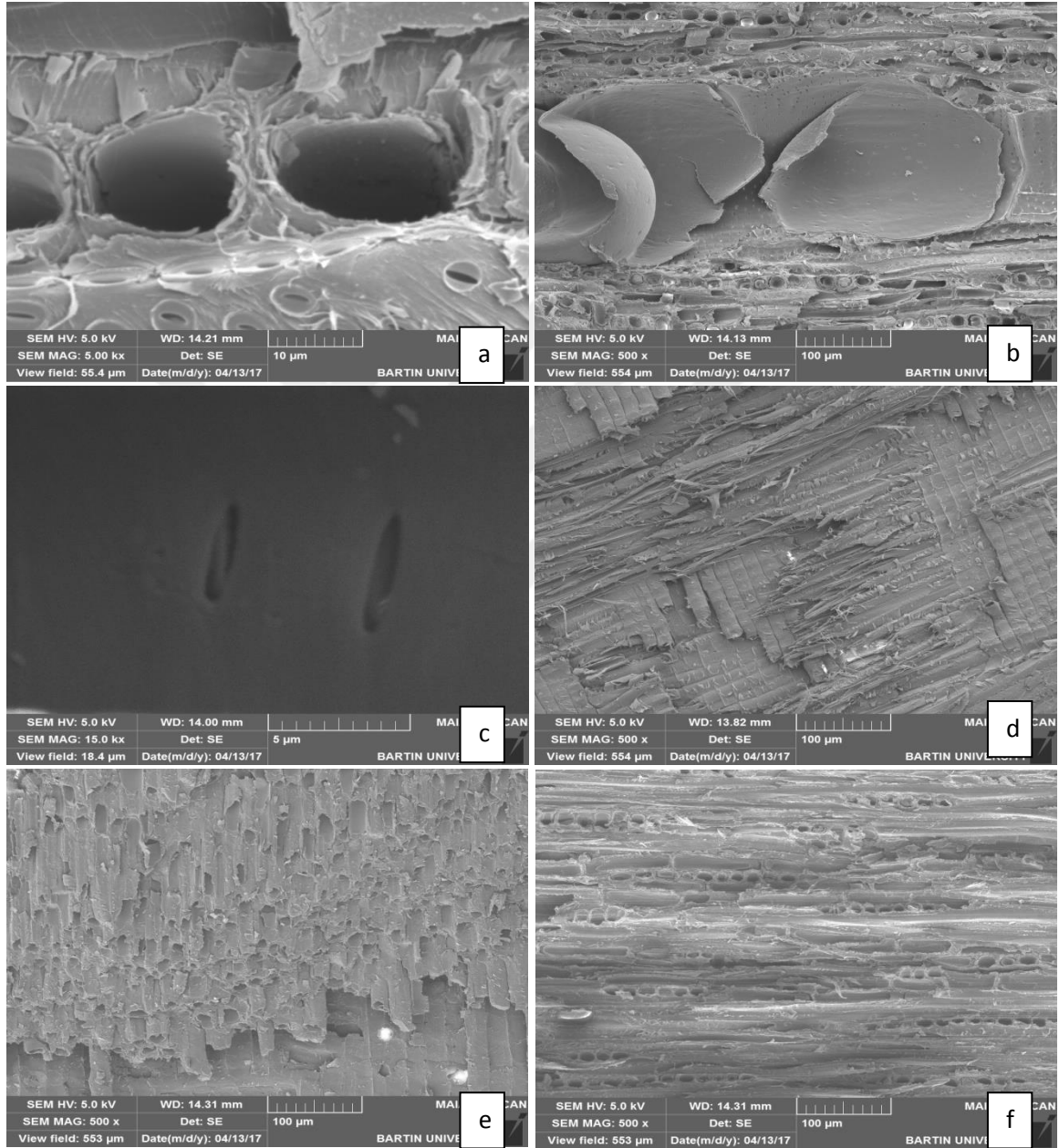
Tablo 3.36: Isıl işlem sonrası kayın ve meşe odunlarının dirençlerine ilişkin basit varyans 4 analizi (BVA) sonuçları.

	Eğilme Direnci (MPa)	Elastikiyet Modülü (GPa)	Basınç Direnci (MPa)	Yapışma Direnci (MPa)
Meşe-K	99,5	9257,7	66,4	6,4
Meşe-180	89,5	8340,8	50,7	5,7
Meşe-220	29,5	4978,6	46,7	4,1
Kayın-K	105,3	9446,7	67,4	6,7
Kayın-180	73,6	8044,0	58,7	3,8
Kayın-220	43,8	5393,0	54,5	1,3

Tablo 3.36'ya göre en yüksek eğilme direnci değeri kontrol meşe odunları için saptanmıştır. En düşük değeri ise 220 °C'de meşe odunlarında saptanmıştır. En yüksek elastikiyet modülü değeri kontrol odunları için saptanmıştır. En düşük değeri ise 180 °C'de meşe odunlarında saptanmıştır. En yüksek basınç direnci değeri 180 °C'de meşe odunlarında saptanmıştır. En düşük değeri ise 220 °C'de meşe odunlarında saptanmıştır. En yüksek yapışma direnci değeri kontrol kayın odunları için saptanmıştır. En düşük değeri ise 220 °C'de kayın odunlarında saptanmıştır. Sonuç olarak, tüm mekanik testlerde en yüksek değerler kontrol odunları için saptanırken en düşük değerler en yüksek muamele sıcaklığı olan 220 °C sıcaklıkta gerçekleştiği görülmektedir. Bu düşüşlerin gerek yapıda meydana gelen mikro çatlaklar gerekse odun bileşenlerinin bozunmasıyla meydana gelen yoğunluk kaybından oluştuğu söylenebilir. Yapılan başka bir çalışmada, sarıçam odunu kullanılarak 150 °C, 170 °C ve 190 °C'ler de ısıtılma tabi tutulmuştur. En düşük elastikiyet modülü 190 °C'de ısıtılma işlem görmüş sarıçam odununda tespit edilmiştir. En yüksek kontrol sarıçam odununda tespit edilmiştir. En düşük basınç direnci kontrol sarıçam odununda tespit edilmiştir. En yüksek 170 °C'de ısıtılma işlem görmüş sarıçam odununda tespit edilmiştir. En düşük eğilme direnci 150 °C'de ısıtılma işlem görmüş sarıçam odununda tespit edilmiştir. En yüksek 190 °C'de ısıtılma işlem görmüş sarıçam odununda tespit edilmiştir (Özçiftçi vd., 2009). Başka bir çalışma da ise doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* L.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kara kavak (*Populus nigra* L.) odunları 150, 175 ve 200 °C'de ısıtılma tabi tutmuşlardır. Kontrol örneklerine göre en yüksek yapışma direnci kaybı 200 °C'de ısıtılma işlem gören örneklerde gerçekleşmiştir (Perçin ve Uzun, 2014). Literatürler incelendiğinde çalışmamız da elde edilen sonuçlara benzerlik gösterdiği görülmektedir.

3.7 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin iç yapısındaki çatlaklar, kırılmalar vb. değişimlerin olup olmadığı elektron mikroskopuyla (SEM) araştırılmış ve SEM görüntüleri Şekil 4.4’de verilmiştir.

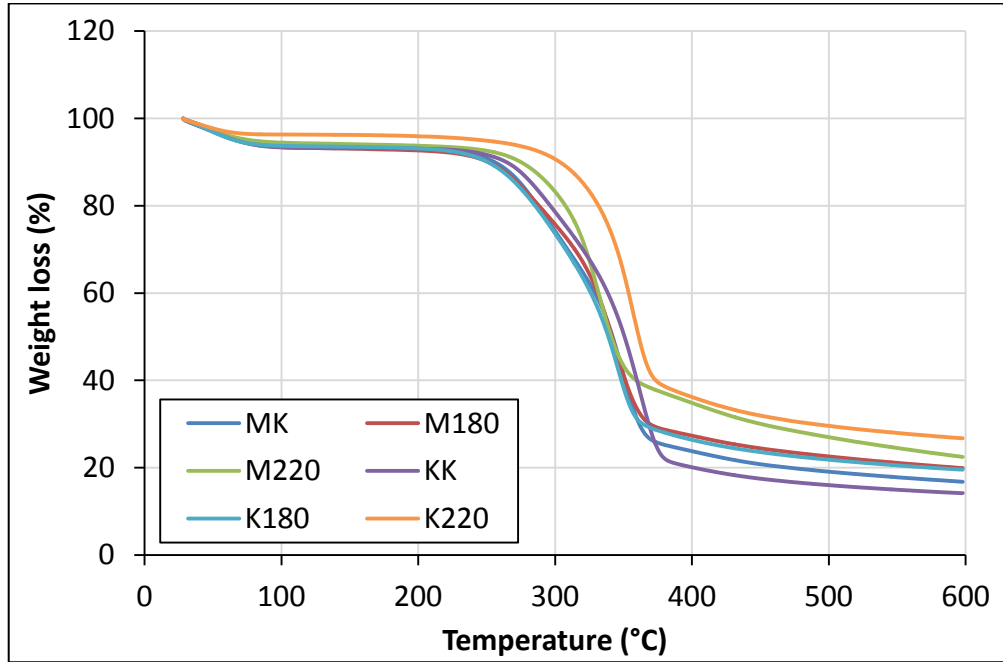


Şekil 3.4: Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin iç yapı görüntüleri (a-b-c: Odun hücrelerinin görünümü, d-e-f: Odunun trahe ve geçitleri).

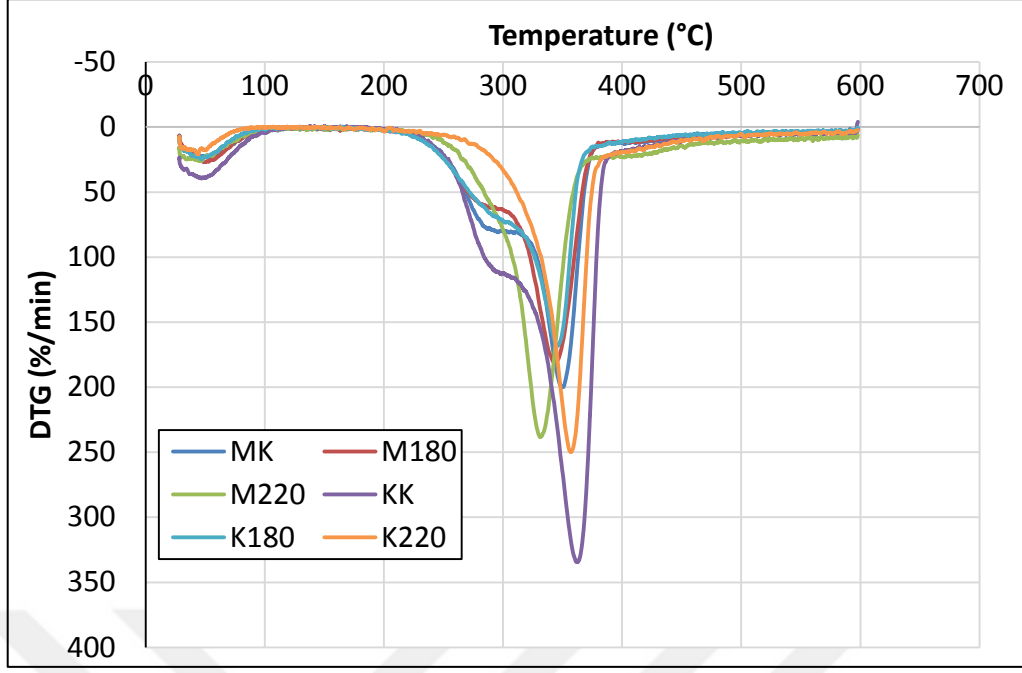
Isıl işlem uygulaması sonrasında SEM resimleri incelendiğinde ahşap malzemede herhangi bir değişime tam anlamıyla saptanmamıştır. Kenarlı geçitlere bakıldığında geçit kenarlarının hayli düz olduğu ve kırılmaların olmadığı saptanmıştır. Ayrıca traheler ve keşişimlerinde de bir bozulma izine rastlanmamıştır. Yapılan başka bir çalışmada, ladin ve dişbudak odunlarını 190 °C’de ısıtılma işlemi tabii tutulmuştur. Yapılan SEM araştırmasına göre ladin örnekleri ve diş budak örneklerinin ısıtılma işlemi görmüş ağaç malzemeden alınan kesitlerde, kontrol örneklerine göre daha fazla trahe ve traheidlerde parçalanmalar, ayrılmalar, ilkbahar ve yaz odununda çatlaklar vb. değişimler meydana geldiği saptanmıştır (İçel ve Şimşek, 2017). Yapılan başka bir çalışmada Doğu kırmızı sedir ve kırmızı meşe 120 ve 190 °C’de 2 ve 8 saat boyunca ısıtılma işlemi tabii tutulmuştur. SEM görüntülerine göre kontrol örneklerinde herhangi bir deformasyon görülmemiştir. Isıl işlem görmüş örneklerin yapısında ise deformasyon gözlemlenmiştir (Bakar vd., 2013).

3.8 Termogravimetrik Analiz (TGA)

Isıl işlem görmüş ve kontrol odunlarının termogravimetrik analizleri gerçekleştirilmiş ve Şekil 3.5’de termogravimetrik (TG) eğrileri ve Şekil 3.6’da derivatif termogravimetre (DTG) eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.5: Isıl işlem görmüş ve kontrol odunlarının TG eğrileri.



Şekil 3.6: Isıl işlem görmüş ve kontrol odunlarının DTG eğrileri.

Şekil 3.5'e bakıldığında ısıtıl işlem görmüş ahşap malzemenin termal bozunma eğrilerinin kontrol numunelerine göre daha yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği saptanmıştır. TG eğrilerine göre en yüksek sıcaklıklarda bozunma gösteren numunelerin 220 °C sıcaklıklarda muamele edilmiş ahşaplarda meydana geldiği görülmektedir. TG eğrilerine göre en iyi termal stabilizasyon değerlerini 220 °C sıcaklıkta muamele edilmiş kayın odunu göstermiştir. En düşük termal kararlılık ise kontrol kayını için saptanmıştır. Şekil 3.6 ise numunelerin maksimum kütle kayıplarını verdiği sıcaklık (DTG_{max}) derecelerini göstermektedir. En yüksek DTG_{max} değeri ise kontrol kayın odunun da saptanmıştır. Yapılan bir çalışma da, gürgen ve uludağ göknar 170 °C, 190 °C ve 210 °C ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. Termal gravimetrik analiz (TGA) sonuçları, kontrol numunelere kıyasla ısıtıl işlemden geçmiş numuneler için ana bozunma bölgesinde daha az ağırlık kaybının olduğunu göstermektedir. Ayrıca, benzer bozulma bölgesinde uludağ göknar örneklerinin ağırlık kaybı gürgen örneklerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Aydemir vd., 2011).

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günlük yaşantımızda ahşap malzemenin kullanımı önemli bir yere sahiptir. Ahşap malzemenin kullanıldığı yerlere göre daha uygun özellikler göstermesi istenilen bir durumdur. Bu çalışmada da ısıtılma maruz kalmış meşe ve kayın ahşap malzemelerinin istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır. Genel olarak ısıtılma işlemi bazı özellikleri iyileştirirken, bazı özellikleri kötüleştirmiştir.

Yoğunluk analizlerinde görüldüğü üzere en yüksek yoğunluk değerleri kontrol meşe ve kontrol kayın odunlarında gözlemlenmiştir. En düşük değerler 220 °C’de ısıtılma işlemi görmüş meşe ve kayın odunlarında gözlemlenmiştir. Buradan anlaşılabileceği gibi ısıtılma işleminin derecesi arttıkça yoğunluk değerleri azalmaktadır. Yoğunlukları yüksek odun türleri daha dayanıklıdır. Bu yüzden yük taşıyacak ahşap malzemede, ısıtılma işlemi görmemiş kayın ve meşe odunlarının kullanımı önerilebilir.

Su alma analizlerinde en yüksek su alma, kontrol kayın odunları için tespit edilmiştir. En düşük su alma değeri, ise 180 °C’de meşe odunlarında saptanmıştır. Bu sonuçlara dayanarak ısıtılma işlemi uygulanmış ağaç malzeme daha az su absorbe ettiği söylenebilir. Bu yüzden rutubetli ortamlarda ısıtılma işlemi uygulanmış ağaç malzemenin kullanılması önerilebilir.

Renk değişimi analizlerinde görüldüğü üzere ısıtılma işlemi uygulanmış odunlarda renk değişimi olduğu gözlemlenmiştir. Kayın odunlarında meşe odunlarına göre daha fazla renk değişimi olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitten de anlaşılabileceği gibi kayın odunları meşe odunlarına göre daha koyu bir renk aldığı görülmüştür. Ayrıca ısıtılma işlemi derecesi arttığında da koyuluğun arttığı görülmektedir. Bu yüzden dekorasyon amaçlı yapılar içinde ısıtılma işlemi görmüş odun kullanımı daha avantajlı olabileceğinden bu tarz yapılarda kullanılmaları önerilebilir.

Direnç analizlerinde görüldüğü üzere ısıtılma işlemi uygulanmış odunlarda eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci ve yapışma direnci değerleri ısıtılma işlemi sıcaklığı arttıkça

azalmaktadır. Bu dirençlerin en yüksek değerleri kontrol örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerleri ise 220 °C'de ki ısıtıl işlem uygulanmış örneklerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin mekanik özelliklerinin zayıfladığı anlaşılmaktadır. Bu yüzden yüksek sıcaklıkta ısıtıl işlem görmüş malzemenin yük taşıma yapı elemanı olarak kullanılmaması önerilebilir.

SEM kontrol örneklerinin resimleri ve ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin resimleri incelendiğinde, ısıtıl işlem sonucunda kontrol örneklerine göre bir değişim olduğu tespit edilememiştir. İç yapısında kırılma, çatlak vb. değişimler gözlenmemiştir.

TGA analiz sonuçlarına göre, ısıtıl işlem görmüş örneklerin termal bozunma eğrilerinin kontrol örneklerine göre daha yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği gözlenmiştir. TG eğrilerine göre en iyi termal stabilizasyon 220 °C' de ki kayın odunu olduğu saptanmıştır. En düşük termal stabilizasyonu ise kontrol kayın odunu olduğu saptanmıştır. En yüksek DTG kontrol kayın odun örneklerinde sonucuna varılmıştır.

Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere ısıtıl işlem ile muamele edilmiş ağaç türlerinin her ikisinin de genel anlamda fiziksel özelliklerinde bir iyileşme sağlanırken mekanik özelliklerinde kötüleşme meydana gelmiştir. Bu yüzden, ısıtıl işlem ile muamele görmüş ağaç malzemenin dekorasyon amaçlı yapılarda, nem ve rutubetli ortamlarda vb. fiziksel özellik istenen yapılarda kullanılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Akkılıç, H., Kaymakçı, A. ve Ünsal, Ö. (2014). Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin dış cephe kaplaması olarak değerlendirilme potansiyeli. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 3-4 Nisan 2014, Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş, İstanbul, s. 2.
- Altınok, M., Perçin, O., ve Doruk, Ş. (2010). Isıl işlemin (thermo-process) ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23: 71-84.
- Araujo, S. O., Vital, B. R., Oliveira, B., Cassia, A., Carneiro, O., Louranço, A. ve Pereira, H. (2016). Physical and mechanical properties of heat treated wood from *Aspidosperma populifolium*, *Dipteryx odorata* and *Mimosa scabrella*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(1): 143-156.
- As, N., Koç, H., Doğu, D., Atik, C., Aksu, B. ve Erdinler, S., (2001). Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 51(1): 71-88.
- Ayan, S. ve Ciritoglu, H. H. (2012). Isıl İşlemin Ahşap Lamine Panellerin Bazı Fiziksel Özellikleri ve Vida Tutma Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 1(1): 35-46.
- Aydemir, D., Gündüz, G., Altuntaş, E., Ertas, M., Şahin, H. T. ve Alma, M. H. (2011). Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood. *BioResources*, 6(2): 1308-1321.
- Aydemir, D., Kızıltaş, A., Kızıltaş, E., Gardner, D. ve Gündüz, G. (2014). Heat treated wood–nylon 6 composites. *Composites Part B: Engineering*, 68: 414-423.
- Bakar, B. F. A., Hızıroğlu, S. ve Tahir, P.M. (2013). Properties of some thermally modified wood species. *Materials & Design*, 43: 348-355.
- Bektaş, İ., Düzkale Sözbir, G., Bal, B. C. ve Altuntaş, E. (2017). Kavak odununun kimyasal özellikleri üzerine termal ve basınçlı termal modifikasyon işlemlerinin etkisi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1): 31-37.
- Cademartori, P. H. G., Schneid, E., Gatto, D. A., Beltrame, R. ve Stangerlin, D. M. (2012). Modification of static bending strength properties of eucalyptus grandis heat-treated wood. *Materials Research*, 15(6): 922-927.
- Can, A. ve Yıldız, S. (2013). Endüstriyel ölçekte ısıtıl işlem uygulanan bazı odun örneklerinde vida tutma direnci ve mantar çürüklük testi performansı. *II. Mobilya Konferansı*, 11-13 Nisan 2013, Denizli, Türkiye.

Ding, T., Gu, L. ve Li, T. (2011). Influence of steam pressure on physical and mechanical properties of heat-treated Mongolian pine lumber, *Eur. J. Wood Prod*, 69: 121–126.

Doruk, Ş., Altınok, M. ve Perçin, O. (2010). Isıl işlemin ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 69: 262–270.

Estaves, B., Marques, A. V., Domingos, I. ve Pereira, H. (2013). Chemical changes of heat treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(2): 245 – 258.

İçel, B. ve Şimşek, Y. (2017). Isıl işlem görmüş ladin ve dişbudak odunlarının mikroskopik görüntüleri üzerine değerlendirmeler. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2: 414 – 420.

Kasemsiri, P., Hızıroğlu, S. ve Rimdusit, S. (2012). Characterization of heat treated eastern redcedar. *Journal of Materials Processing Technology*, 212: 1324 – 1330.

Kocaefe, D., Huang, X., Kocaefe, Y. ve Boluk, B. (2012). Quantitive characterization of chemical degradation of heat – treated wood surfaces during artificial weathering using XPS. (2012). *Surface and Interface Analysis*, s. 639-649.

Kol, H. Ş. (2010). Characteristics of heat-treated turkish pine and fir wood after thermowood processing. *Journal of Environmental Biology*, 31(6): 1007-1011.

Korkut, S. ve Kocaefe, D. (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2): 15-34.

Köse Demirel, G. ve Temiz, S. (2015). Ahşap korumada çevre dostu modifikasyon yöntemleri. *Selçuk Teknik Dergisi*, s. 1016-1032.

Li, X., Cai, Z., Mou, Q., Wu, Yi. ve Liu, Y. (2011). Effects of heat treatment on some physical properties of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) wood. *Advanced materials research*, Vols. 197-198, 90-95.

Mayes, D. ve Oksanen, O. (2002). Thermowood Handbook, *Finnforest Press*, Finland. s. 5-15.

Mıdıroğlu, M. (2015). Isıl İşlem Görmüş Ladin Ağaçlarından Üretilen Masif Panellerin Vernik Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmış), Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 173 s.

Mizgin, A. (2016). Isıl İşlem Görmüş Odunun Polipropilen Kompozitlerin Özellikleri Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmış), Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 57 s.

Özan, Z. E., Onat, S. M. ve Aydemir, D. (2017). Sarıçam ve uludağ göknar odunlarının bazı özellikleri üzerine termal muamelenin etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 187-193.

Özçiftçi, A., Altun, S. ve Yapıcı, F. (2009). Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük üniversitesi, 13 15 Mayıs 2009, s. 1-2.

Perçin, O. ve Uzun, O. (2014). Isıl işlem uygulanmış bazı ağaç malzemelerde yapışma direncinin belirlenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15: 72-76.

Priadi, T. ve Hızıroğlu, S. (2013). Characterization of heat treated wood species. *Metarials and Design*, 49: 575-582.

Sarıbaş, M. (2012). *Angiospermae*. 1. basım, Sürat Matbaacılık Kırtasiye Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti, Bartın, 295 s.

TS EN 392, (1999). Yapıştırılmış lamine kereste–Yapıştırılmış tabakaların makaslama deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 2471, (1976). Odunda mekanik ve fiziksel deneyler için rutubet miktarı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 2474, (2005). Odunun statik eğilmede dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 2478, (1976). Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 2595, (1977). Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 4084, (1983). Odunda radyal teğet doğrultuda şişmenin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 53, (2005). Odunun fiziksel özelliklerini tayin için numune alma, muayene ve deney metotları. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Tomak, E. D., Ustaömer, D., Yıldız, S. ve Pesman, E. (2014). Changes in surface and mechanical properties of heat treated wood during natural weathering. *Measurement*, 53: 30-39.

Viitaniemi, P. (1997). Decay-resistant wood created in a heating process. *Industrial Horizons*, 23: 77-85.

Yıldız, S., Yıldız, Ü. ve Tomak, E. D. (2011). The effects of natural weathering on the properties of heat – treated alder wood. *Bio Resources*, 6(3): 2504-2521.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gökçe BÜRÜÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul-28.07.1989

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : 2010-2015 Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : 2016-2018 Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği A.B.D, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Bilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : Almanca
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Samet Kızılırmak, Gökçe Bürüç, Mahmut Özaydın, Deniz Aydemir, Gokhan Gunduz (2018). Distribution of Nano Particles in the Wood Impregnated with Nano Scale Boron Nitride. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 20 (3): x – x (Basımda).
Aldığı Ödüller :

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler ve Kurs Belgeleri : C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Belgesi

Çalıştığı Kurumlar :

İletişim

E-Posta Adresi : brgke@hotmail.com

Tarih : 07/09/2018

