

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKLİ ISIL İŞLEM VE BORLU BİLEŞİKLERLE
EMPRENYENİN ODUNUN BAZI FİZİKSEL, MEKANİK VE BİYOLOJİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orm. End. Müh. Ahmet CAN

EYLÜL 2011

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKLİ ISIL İŞLEM VE BORLU BİLEŞİKLERLE
EMPRENYENİN ODUNUN BAZI FİZİKSEL, MEKANİK VE BİYOLOJİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Orm. End. Müh. Ahmet CAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ORMAN ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23/08/2011
Tezin Savunma Tarihi : 09/09/2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Sibel YILDIZ

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Yüksek Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Ahmet CAN tarafından hazırlanan

**ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKLİ ISIL İŞLEM VE BORLU BİLEŞİKLERLE
EMPRENENİN ODUNUN BAZI FİZİKSEL, MEKANİK VE BİYOLOJİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 23 / 08 / 2011 gün ve 1419 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09 / 09 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Sibel YILDIZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Derya USTAÖMER

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Endüstriyel Ölçekli Isıl İşlem ve Borlu Bileşiklerle Emprenyenin Odunun Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Özelliklerine Etkisi” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun koruma Teknolojisi Programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans danışmanlığımı üstlenerek, her türlü çalışmanın yürütülmesi esnasında yardım ve desteklerini esirgemeyen gerek mesleki gerekse de kişilik açısından daima örnek alacağım Sayın Hocam Doç. Dr. Sibel YILDIZ’a, bilgi, tecrübe ve tavsiyelerinden istifade ettiğim sayın hocam Prof. Dr. Ümit Cafer YILDIZ’a, laboratuvar deneyimi kazanmama katkı sağlayan Arş. Gör. Eylem Dizman TOMAK ‘a şükranlarımı bir borç bilirim.

Isıl işlem çalışmalarının gerçekleştirildiği Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş ‘nin Gerede de bulunan Thermowood Kereste Üretim Fabrikası müdürü ve teknik personeline teşekkür ederim.

Bugünlere ulaşmamda maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ahmet CAN
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Endüstriyel Ölçekli Isıl İşlem ve Borlu Bileşiklerle Emprenyenin Odunun Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Sibel YILDIZ‘in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/08/2011

Ahmet CAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XI
TABLolar LİSTESİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Odun Modifikasyonu	2
1.2.1. Odun Modifikasyon Yöntemleri.....	2
1.2.1.1. Kimyasal Modifikasyon.....	3
1.2.1.2. Fiziksel Modifikasyon	3
1.2.1.3. Enzimatik Modifikasyon	4
1.2.1.4. Termal Modifikasyon	4
1.2.1.4.1. Isıl İşlem	4
1.2.1.4.1.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi.....	5
1.2.1.4.1.2. Isıl İşlemin Mekanik ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi.....	8
1.2.1.4.1.3. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi	12
1.2.1.4.1.4. Isıl İşlemin Biyolojik Özellikler Üzerine Etkisi	17
1.2.1.4.1.5. Isıl İşlemin Anatomik Özellikler Üzerine Etkisi	19
1.3. Geçmişten Günümüze Isıl İşlem Teknolojisi	20
1.4. Emprenye İşlemi	24
1.4.1. Bor, Dünyada ve Türkiyedeki Bor Madeninin Dağılım Alanları, Borlu Bileşikler ve Kullanım Alanları	25
1.4.2. Borlu Bileşiklerin Emprenye Endüstrisinde Kullanımı	28
1.4.3. Borlu Bileşiklerle Emprenye İşlemi ve Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Kombine Etkisi	30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	32

2.1.	Deneme Materyali	32
2.1.2.	Ağaç Malzeme	32
2.1.2.1.	Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis</i>)	32
2.1.2.2.	Doğu Kavağı (<i>Populus deltoides</i>).....	33
2.1.2.3.	Doğu Ladini (<i>Picea orientalis</i>)	34
2.1.2.4.	Karaçam (<i>Pinus nigra</i>)	36
2.1.3.	Kullanılan Kimyasal Maddeler	37
2.1.3.1.	Borik Asit.....	37
2.1.3.2.	Boraks	38
2.1.4.	Örneklerin Hazırlanması.....	39
2.2.	Araştırma Yöntemi	41
2.2.1.	Örneklerin Emprenye Edilmesi	41
2.2.1.1.	Örneklerde Retensiyon Miktarının Bulunması	41
2.2.2.	Örneklerin Isıl İşleme Tabi Tutulması.....	41
2.2.3.	Fiziksel Test Yöntemleri.....	42
2.2.3.1.	Özgül Ağırlık	42
2.2.3.2.	Su Alma Oranı, Genişleme Miktarı ve Boyut Stabilizasyonu	43
2.2.4.	Mekanik Test Yöntemleri	45
2.2.4.1.	Statik Eğilme Direnci	45
2.2.4.2.	Liflere Paralel Basınç Direnci	45
2.2.4.3.	Vida Tutma Direnci	47
2.2.5.	Biyolojik Özellikler	48
2.2.5.1.	Mantar Çürüklük Testi.....	48
2.2.6.	Korozyon Oranının Belirlenmesi.....	50
2.2.7.	pH Değerleri	52
2.2.8.	Bor Analizi.....	52
2.3.	İstatiksel Yöntemler	53
3.	BULGULAR.....	54
3.1.	Fiziksel Özellikler.....	54
3.1.1.	Retensiyon Değerleri	54
3.1.2.	Özgül Ağırlık	55
3.1.3.	Su Alama Oranı, Teğetsel Genişleme ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik	56

3.2.	Mekanik Özellikler	64
3.2.1.	Statik Eğilme Direnci	64
3.2.2.	Liflere Paralel Basınç Direnci	65
3.2.3.	Vida Tutma Direnci	67
3.3.	Biyolojik Özellikler	69
3.3.1.	Mantar Çürüklük Testi	69
3.4.	Korozyon Oranının Belirlenmesi	71
3.5.	pH Ölçümü	75
3.6.	Isıl İşlem Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Borik Asit ve Boraks Oranları	76
4.	İRDELEME	77
4.1.	Fiziksel Özellikler	77
4.1.1.	Özgül Ağırlık	77
4.1.2.	Su Alma Oranı, Teğetsel Genişleme, Genişlemeyi Önleyici Etkinlik	79
4.1.2.1.	Su Alma Oranı (SAO)	80
4.1.2.2.	Teğetsel Genişleme (TG)	83
4.1.2.3.	Genişlemeyi Önleyici Etkinlik (GET)	85
4.2.	Mekanik Özellikler	86
4.2.1.	Karaçam, Ladin, Kayın ve Kavak Odunlarında Statik Eğilme Direnci	86
4.2.2.	Karaçam, Ladin, Kayın ve Kavak Odunlarında Liflere Paralel Basınç Direnci	89
4.2.3.	Kayın, Kavak, Karaçam ve Ladin Odunlarında Vida Tutma Direnci	92
4.3.	Biyolojik Özellikler	95
4.3.1.	Isıl İşlemin Mantar Çürüklük Direncine Etkisi	95
4.4.	Isıl İşlemin Korozyon Direnci Üzerine Etkisi	100
4.5.	Isıl İşlemin Odunun pH Değerine Etkisi	104
4.6.	Isıl İşlem Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Bor Miktarları	107
5.	SONUÇLAR	109
5.1.	Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar	109
5.1.1.	Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Özgül Ağırlık Değerlerine İlişkin Sonuçlar	109
5.1.2.	Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Su Alma Oranı, Teğetsel Genişleme ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerlerine Ait Sonuçlar	109
5.2.	Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar	111

5.2.1.	Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Eğilme Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar	111
5.2.2.	Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Liflere Paralel Basıncı Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar	111
5.2.3.	Isıl İşlem Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Vida Tutma Direnci Değerlerine İlişkin Sonuçlar	112
5.3.	Biyolojik Özelliklere Ait Sonuçlar	113
5.3.1.	Isıl İşlem Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Mantar Çürüklük Direnci Değerlerine Ait Sonuçları	113
5.4.	Emprenye ve Isıl İşlem Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarının Korozyon Değerlerine Ait Sonuçlar	113
5.5.	Emprenye ve Isıl İşlem Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarının pH Değerlerine Ait Sonuçlar	114
5.6.	Isıl İşlem Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Borik Asit ve Boraks Oranlarına Ait Sonuçlar	115
6.	ÖNERİLER.....	116
7.	KAYNAKLAR	119

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans

ÖZET

ENDÜSTRİYEL ÖLÇEKLİ ISIL İŞLEM VE BORLU BİLEŞİKLERLE EMPRENYENİN
ODUNUN BAZI FİZİKSEL, MEKANİK VE BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Ahmet CAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Sibel YILDIZ
2011, 128 Sayfa

Tez kapsamında, Türkiye’de doğal olarak yetişen ve orman ürünleri sanayinde yoğun olarak kullanılan doğu ladini, karaçam, doğu kayını ve kavak odunları, endüstriyel ölçekli boyutlarda ısıtılma tabii tutulmuş ve işlem sonrasında odun özellikleri üzerinde meydana gelen değişiklikler; bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik test yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bazı örnekler üzerinde ısıtılma ve emprenye işleminin kombine etkisinin odunun performans özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Fiziksel özelliklerden; özgül ağırlık, su alma oranı, teğetsel genişleme, genişlemeyi önleyici etkinlik, mekanik özelliklerden; eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci, vida tutma direnci testleri yapılmıştır. Ayrıca mantar çürüklük testi, korozyon oranı, pH ölçümü ve bor analizi testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; emprenye işleminin fiziksel özellikler üzerindeki etkisi olumsuz, sadece ısıtılma uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisi ise memnun edici bulunmuştur. Emprenye işlemi uygulanan iğne yapraklı ağaç türlerinin ısıtılma işlemi sonrası pH değerleri azalırken yapraklı ağaç türlerinin pH değerlerinde artış gözlenmiştir. Artan ısıtılma sıcaklığına paralel olarak vida tutma, eğilme ve liflere paralel basınç dirençlerinde azalma, korozyon oranında artış gözlenmiştir. Isıtılma uygulanan iğne yapraklı ağaç türlerinde mantar çürüklük dayanımı artmıştır. Yapraklı ağaç türlerinde ise iğne yapraklı ağaçlar kadar olumlu sonuçlar elde edilmemiştir. Isıtılmadan sonra odunda kalan bor miktarı % 37-98 arasında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıtılma, Emprenye işlemi, Borlu bileşikler, Doğu Ladini, Doğu Kayını, Karaçam, Kavak

Master Thesis
SUMMARY

THE EFFECTS OF INDUSTRIAL-SCALE HEAT TREATMENT AND
IMPREGNATION WITH BORON COMPOUNDS ON SOME PHYSICAL,
MECHANICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF WOOD

Ahmet CAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Sibel YILDIZ
2011, 128 Pages

In this thesis, it was aimed to investigate some physical, mechanical and biological properties of heat treated spruce, larch, beech and poplar wood species spreading widely at Blacksea region in Turkey. In addition to heat treatment, wood samples were impregnated with boron compounds and, combine effect of boron impregnation and heat treatment on wood properties were also investigated. Specific density, water absorption, tangential swelling, anti-shrink efficiency were determined as physical properties of wood samples. Static bending, compression strength parallel to grain, holding of screw were investigated as mechanical properties of wood samples. Furthermore, decay test, corrosion rate, pH measurements and boron content in wood samples were determined as well. As a result, heat treatment improved physical properties of wood however, boron impregnation had a negative effect on physical properties. pH values decreased after heat treatment of boron pre-treated soft wood species however, pH values increased in hardwood species. Screw holding resistance, static bending strength and compression strength parallel to grain decreased with increasing treatment temperature, whilst corrosion rate increased. Decay resistance against to fungi attack increased more in heat treated soft wood species than hardwood species. Depending on wood species boron content in wood samples after heat treatment were determined as 37-98%.

Key Words: Heat Treatment, Impregnation process, Boron compounds, Spruce, Beech, Pine, Poplar

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.	Isıl işlemin ahşap üzerinde meydana getirdiği fiziksel değişim	6
Şekil 2.	Isıl işlem uygulanmış odunun reaksiyon mekanizması	13
Şekil 3.	Isıl işlem üretim safhaları	22
Şekil 4.	Thermowood üretim miktarı.....	23
Şekil 5.	Thermowood üretimi için kullanılan ağaç türleri	23
Şekil 6.	Thermowood pazar alanı	24
Şekil 7.	Emprenye işlemi aşamaları.....	25
Şekil 8.	Dünya bor üretiminin 2010 yılında ülkeler bazında dağılımı (%)	27
Şekil 9.	Keresteden örneklerin alınma yöntemi.....	39
Şekil 10.	Deney örneklerinin hazırlanma planı	40
Şekil 11.	SAO, TG ve GET deney örneklerinin boyut ve şekli.....	43
Şekil 12.	Liflere paralel yönde basınç direnci deneyinin uygulanışı	46
Şekil 13.	Vida tutma direnci deney örneği (Boyutlar mm.)	47
Şekil 14.	Mantar deneyi örnekleri.....	49
Şekil 15.	Korozyon deneyine ait örnek boyutu	51
Şekil 16.	Vida şekli	51
Şekil 17.	ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazı	53
Şekil 18.	Ladin ve karaçam odunu test örnekleri ile Kontrol 2 örneklerinde Kontrol 1'e oranla özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları (%)	78
Şekil 19.	Kayın ve kavak odunu test örnekleri ile Kontrol 2 örneklerinde Kontrol 1'e oranla özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları (%)	78
Şekil 20.	Ladin test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri.....	80
Şekil 21.	Karaçam test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri	80
Şekil 22.	Kayın test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri	81
Şekil 23.	Kavak test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri	81
Şekil 24.	Odun örneklerinde ortalama TG (%) değerleri.....	83
Şekil 25.	Odun örneklerinde ortalama GET (%) değerleri	85
Şekil 26.	Ladin ve karaçam odunları Test ve Kontrol 2 örneklerinde Kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma-artma oranları	87

Şekil 27.	Kayın ve kavak odunları Test ve Kontrol 2 örneklerinde Kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma-artma oranları	87
Şekil 28.	Ladin ve karaçam odunları Test ve Kontrol 2 örneklerinde Kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları	90
Şekil 29.	Kayın odun Test ve Kontrol 2 örneklerinde Kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları	90
Şekil 30.	Ladin odun test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları	92
Şekil 31.	Karaçam odun test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları	93
Şekil 32.	Kayın odun test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları	94
Şekil 33.	Kavak odun test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları	94
Şekil 34.	MÇT'ye tabi tutulan Ladin odunu örneklerinde ısı işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisi.....	96
Şekil 35.	MÇT'ye tabi tutulan Karaçam odunu örneklerinde ısı işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisi	96
Şekil 36.	MÇT'ye tabi tutulan Kayın odunu örneklerinde ısı işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisi.....	98
Şekil 37.	MÇT'ye tabi tutulan Kavak odunu örneklerinde ısı işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisi.....	98
Şekil 38.	Ladin ve karaçam odunları test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen korozyon azalma-artma oranları (%).....	100
Şekil 39.	Kayın ve kavak odunları test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalma-artma oranları (%)	100
Şekil 40.	Kontrol örneklerinde oluşan metal kaybı (g/m^2)	101
Şekil 41.	Ladin ve karaçam odunları test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen korozyon derinliğine ait azalma-artma oranları (%)	103
Şekil 42.	Kayın ve kavak odunları test örneklerinde Kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalma-artma oranları (%)	103
Şekil 43.	Ladin odununa ait pH değerleri	104
Şekil 44.	Karaçam odununa ait pH değerleri	105
Şekil 45.	Kayın odununa ait pH değerleri.....	106
Şekil 46.	Kavak odununa ait pH değerleri	106
Şekil 47.	Isıl işlem sonrası kalan bor miktarları (%)	108

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ticari öneme sahip bor mineralleri.....	26
Tablo 2. Dünya bor rezervi dağılımı.....	26
Tablo 3. Eti maden mineral bazında rezerv miktarları	27
Tablo 4. Borik asidin genel özellikleri.....	37
Tablo 5. Boraks dehidratın genel özellikleri	38
Tablo 6. Deney varyasyonu şeması	40
Tablo 7. Isıl işlem sıcaklık ve süreleri	42
Tablo 8. Mantar çürüklük testi varyasyon şeması	48
Tablo 9. Retensiyon değerleri	54
Tablo 10. Ağaç türlerine ait özgül ağırlık değerleri (gr/cm ³)	55
Tablo 11. Özgül ağırlık değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)	55
Tablo 12. Özgül ağırlık değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA).....	56
Tablo 13. 212 °C’de, 120 dak. süreyle ısıl işlem uygulanan ladin odunu kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%).....	57
Tablo 14. 212 °C’de, 120 dak. süreyle ısıl işlem uygulanan karaçam odunu kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%)	57
Tablo 15. Su alma değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)	58
Tablo 16. 180 °C’de, 120 dak. süreyle ısıl işlem uygulanan kayın odunu kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%).....	59
Tablo 17. 180 °C’de, 120 dak. süreyle ısıl işlem uygulanan kavak kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%)	59
Tablo 18. Su alma değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)	60
Tablo 19. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odunlarına ait TG değerleri (%)	60
Tablo 20. Teğetsel genişleme değerlerine ilişkin ÇVA ve duncan testi sonuçları (İYA)...	61
Tablo 21. Teğetsel genişleme değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)...	61
Tablo 22. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odunlarına ait ortalama GET değerleri (%)	62
Tablo 23. GET değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA).....	63
Tablo 24. GET değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)	63
Tablo 25. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm ²)	64

Tablo 26. Eğilme direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA).....	64
Tablo 27. Eğilme direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)	65
Tablo 28. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerine ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm ²)	66
Tablo 29. Liflere paralel basınç direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)	66
Tablo 30. Liflere paralel basınç direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)	67
Tablo 31. Isıl işlem uygulanmış test örnekleri ile kontrol örneklerinin vida tutma direnci değerleri (kp)	68
Tablo 32. Vida tutma direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA) ..	68
Tablo 33. Vida tutma direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA) ...	69
Tablo 34. Isıl işlem uygulanmış odun örneklerinde mantar çürüklük testine ait ağırlık kaybı değerleri	70
Tablo 35. Çürüme sonrasındaki ağırlık kaybı değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)	70
Tablo 36. Çürüme sonrasındaki ağırlık kaybı değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)	71
Tablo 37. Metal örneklerde meydana gelen ağırlık kaybı değerleri (gr/m ²).....	72
Tablo 38. Korozyon değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)	72
Tablo 39. Korozyon değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)	73
Tablo 40. Metal örneklerinde oluşan korozyon derinliği (µm).....	73
Tablo 41. Korozyon derinliği değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)	74
Tablo 42. Korozyon derinliği değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA) ...	74
Tablo 43. İğne yapraklı ağaçlara ait pH değerleri.....	75
Tablo 44. Yapraklı ağaçlara ait pH değerleri	75
Tablo 45. Isıl işlem sonrasında odunda kalan bor miktarı	76

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ağaç malzeme, doğada en fazla bulunan ve diğer yapı malzemelerine göre oldukça üstün özelliklere sahip bir materyaldir. Düşük yoğunluğa, düşük ısı iletimine, yüksek mekanik dayanıma, kolay işlenebilirliğe ve iyi bir estetik görünüme sahip, yenilenebilir bir malzeme olmakla beraber dış ortamda bulunan UV ışınları, rutubet (yağmur, kar, nem, çiy), mekanik etkiler (rüzgar, kir), sıcaklık ve atmosferik faktörler (O₂, SO₂, kirletici gazlar) sonucu yıkıma uğrayabilmektedir.

Günümüzde ağaç malzemeye olan talebin artması, buna karşın ormanların hızlıca yok edilmesi nedeni ile ağaç malzemenin verimli ve uzun süreli kullanımını çok büyük önem kazanmaktadır. Odunun kullanım yerinde ömrünün artırılması için birçok yöntem kullanılmaktadır. Odunun empenyesi ve odun modifikasyonu bunların en önemlilerindedir. Bu yöntemler sayesinde odunun olumsuz özellikleri en aza indirgenmekte ve olumlu özellikleri daha da iyileştirilmektedir.

Odun modifikasyon yöntemleri ağaç malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısında önemli değişikliklere neden olmaktadır. Fiziksel etkili odun modifikasyon yöntemlerinde, genellikle odun hücre boşluklarının ve diğer kapılar boşlukların inorganik veya organik maddelerle doldurulması ve bir meteryal olarak takviye edilmesi amaçlanmaktadır. Kimyasal yönden etkili odun modifikasyon yöntemlerinde ise, hücre çeperi bileşenleri ile reaksiyona giren ve böylece odunun kimyasal kompozisyonunu değiştiren kimyasal maddeler kullanılmakta, odunun kimyasal yapısının değiştirilmesi ile sakıncalı özelliklerinin azaltılması yoluna gidilmektedir (Yıldız, 2002).

Ülkemizde ve dünyada çevre kirliliği gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Odun modifikasyonunda kullanılan kimyasal maddelerin çevre kirliliğine neden olmaması, ve uygulama kolaylığı odun modifikasyonlarının önemini arttırmıştır. Fakat çoğu kez odun modifikasyon yöntemleri yüksek bir maliyeti de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle odun modifikasyonunda tek bir muamele ile odunun birçok özelliğinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Odun modifikasyon yöntemlerinden birisi olarak değerlendirilen ısı işlemi; odunun kimyasal yapısında bazı değişikliklere neden olmaktadır. Isıl işlem; yüksek sıcaklarda

(100- 250 °C) ve farklı ortamlarda (normal atmosfer, azot gazı, herhangi bir inert gaz) odunun belli bir süre bekletilmesi olarak tanımlanmaktadır. Isıl işlem özel işlem teçhizatları, teknik kurutma gerektirmemekte ve bu yöntem ile diğer yöntemlerde kullanılan kimyasal maddelerin çevreye verebileceği zarar önlenmektedir.

Ağaç malzemenin uzun ömürlü olarak kullanılmasında etkili olan yöntemlerinden bir diğeri de emprenye işlemidir. Her ne kadar doğal dayanımı yüksek olan ağaç türleri kullanım yerlerinde uzun yıllar bozunmadan kalsalar da doğal dayanıklılığı düşük olan ağaç türlerinin kullanım süresinin arttırılabilmesi için emprenye edilmeleri gerekmektedir. Ağaç malzemenin emprenyesinde birçok kimyasal madde kullanılmaktadır. Bu kimyasal maddelerinin en önemlilerinden birisi ise borlu bileşiklerdir. Günümüzde emprenye maddesi olarak kullanılan borlu bileşikler en güvenli kimyasallardan biri olarak kabul edilmekte, insan ve çevreye olan etkisi minimum düzeylerde kaldığından kullanımı gittikçe önem kazanmaktadır. Borlu bileşikler sadece mantar ve termit gibi zararlılara karşı değil, aynı zamanda yanmaya karşı direncinden dolayı da 1930'lu yıllardan itibaren kullanılmaktadır (Lloyd, 1998; Kartal ve Imamura, 2004).

Tez kapsamında, Türkiye'de endüstriyel olarak kullanılan önemli bazı iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinde tek başına ısıl işlemin performans özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, çalışmada hem çevre dostu bir koruma metodu olarak ısıl işlemin hem de Türkiye koşullarında ulaşılması kolay ve nispeten ucuz olan borlu bileşiklerin oluşturduğu sinerjinin alternatif bir koruma metodu olarak değerlendirilme imkanları irdelenmiştir. Buhar ortamında uygulanan ısıl işlemin bor kaybına yol açıp açmadığı konusu da incelenmiştir.

1.2. Odun Modifikasyonu

1.2.1. Odun Modifikasyon Yöntemleri

Geleneksel emprenye maddelerini kullanmadan odunun dayanımını ve performansını arttıran modifikasyon yöntemleri dört başlıkta tanımlanabilir. Bunlar;

- a. Kimyasal,
- b. Fiziksel,
- c. Enzimatik Modifikasyon,
- d. Termal Modifikasyondur.

1.2.1.1. Kimyasal Modifikasyon

Kimyasal modifikasyon, kimyasal madde ile hücre çeper bileşenleri arasında katalizörlü ya da katalizörsüz bir kovalent bağın oluştuğu kimyasal reaksiyonu ifade etmekte ve odunda, boyutsal stabilite, biyolojik dayanım ile akustik özellikleri arttırmayı, denge rutubet miktarını azaltmayı, dış hava koşullarına karşı dayanımı iyileştirmeyi hedeflemektedir. Modifikasyon yöntemlerinin etkinliği büyük ölçüde reaksiyon süresi, pH, katalizör, sıcaklık, solvent gibi reaksiyon parametrelerinin çeşitliliğine odun türlerinin farklı kimyasal ve anatomik yapılar sergilemesine ve hatta tek bir ağacın farklı bölgeleri arasındaki anatomik farklılıklara göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu olumlu özelliklerin yanı sıra kimyasal modifikasyon yönteme bağlı olmak üzere, odunda çekme dayanımı ve elastikiyet azalmasına da neden olabilmektedir (Hill, 2006; Tomak ve Yıldız, 2010).

Kimyasal modifikasyonda hidroksil grupları çok büyük bir rol oynamaktadır. Odunun modifikasyonunda birçok kimyasal madde ve yöntem denenmiştir. Temel modifikasyon tipleri şunlardır (Dizman, 2005).

1. Eter formu oluşturan yöntemler (metillendirme, alkil klorürler, β -propiyolakton, akrilonitril ve epoksitler),
2. Asetal formu oluşturan yöntemler (formaldehit ile muamele, diğer aldehyitler-asetaldehit, benzaldehit, dialdehit, triklorasetalhedid, gluteraldehit ve fitaldehitik asit-glikosal),
3. Ester formu ya da üretan bağları oluşturan yöntemler (asetillendirme, ftalilasyon, diğer anhidritler, asit klorürler, karboksilik asitler, izosiyanatlar),
4. Oligoesterleşme (2 ya da daha fazla reaksiyonun birleşmesi) (maleik anhidrit ve epiklorhidrin (MA-ECH) ftalik anhidrit ve epiklorhidrin (FA-ECH)),
5. Kimyasal oksidasyon ve sililasyon (sodyum peroksit ve periodik asitle muamele, propiltrimetoksilan, g-metakriloksi -propiltrimetoksilan).

1.2.1.2. Fiziksel Modifikasyon

Fiziksel modifikasyon yönteminde, kullanılan kimyasal maddeler ve odun hücre çeperi bileşenlerinin kendi arasında herhangi bir kimyasal reaksiyonu söz konusu değildir. Bu kimyasal maddeler, odunun hücresel ve kapiler boşluklarına yerleşir. Bu yöntemlerin

ağırlıklı amacı, mekanik direnç özelliklerini iyileştirmekten çok odun-su etkileşimini azaltmaya yöneliktir.

Fiziksel modifikasyon yöntemleri genel olarak 3 grup altında toplanabilir; (Dizman, 2005).

1. Su itici yöntemler
2. Hücre çeperinin genişletilmesini (bulking) sağlayan yöntemler
3. Odun Polimer Kompozitleri (OPK)

1.2.1.3. Enzimatik Modifikasyon

Enzimatik modifikasyonda ise, lakkaz enzimi ile fenolik bileşiklerin oksidasyonu yoluyla lignoselülozik liflerin bağ yapması sağlanır. Enzim yöntemini kullanarak levha ve panellerin sentetik yapıştırılması hem ekonomik hem de çevresel avantajlara sahiptir. Lakkaz ile muamele edilen liflerden üretilen liflevhaların iyi bir mekanik özellik sergilediği belirlenmiştir (Tomak ve Yıldız, 2010).

1.2.1.4. Termal Modifikasyon

1.2.1.4.1. Isıl İşlem

Isıl işlem bir termal modifikasyon yöntemi olarak ele alındığında, odunun 100-250 °C sıcaklıkları arasında normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi olarak anlaşılmaktadır.

Odunun ısıl işleme tabi tutulması 3 amaca yönelik olarak uygulanmaktadır (Yıldız, 2002).

1. Odunun rutubet alışverişini azaltmak, yani oduna boyut stabilizasyonu kazandırmak
2. Odun tahrip edici organizmalara karşı odunun biyolojik direncini arttırmak
3. Odunda denge rutubeti miktarını düşürmek, permabiliteyi arttırmaktır. Ayrıca üst yüzey işlemlerinin performansını yükseltmek de mümkündür.

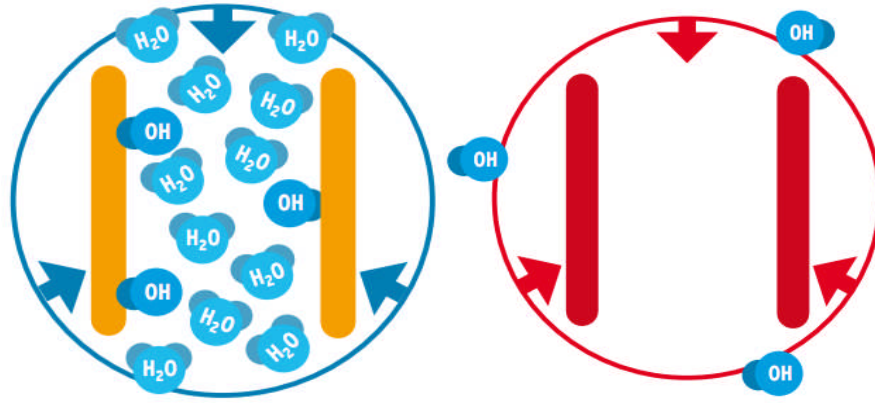
Isıl işlem teknolojileri hızlı büyüyen ve dayanıklılığı düşük iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinin kalitesini yükseltmek için ekonomik olarak cazip bir seçenek sunar. 2007

yılı itibariyle Avusturya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Almanya, Hollanda ve İsviçre ülkelerinde 130 800 m³ ısıtma işlemi uygulanmış kereste üretimi yapılmıştır (Michiel, 2008).

Çok değişik kullanım alanına sahip odun hammaddesi, kurutma, kâğıt hamuru üretimi, yonga levha ve lif levha üretiminde yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Isıtma işlemi muamelesinde birçok değişken bulunmaktadır. Bunlar; ısıtma işlem sıcaklığı ve süresi, ısıtma işlem atmosferi, odun türü, malzeme boyutları, rutubet miktarı vb. olarak sıralanabilir. Bu etkilerin en önemlisi ısıtma işlem sıcaklığıdır (Yıldız, 2002; Hill, 2006). Isıtma işlemi geniş aralıklarda uygulanmaktadır. Isıtma işlem sıcaklık alt sınırı olarak 100 °C olarak kabul edilmektedir. Odunun bozunması ise bu sıcaklıkta başlamaktadır. Sıcaklık arttıkça yapısal hasar da artmaktadır. 200 °C üzerinde odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve gaz fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise odunun pirolizi ve yanma olayı başlamaktadır. Odunun gaz haline gelmesi için ise 500 °C üzerinde sıcaklık gerekmektedir (Fengel ve Wegener, 1989).

1.2.1.4.1.1. Isıtma İşleminin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi

Isıtma işlemi odunun su adsorpsiyonunu önemli derecede azaltır. Odun bileşenlerinde bulunan serbest hidroksil grupları su adsorpsiyon ve desorpsiyonunda önemli rol oynamakta ve hücre duvarlarına bağlı olan OH grupları H₂O'yu sürekli olarak ahşap içerisine çekmektedir. Isıtma işlemi ile odunda bulunan serbest hidroksil grupları önemli ölçüde azalma göstermekte ve su itici (hidrofobik) O-acetyl grupları artmaktadır. Bunun nedeni hücre çeperi içerisindeki en higroskopik polimerlerin yer aldığı hemiselülozların ısıtma işlemiyle bozundurulması ve suyla reaksiyona girebilecek serbest hidroksil gruplarının azalmasıdır (Şekil 1). Bir diğer neden ise, su moleküllerinin kolay erişim gösteremediği selülozun kristalimsi bölgelerinin nispi orandaki artışı ve ligninin çapraz bağlanma reaksiyonu göstermesidir. Bu bağlar serbest hidroksil gruplarının H⁺ iyonlarına erişimini engellemektedir. Odunda bulunan bağlı su odunun direnç özelliklerinin önemli ölçüde etkilemektedir. Bağlı su miktarının artması, hücre çeperinin organik polimerleri arasındaki hidrojen bağımlı azaltır veya engeller. Isıtma işlemi uygulanmış odunlarda bağlı su oranının azalması ve daha az higroskopik olması direnç özellikleri üzerine pozitif etki yapmaktadır (Yıldız, 2002; Hinterstoisser vd., 2003; Hill, 2006; URL-1, 2011).



Şekil 1. Isıl işlemin ahşap üzerinde meydana getirdiği fiziksel değişim

Yapılan bazı çalışmalarda artan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak, ağırlık kayıplarında artış tespit edilmiştir. 120 °C ve 200 °C’de 24 saat boyunca ısıtılma tabi tutulan ladin (*Picea abies*) odununda yapılan ısıtılma sonucu meydana gelen ağırlık kaybı 120 °C’de %0,8 iken 200 °C’de %15,5 olmuştur. Kayın (*Fagus sylvatica*) odununda ise %8,1 ile %9,8 oranında bir ağırlık kaybı olmuştur (Fengel ve Wegener, 1989).

4, 6 ve 8 saat süre ile 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıkta sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu ısıtılma tabi tutulmuştur. Buna göre; ısıtılma sıcaklığı ve uygulama süresi arttıkça, ağırlık kaybının da arttığı ve en yüksek ağırlık kaybının %6,05 en düşük ağırlık kaybının %1.22 olarak sırasıyla 190 °C’de 8 saat ve 150 °C’de 4 saatlik varyasyonlarda meydana geldiği gözlenmiştir (Özçifçi ve Altun, 2009).

MacLean (1951), su, buhar ve hava ortamlarında yaptığı ısıtılma sonrasında, yapraklı ağaçlarda meydana gelen ağırlık kaybının iğne yapraklı ağaçlara oranla daha fazla olduğunu açıklamıştır. Su ve buhar ortamında yapraklı ağaçlarda meydana gelen ağırlık kaybının hızlı bir şekilde arttığını ve tüm ısıtılma sıcaklıklarında yapraklı ağaçların iğne yapraklı ağaçlara oranla daha duyarlı olduğu sonucu çıkartılmıştır. Fakat kuru ortamda yapılan ısıtılma işleminde ise iğne yapraklı ağaçların daha duyarlı olduğu ortaya konmuştur.

130, 150, 180, 200 °C sıcaklıkta 2, 6, 10 saat süre ile ısıtılma tabi tutulan kayın ve ladin odun örneklerinin özgül ağırlık değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; 130 °C’de 2 saat süre ile ısıtılma tabi tutulan kayın ve ladin odunu test örneklerinde özgül ağırlık değerlerinin kontrole oranla çok küçük miktarda (%2.25 - %1.73) arttığı gözlenmiştir. Her iki ağaç türüne ait en fazla azalma oranı 200 °C’de 10 saatlik

uygulamada gerçekleşmiştir. Kayın odununda özgül ağırlık azalma oranı %18,4 iken ladin odununda bu oran %10,5 olarak bulunmuştur (Yıldız, 2002).

220, 240, 250 °C'de nitrojen ortamı altında yapılan ısıtma işlemi, ısıtma işlem koşullarından bağımsız olarak, odundaki karbon içeriğinin artmasına bağlı olarak ağırlık kaybının da arttığını ortaya konmuştur. Odunda karbon içeriğinin artışı ısıtma işlem sıcaklığının artışına paralel olarak artış göstermektedir (Sustersic vd., 2010).

Odun su adsorpsiyonu ve desorpsiyonu nedeniyle genişleme ve daralmaya uğramaktadır. Bundan başka, su adsorpsiyonundaki azalma odunun tüm daralma ve genişlemesini azalttığından odunun boyutsal stabilitesi de artmaktadır. Genelde ısıtma işlemi uygulanan odun düşük daralma ve genişleme değerleri ile oldukça hidrofobiktir. Odunun higroskopisitesi sıcaklık ve süre gibi ısıtma işlem şartlarından etkilenmektedir. Özellikle ısıtma işlem sıcaklığı çok etkili bir parametre olmaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2002).

180 °C'de 2, 4, 6, 8 ve 12 saat süre ile yapılan ısıtma işlemi sonrasında ısıtma işlem sıcaklığının ve süresinin artışına bağlı olarak su adsorpsiyonu azalır ve boyutsal kararlılığın arttığı gözlenmiştir. Ayrıca; ısıtma işlemi sonrasında örneklerin teğet, radyal ve boyuna yönde genişleme oranlarında da yaklaşık olarak %50 oranında düşüş gözlenmiştir (Gündüz ve Aydemir, 2008).

Populus nigra ile 180, 200, 220 °C'de 4, 5 ve 6 saat süre ile yapılan ısıtma işlemi sonunda tüm varyasyonların fiziksel özelliklerinde bir iyileşme gözlenmiştir. Fiziksel özelliklerin ısıtma işlem sıcaklığı ile bağlantılı olduğu fakat ısıtma işlem süresinin fiziksel özellikleri etkilemediği ortaya konmuştur. 220 °C'de 6 saat ısıtma işlemi tabii tutulan örneklerin 48 saat yıkanma işlemine tabii tutulması sonunda, kontrol örneklerinde su adsorpsiyon değeri %117,98 iken, ısıtma işlemli örneklerde %25,4 olarak kaydedilmiştir. Kontrol örneklerindeki radyal, teğet ve hacimsel genişleme değerleri sırasıyla %4.39, 8.99, 12.95 iken ısıtma işlemli örneklerde bu oranlar %2,99, 6,98, 9,8 olarak gerçekleşmiştir (Bazyar vd., 2010).

Uygulanan ısıtma işlem süresi, sıcaklığı ve tekniğine paralel olarak odun renginde fark edilir bir koyulaşma meydana gelmektedir. Fakat literatürde ısıtma işlem uygulaması süresince odundaki renk değişimlerinin kimyasal sebepleri tam olarak tanımlanamamıştır. Ancak bu konuda yapılan çalışmalarda renk değişimlerinin ana sebepleri olarak hemiselüloz, lignin ve bazı ekstraktif maddelerin bozunması gösterilmiştir. ısıtma işlem uygulamasında sıcaklık ve süre uzadıkça ahşabın renk koyuluğu artmaktadır (Yıldız, 2002; Korkut ve Kocaefe, 2002; Nuopponen, 2005; Yaşar, 2009).

Odunda meydana gelen renk değişikliği ağaç türüne göre değişiklik göstermektedir. Yapraklı ağaçlardaki değişim 60 °C’de, iğne yapraklı ağaçlardaki ise 90 °C’de başlamakta ve sıcaklık arttıkça renk koyulaşmaktadır (Yıldız, 2002).

Yapılan başka bir çalışmada ısı işlem sıcaklığının artışına paralel olarak odun renginde koyulaşma olduğu gözlenmiştir. Çam, ladin ve kavak odunlarının kullanıldığı çalışmada, ısı işlem sıcaklığının artışına paralel olarak çam odununda meydana gelen koyulaşmanın ladin ve kavak odunlarından daha fazla olduğu bulunmuştur (Sidorova, 2008)

Stamm ve Hansen (1937), odunun boyutsal stabilizasyonunun sadece kimyasal maddelerin kullanılması ile değil, tek başına ısı işlem uygulaması ile de sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu yaklaşımlar sonucunda yüksek sıcaklıkta kurutma işlemleri ile higroskopisitenin ve ağaç malzemedeki süre gelen genişleme ve daralma etkisinin azaldığı görülmüştür (Teiemann, 1920).

1.2.1.4.1.2. Isıl İşlemin Mekanik ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlemin birçok olumlu özelliği yanında olumsuz özellikleri de mevcuttur. Isıl işlem sıcaklığına ve süresine bağlı olarak odun direnç özelliklerinde düşüşler meydana gelebilmektedir. Bu düşüşler, odun hammaddesinde meydana gelen madde kaybı ile açıklanmaktadır (Rusche, 1973).

Odun örneklerinde boyuna yönde basınç direncinin düşük olması kristalimsi selülozun katı ve rijit yapısından kaynaklanmaktadır. Selülozun bu özelliğinden dolayı radyal ve teğet yönlerdeki basınç direnci değerleri düşmektedir. Isıl işlem sonrasında odunda meydana gelen radyal çatlaklar radyal basınç direncinin azalmasına neden olmaktadır. Eğilme direncinde meydana gelen kayıplar, ısı işlem süresince lignin ve selülozun bozunması veya depolimerizasyonundan değil, hemiselülozun modifikasyonun ve/veya bozunmasından kaynaklanmaktadır. Isıl işlem süresinin ve sıcaklığının artışına bağlı olarak eğilme direnci değerleri azalmaktadır. Odun bileşenlerinden olan hemiselüloz ısıya karşı en hassas hücre çeperi bileşenidir. LeVan vd. (1990), yaptıkları çalışmada ısı işlem sırasında hemiselülozun yan zincirlerinin kırılması ile birlikte yük paylaşım kapasitesinin bozulduğunu tespit etmişler ve direnç kayıplarından bu durumun sorumlu tutulabileceğini bildirmişlerdir (Korkut ve Kocaefe, 2002).

Isıl işlem sonrasında odun karbonhidratlarında ve hemiselülozda meydana gelen kayıplar odunun mekanik özelliklerinin düşmesine neden olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, ısıl işlem sonrası meydana gelen hemiselüloz kaybı ile eğilme direnci kaybı arasında doğrudan bir ilişki bulunduğu ortaya konmuştur (Kartal, 2006; Talei vd., 2010).

Odun ısıtıldığı zaman direnç ve sertlik özellikleri azalmakta, soğutulduğu zaman artmaktadır. Odunun kısa süreli ısıtılması ve soğutulmasında odun tekrar eski haline dönebilmektedir. Direnç ve sertlik özelliklerindeki dönüşümsüz azalmalar odun hammaddesinin uzun süreli sıcaklığa tabi tutulması sonucu meydana gelmektedir. Isıl işlem süresinin ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak odundaki ağırlık kayıpları da artmaktadır. Bu durum termal bozunma olarak adlandırılır ve termal bozunmada en çok etkilenen özellikler ise şok ve eğilme direnci olurken, en az etkilenen özellikler ise elastikiyet modülü ve ağırlık kaybıdır (Yıldız, 2002; Yıldız vd., 2006; Yıldız vd., 2010).

Uludağ Göknarı (*Abies bormülleriana* Mattf.) odununun direnç değerleri üzerine yapılan bir çalışmada; 180 °C'de 10 saat ısıl işlem uygulanmasıyla basınç direnci değerinde ortalama olarak %29,41; eğilme direncinde %29,28; eğilmede elastikiyet modülünde %40,08; enine kesit janka sertliğinde %22,43; radyal kesit janka sertliğinde %23,27; teğet kesit janka sertliğinde %16,19; dinamik eğilme direncinde %39,24 ve liflere dik çekme direncinde % 28,14'lük bir azalma tespit etmiştir (Korkut, 2008).

Korkut vd. (2008), okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odunu üzerine yaptıkları bir çalışmada 180 °C'de 10 saat ısıl işlem uygulamasıyla eğilme direnci değerinde %21.68, eğilmede elastiliyet modülünde %33.46, liflere paralel basınç direncinde %21.04, liflere dik çekme direncinde %13.07, dinamik eğilme direncinde %5.37, yanılma direnci değerinde ise %33.33 oranında bir azalma kaydetmişlerdir (Korkut vd., 2008).

Atmosfer basıncı altında 200 °C'de 6 saat süre ile ısıl işleme maruz bırakılan ladin odun örneklerinin basınç direnci değerlerinde, muamele edilmeyen örneklere nazaran %36 oranında bir azamla tespit edilmiştir (Yıldız vd., 2006).

150-200 °C sıcaklıklarda 1, 3, 5, 10 ve 20 saat süreyle ısıl işlem uygulanan *Chamaecyparis obtusa* ve *Fagus crenata* örneklerindeki şok direnci değerleri, 150 °C'de 5 saat, 200 °C'de 1 saat ve 200 °C'de 5 saatlik uygulamalardan sonra, ısıl işleme tabi tutulmamış odun örneklerine göre % 50 azalmıştır. 200 °C'de 5 saatlik ısıl işlem uygulanması sonunda eğilme direnci değerleri kontrol örneklerine nazaran % 50 oranında azalma göstermiştir (Kitahara ve Chugenji, 1951).

Atmosfer basıncı altında dört farklı sıcaklık (130, 150, 180, 200 °C) ve üç farklı süre (2, 6, 10 saat) uygulanarak yapılan bir çalışmada ısıl işlemin, kayın odunu elastikiyet modülü üzerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; 130 °C’de 2 saat süre ile yapılan ısıl işlemde kontrol örneklerine oranla eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde küçük bir artışın olduğu, fakat aynı sıcaklıkta 6 saat ve 10 saat süre ile yapılan ısıl işlemde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin kontrol gruplarına oranla %3 ve %14 arasında azalma gösterdiği gözlenmiştir. 150 °C de 2, 6, ve 10 saat süreyle yapılan ısıl işlemde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri sırasıyla %23, %31, ve %26 oranında azalmıştır. En fazla azalma 6 saatte olmuştur. En şaşırtıcı sonuç ise 200 °C’de 10 saat süre ile uygulanan ısıl işlemde elde edilmiştir. Test örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde kontrol örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerine oranla bir artış elde edilmiştir (Yıldız vd., 2002).

Isıl işlemin odun lifleri üzerine olan etkisinin araştırıldığı çalışmada, yüksek işlem sıcaklığının (200- 260 °C) eğilmede elastikiyet modülü ve statik eğilme dayanımı değerlerini %20 oranında azalttığı gözlenmiştir. Fakat Boonstra vd. (2007), eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direncinin artış gösterdiğini açıklamıştır (Goroyias ve Hale, 2002).

Atmosfer basıncı altında 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarında 2, 6, ve 10 saat süre ile ısıl işleme tabi tutulduktan sonra 3 yıl boyunca dış hava koşullarına maruz bırakılan adi kızılgağaç (*Alnus glutinosa L.*) odunu örneklerinin statik eğilme dayanımı değerlerinde kontrole oranla % 50 ’ye varan miktarda düşüşler gözlenmiştir (Yıldız vd., 2010).

İnert gaz ortamında yapılan ısıl işlem sonucunda 100- 200 °C arasında ladin odununun statik eğilme dayanımı değerleri önemli ölçüde azalma göstermiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise statik eğilme dayanımına oranla ısıl işlemde daha az etkilenmişlerdir. Statik eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri ısıl işlem koşullarının değişmesiyle artış veya azalış göstermektedir (Kocaeve vd., 2008).

200 °C- 160 °C sıcaklıklarda ve 2 saat süre ile ısıl işlem uygulanan Sitka ladini (*Picea sitchensis*) örneğindeki statik eğilme dayanımı ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri araştırılmıştır. 200 °C de eğilmede elastikiyet modülü ve statik eğilme dayanımı değerlerinin sırası ile %7.2, %31.3 oranında azaldığı, 160 °C’de ise eğilmede elastikiyet modülü ve statik eğilme dayanımı değerlerinin sırası ile %6.8, %2 oranında arttığı gözlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde 160 °C ve 200 °C sonrasında

önemli bir farklılık gözlenmez iken, statik eğilme dayanımı değerlerinde 200 °C den sonra ciddi oranda düşüşler gözlenmiştir (Awoyemi vd., 2008).

100- 300 °C'de su buharı ortamında ve aynı sıcaklıklarda hava ortamında ısı işleme maruz bırakılan *Quercus suber* odunu basınç direncinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. 300 °C'de su buharı ortamında işlem gören örneklerde basınç direncinin kontrol örneklerine nazaran dikkate değer oranda azalması hücre çeperi bileşenlerinin termal bozunmasıyla izah edilmiştir. Aynı sıcaklıkta hava ortamında muamele edilen örneklerde, su buharı ortamında işlem gören örneklere nazaran dirençte hafif bir artış olduğu görülmüştür (Rozsa ve Fortes, 1989).

Genç odun yüksek oranda hemiselüloz ve lignin içermektedir. Bu sebepten dolayı genç odun ve olgun odun birbirinden farklı davranışlar gösterir. Ayrıca hemiselülozun bileşimi özden dışarıya doğru ilk 20 yıllık halkada galaktoz, ksiloz ve arobinoz içeriği azalırken mannoz içeriğinin artması nedeniyle değişmektedir. Hemiselüloz içeriğinin farklı olmasından dolayı ısı işlem sonrasında genç odun ve olgun odun farklı özellikler gösterir. Genç odundaki daha büyük mikrofibril açısı daha fazla boyuna daralma ve daha az enine daralmaya sebebiyet verdiği için, ısı işlem uygulaması sırasında odun tamamen kurutulduğunda odunda direnç özelliklerini etkileyen iç gerilmeler meydana gelmektedir (Hill, 2006).

Isıl işlem etkisiyle çam öz odunu ve diri odununda meydana gelen kütle ve eğilmede elastikiyet modülü kaybı ladin öz ve diri odununda meydana gelen kayıptan daha fazladır. Ladin öz ve diri odununda meydana gelen kayıplar arasında belirgin farklılık olmadığı tespit edilmiştir (Viitanen ve Kortelainen, 2010).

Stamm (1964), yılında yaptığı çalışmada ısı işlem uygulaması sonucu makaslama direncindeki azalmayı orta lamelin %20'sini oluşturan polyozların furfural polimerlerine kısmı olarak dönüşmesine bağlamıştır,

Termo-plastik yapıya sahip olması nedeniyle ısı işlem sonrasında odunun direnç özelliklerinde düşüşler gözlenmektedir. Hemiselüloz (127-235 °C), selüloz (231-253 °C) ve lignin (167-217 °C) belli sıcaklık dereceleri üzerinde plastik bir yapıya dönüşmektedir (Korkut ve Kocaefe, 2002).

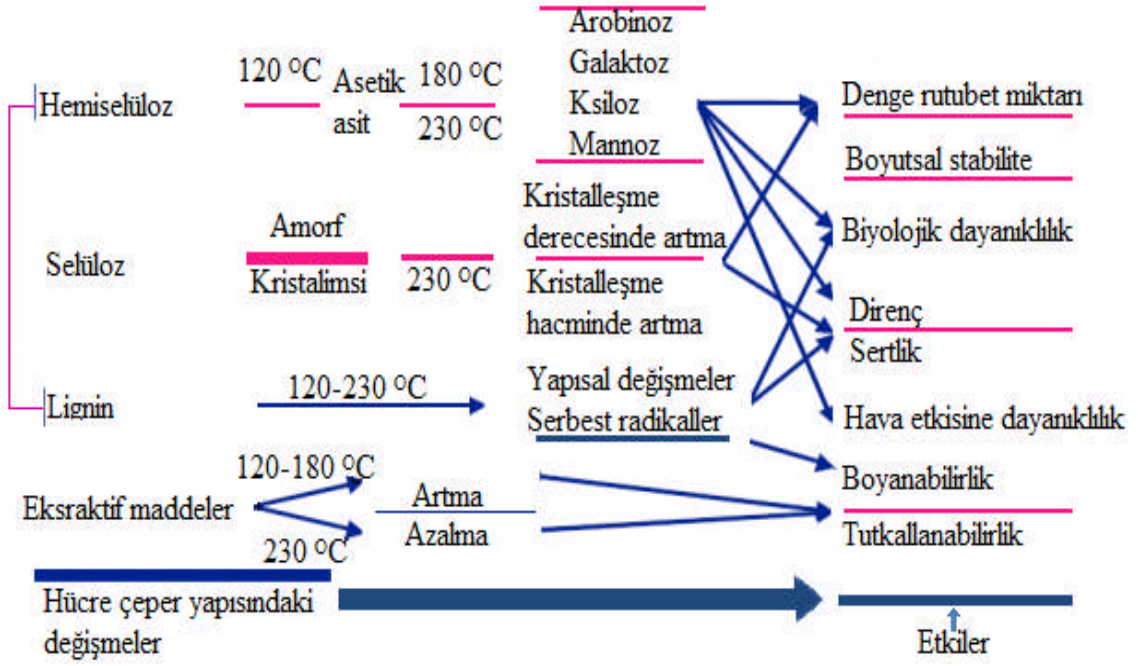
1.2.1.4.1.3. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Odun düşük moleküllü bileşiklerden polimerik bileşiklere kadar kompleks bir yapıya sahiptir. Isıl işlem uygulaması süresince odunun fiziksel ve mekanik yapısında meydana gelen sayısız değişimleri anlamak için odunun kimyasal bileşimini, yapısını oluşturan ana bileşenlerin temel karakteristiklerini ve fiziksel özelliklerini çok iyi bilmek gerekmektedir. Odunun termal bozunmasıyla odunda farklı birçok kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Fakat bu reaksiyonların sadece belli bir kısmı açıklanabilmektedir.

100 °C üzerindeki sıcaklıklarda moleküller arasındaki ve moleküllerin kendi içlerindeki bağlar kopmaya başlamakta ve kopan bağların oranı sıcaklık arttıkça artış göstermektedir. 100- 200 °C arasında karbondioksit, su buharı ve organik madde kalıntıları gibi yanmayan yan ürünler oluşmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda selülozun parçalanmasıyla yanabilen yan ürünler oluşmaktadır. 450 °C'nin üzerinde buharlaşabilen ürünler serbest kalmaktadır (Kotilainen, 2000; Yıldız, 2002).

İğne yapraklı ağaçlarda alfa- selüloz miktarı daha yüksek oranda kalıntı lignin ve hemiselüloz içermektedir. Alfa- selüloz miktarındaki azalma 100 °C'de başlamakta, saf selüloz 150 °C'ye kadar kalabilmektedir. Lignin miktarı geniş bir sıcaklık aralığında sabit kalmakta, 140 °C- 150 °C üzerindeki sıcaklıklarda artmaktadır (Yıldız, 2002).

Isıl işlemin odun bileşenleri üzerine olan etkisi ve bu etki sonucunda odunda meydana gelen kimyasal değişimler şekil 2'de gösterilmiştir. Meydana gelen bu kimyasal değişimler sonucunda odunun kullanımını esansında hangi özelliğinin etkilendiği de şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 2. Isıl işlem uygulanmış odunun reaksiyon mekanizması (Korkut ve Kocaefe, 2002).

Isıl işlem sıcaklığı ve süresi hemiselüloz bozunmasını etkileyen en önemli faktörlerden iki tanesidir. Süre ve sıcaklıktaki artmaya bağlı olarak galaktoz ve arabinoz gibi yan zincir bileşenleri ayrılır ve yan zincirlerin bozunmasından sonra mannoz, glikoz ve ksiloz gibi ana bileşenlerin bozunması gerçekleşir. Pentoz ve heksozlar sırasıyla furfural ($C_5H_4O_2$) ve hidroksimetilfurfural ($C_6H_6O_3$)'a dehidrate olur. Bundan başka hemiselülozun asetil yan zincirlerinden asetik asit ayrılır ve odunun asetil ($COCH_3$) içeriği azalır. Hemiselülozun daha az higroskopik olan furfural polimerlerine hidrolize olması boyutsal stabiliteyi arttırmakta ve denge rutubet miktarını azaltmaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2002).

Odunun yapısında bulunan üç ana bileşenden hemiselüloz, pirolitik şartlar altında en az kararlılık gösterendir. Hemiselüloz ve selüloz arasındaki termal stabilitedeki değişkenlik moleküler seviyedeki kimyasal ve morfolojik yapılarıdaki farklılıklara atfedilebilir. Hemiselülozun düşük termal stabilitesinin ana nedeni, dallanmış yan zincirlerin; hidrolize ve diğer ataklara karşı hassas olan amorf yapısının varlığıdır (Ertaş, 2010).

Kayın ve ladin odunları ile yapılan çalışmada; kayın odunu kontrol örneklerinde ortalama hemiselüloz oranının %24,66 olduğu, önemli azalmaların 180 °C'de 2 saat süreli varyasyondan başladığı, 180 °C'de 6 ve 10 saatlik varyasyonlarda da devam ettiği ve 200 °C'de 10 saatlik varyasyonda bu azalmanın %1,71'e düştüğü belirtilmektedir. Ladin odun

kontrol örneklerinde ise hemiselüloz oranı %21,43 iken her bir sıcaklık varyasyonunda sürenin artışına paralel olarak hemiselüloz içeriğinin azaldığı, 200 °C’de 10 saat süreli varyasyonda hemiselüloz içeriğinin %1,99 olarak elde edildiği kaydedilmiştir (Yıldız, 2002).

Selüloz hidrolizi hemiselüloz hidrolizine oranla daha yüksek sıcaklıklarda olmaktadır. Selülozun amorf bölgeleri termal degradasyon daha duyarlıdır ve bu yapılar muhtemelen hemiselülozun heksoz bileşenleri ile aynı özellik göstermektedir. Selülozun büyük bir kısmını (%60) kristalimsi yapı oluşturmaktadır. Selüloz kristal yapısının degradasyonu 300- 400 °C’de gerçekleşmektedir. Bu da selüloz zincirlerine yüksek bir stabilite katmakta ve onları hidroliz (molekülün bir su molekülü ilavesiyle iki parçaya ayrılması) süresince asit saldırısına karşı korumaktadır (Hill, 2006).

Selülozun kristal yapısı 200 °C’ye kadar değişmemektedir. Termal olarak muamele edilmiş ladin odununda, alkaliye mukavemet gösteren selülozun kristalliği, daha kısa zincirli moleküllerin tercihen daha önce bozunması yüzünden 200 °C’ye kadar artmaktadır. 160 °C’ye kadar çeşitli sıcaklıklarda ısıtılan pamuğun %10’luk H₂SO₄ ile hidrolizi sırasındaki davranışlarından selülozdaki amorf bölgelerin sıcaklık derecesinin ve süresinin artmasıyla arttığı sonucuna varılmıştır. 200 °C’de gergin yumuşak liflerin yumuşaması, selülozun kristalleşmesinde bir büyüme ve kristallik derecesinde bir artış başlatmaktadır. 120- 160 °C’lere kadar termal olarak muamele edilmiş selülozun kristalleşmesindeki artışın ardından bir azalmanın meydana geldiği gözlenmiştir (Yıldız, 2002).

Pinus densiflora odunu ile yapılan çalışmada 210 °C’ye kadar yapılan ısıtılı işlemler odunlar X ışınının kırımında herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır. Daha yüksek sıcaklıklarda, selülozun sağlam yapısı yıkılmakta ve yaklaşık 270 °C’de tamamen amorf duruma geçmektedir. 240 °C’de selülozun kristal yapısı, kristal yapının polimerizasyon derecesi 2 saat içinde 200’ün altına, 8 saat içerisinde 100’ün altına indiği için bozunmaktadır (Fengel ve Wegener, 1989).

130, 150, 180, 200 °C sıcaklıklarda ve 2, 6, 10 saat sürelerde ısıtılı işlem uygulanan kayın ve ladin odunu örneklerinin selüloz değerlerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde, kayın odunu test örneklerinin ortalama selüloz değerleri hemen hemen her varyasyonda birbirine benzer oranda bulunmuştur. Kayın kontrol örneklerinde ortalama selüloz değerleri %54,2 iken, test örneklerinde ortalama selüloz değerleri %53,5 ile %56,1 arasında değişmiştir. Ladin odununda da kayın odununa benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kontrol örneklerine ait ortalama selüloz değeri %54,1 iken sıcaklık ve sürenin en yüksek

uygulandığı varyasyonda (200 °C ve 10 saat) kontrole oranla küçük bir azalma gözlenmiştir (%50,4). %53,54 ile %57,52 arasında değişen ve süre artışı ile doğrudan bir ilişkisi bulunmayan kayın ve ladin odunu test örneklerinin ortalama selüloz değerleri kontrole karşılaştırıldığında (% 54), mevcut sıcaklık ve süre varyasyonlarının (130, 150, 180, 200 °C ve 2, 6, 10 saat) selüloz üzerine herhangi bir yıkımlayıcı etkide bulunmadığı gözlenmiştir (Yıldız, 2002).

Odun bileşenleri içerisinde ısıya en dayanıklı bileşen lignindir. Sıcaklık 200 °C'yi aştığı zaman lignin kütlelerinde bir azalma meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda ligninin metoksi içeriği azalır ve yoğunlaşmamış ünitelerinden bazıları difenilmetan tipi ünitelere dönüşür. Isıl işlem süresi boyunca lignin ile hemiselüloz arasındaki kovalent bağlar kırılır ve düşük molekül ağırlığında lignin parçacıkları oluşur (Gündüz ve Aydemir, 2008).

Ligninin eter zinciri piroliz suresince daha kolay kopar. 200 °C 'den 250 °C 'ye kadar CO₂ ve diğer bileşikler ligninden ayrılır, 250 °C'den 400 °C'ye kadar polimerleşme eğilimli fenolik ve nötral yağlar üretilir ve ligninin ısı bozunması yaklaşık 270 °C'de ekzotermik (ısı veren) olur (Kocafe vd., 2008).

Kotilainen vd. (2000) tarafından yapılan, ısıl işlemin *Pinus sylvestris* ve *Picea abies* odunlarının kimyasal yapıları üzerine olan etkisinin FTIR yöntemi ile incelendiği çalışmada lignin içeriğinde bulunan karbonil gruplarında artış gözlemlendiği sonucuna varılmıştır. *Fagus sylvatica* ve *Pinus sylvestris* odunları ile yapılan başka bir çalışmada da bu artışların sadece ligninden kaynaklandığı açıklanmıştır (Kotilainen vd., 2000; Tjeerdsma ve Militz, 2005).

Yapılan bir çalışmada 200 °C'de 4 saat süre ile odun tozlarının yüksek ısıya tabi tutulması sonucu lignin oranı %28 den %84'e yükseliş göstermiştir. Lignin oranının artması hemiselüloz ve çok az oranda da selülozun azalmasına bağlıdır. Isıl işleme maruz bırakılan ladin, göknar ve kavak odunlarının lignin içeriği kontrol odunlarına oranla artış göstermiştir (Dirol ve Guyonnet, 1993; Yıldız, 2002).

Lignin, termal olarak odun bileşenlerinin en kararlısı olarak görülmesine rağmen, 200 °C'nin altında bile yapısında birtakım değişiklikler söz konusu olmaktadır. Isıl işleme tabi tutulan odunların (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*) lignin miktarlarının belirlenmesinde, sıcaklığın 200 °C'ye kadar yükseltilmesiyle birlikte hidrolize edilmeyen kalıntı miktarında bir artış meydana geldiği görülmüştür. 180 ve 200 °C'de 24 saat

boyunca ısıtılma işlemine tabi tutulan ladin odununda metoksil miktarının azalmasına karşın etanol ürünleri miktarında bir artış görülmüştür (Yıldız, 2002).

100 °C sıcaklıkta 28 gün süre ile ısıtılma işlemine maruz bırakılan kayın (*Fagus sylvatica*) odununda lignin miktarının azaldığı, 160 °C'de asitte çözülme-yen lignin miktarının %1'den az olduğu görülmüştür. Kayın odunundan ayrıştırılan ligninin termogravimetrik analizleri sonucunda, 100 °C 'nin başlangıcında lignin miktarının hafif azaldığı ve 400 °C'de de ağırlığının yaklaşık %15'ini kaybettiği gözlenmiştir (Fengel ve Wegener, 1989).

Değişik sıcaklıklarda ısıtılma işlemine maruz bırakılan ladin odunundan izole edilen lignin, ultraviyole spekturumunda 150 °C'de başlayan bir değişim göstermiştir (Fengel ve Wegener, 1989).

130, 150, 180, 200 °C sıcaklıklarda 2, 6, 10 saat süreyle ısıtılma işlemine tabi tutulan kayın ve ladin odun örneklerinin lignin içeriği üzerine yapılan bir çalışmada; özellikle 180 °C'de 6 saat süreli varyasyondan sonra, sıcaklık ve süreye bağlı olarak artan lignin oranı dikkat çekici bulunmuştur. Kayın odunu test örneklerinde lignin oranı %42,02'ye kadar, ladin odununda ise %39,40'a kadar yükseldiği varyasyon 200 °C'de 10 saat süreli varyasyon olmuştur. Her iki ağaç türünün kontrol örneklerine ait ortalama lignin oranları kayın için %22,25; ladin için ise %24,37 olarak tespit edilmiştir. Ladin odunu test örneklerine ait ortalama lignin değerleri tüm varyasyonlarda kontrole oranla yüksek bulunmuştur (Yıldız, 2002).

Fagus crenata türünün buhar basıncı altında 183 °C'den 230 °C 'ye kadar değişen sıcaklıklarda ısıtılma işlemine tabi tutulmasının lignin üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu ve ligninde meydana gelen bu yıkımlanmaların ısıtılma işlem sıcaklığına ve süresine bağlı olduğu bildirilmiştir (Hill, 2006).

Meşe odunu yongalarının 165 °C gibi düşük sıcaklıkta ısıtılma işlemine tabi tutulması sonrası, meşe odununda bulunan guayasil ünitelerinin bozunduğu, fakat şiringil ünitelerinin ise çok az etkilendiği belirtilmiştir. Isıtılma işlem boyunca meşe odununda şiringil/guayasil oranının artması sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermiştir (Sarni vd., 1990).

260 °C'de 0.5, 1 ve 4 saat süre ile yapılan ısıtılma işlemi ile *Pinus pinaster* odununun lignin içeriği; 0.5 saat ısıtılma işlem sonrasında %28'den %41'e, 1 saat ısıtılma işlem sonrasında %54'e ve 4 saatlik ısıtılma işlem sonrasında %84'e yükselmiştir (Bourgois ve Guyonnet, 1988).

1.2.1.4.1.4. Isıl İşlemin Biyolojik Özellikler Üzerine Etkisi

Yapılan çalışmalar, ısı işlem uygulamasının tahrip edici mikroorganizmalara karşı odunun biyolojik dayanımı arttırdığı gözlenmiştir. Bunun en önemli üç nedeni; odun bünyesinde doğal olarak var olan suyun kaybolması, mevcut hidroksil gruplarının azalması ve bu grupların çürüklüğe hassas olmayan gruplarla yer değiştirmesidir. Böylece enzimatik karakterli bir saldırı normal odundaki kadar hızlı meydana gelmemektedir (Stamm, 1956; Yıldız, 2002).

Esmer çürüklük mantarları ile yapılan çalışmada 6 haftanın sonunda çam öz odunu biyolojik dayanıklılığının, çam diri odununa ve ladin odununa oranla daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. 210- 230 °C sıcaklıkları arasında yapılan ısı işlem, çam öz ve diri odununun esmer çürüklüğe karşı olan dayanımını olumlu yönde geliştirmiştir. Ladin öz ve diri odunu arasında önemli bir farklılık yoktur. Isıl işlem çam ve ladin örneklerinde esmer çürüklüğe karşı olan direnci arttırmaktadır (Viitanen ve Kortelainen, 2010).

180 °C'ye kadar yapılan ısı işlem sıcaklıkları ile odunun fiziksel özelliklerden olan genişleme ve daralma özellikleri iyileştirilse de, çürüklüğe karşı dayanım sağlamak mümkün değildir. Yapılan çalışmalar, odun örneklerinin çürüklüğe karşı dayanımını arttırmak için en az 230 °C'de 3-4 saat süre ile ısı işleme tabi tutulmaları gerektiğini göstermektedir (Schmidt, 2006; URL-2, 2010).

Isıl işlem boyunca çeşitli fenolik bileşikler, phenantrene ($C_{14}H_{10}$) ve acenaphtylene ($C_{12}H_8$)'nin polinükleer hidrokarbon türevleri ve poliaromatik bileşiklerin diğer türleri üretilmektedir. Isıl işlem sonrası elde edilen bu zehirli bileşikler odunda mantar gelişimini yavaşlatmakta veya önlemektedir. Ancak bazı araştırmacılar ekstraksiyon yoluyla bu zehirli bileşiklerin uzaklaştırılmasının mantar çürümesini etkilemediği ve çürüme direnci üzerine zehirli bileşiklerin katkısının sınırlı olduğunu ifade etmişlerdir (Korkut ve Kocaefe, 2002).

Rapp ve Sailer (2000), ısı işlemin ve yağla emprenye işleminin deniz canlıları üzerine olan etkisinin araştırdıkları çalışmada, 1 yılın sonunda hem ısı işlemlenmiş örneklerin hem de yağla emprenye edilmiş örneklerin deniz canlılarına karşı bir direnç göstermediklerini ortaya koymuşlardır (Fojutowski vd., 2009).

Yapılan başka bir çalışmada, *Pinus sylvestris* ve *Betula verrucosa* odunu örnekleri 195 °C'de 4 saat süre ile ısı işleme tabi tutulmuşlardır. Isıl işlem sonrasında odun örnekleri *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına maruz bırakılmıştır. Elde edilen

sonuçlara göre ısıtıl işlemli örneklerin mantar saldırısına karşı koyamadıkları fakat mantar gelişimini yavaşlattıkları görülmüştür (Fojutowski vd., 2009)

Isıl işlem ve emprenyenin kombine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Eucalyptus globulus* odun örneklerin sıcak yağ ile emprenye işlemi sonrasında ısıtıl işleme tabi tutulmuşlardır. Kullanılan odun türlerinden bağımsız olarak tek başına ısıtıl işlemin *Reticulitermes grassei* termitine karşı zehirlilik etkisi göstermediği, fakat sıcak yağ ile emprenye edilmiş ve ardından ısıtıl işleme tabi tutulmuş sarıçam örneklerinin *Reticulitermes grassei* termitine karşı bir dayanıklılık sergilediği gözlenmiştir (Nunes vd.,2006).

200- 260 °C’de yapılan ısıtıl işlemin çürümeye hassas kavak, ladin ve göknar üzerine olan etkisi araştırıldığında, kısa süreli periyotlarda ve oksijen ortamının az olduğu ortamda mikroorganizmaların gelişiminin olmadığı gözlenmiştir (Dinol ve Guyonnet, 1993).

180- 220 °C sıcaklıkları arasında bitkisel kökenli sıcak yağ ile ısıtıl işlem uygulaması (Oil Heat Treatment) sonrasında, *Coniophora puteana* mantarı ile aşılınmış ladin ve çam odunu örneklerinin 19 hafta sonunda ağırlık kayıpları incelenmiştir. Buna göre, ladin odunu kontrol örneklerindeki ağırlık kaybı %48, çam odunu örneklerindeki ağırlık kaybı %40 iken, sıcak hava ortamında ısıtıl işlem görmüş test örneklerindeki ağırlık kaybı %11, ladin odunu test örneklerindeki ağırlık kaybı %5,5, sıcak yağ ile ısıtıl işlem sonrası (200 °C) ağırlık kaybı ise %2’den daha az bulunmuştur (Militz, 2002).

Kamdem vd. (2002) tarafından French Retification metodu kullanılarak birkaç küf mantarları üzerine yapılan çalışmada, *G. trabeum* mantarında ağırlık kaybı kontrol örneklerinde %19 iken test örneklerinde %2, *Poria placenta* mantarında ağırlık kaybı kontrol örneklerinde %20 iken test örneklerinde %8, *I. Lacteus* mantarında ağırlık kaybı kontrol örneklerinde %13 iken test örneklerinde %6, *C. Globosum* mantarında ağırlık kaybı kontrol örneklerinde %8 iken test örneklerinde %4 olarak bulunmuştur (Kamdem vd., 2002).

100, 150, 200 °C’de 20, 40, 60 dakika süre ile hurma yağı kullanılarak ısıtıl işleme tabi tutulan *Gigantochloa scortechinii* bambu türünün *Coriolus versicolor* mantarı kullanılarak biyolojik dayanıklılığı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; ısıtıl işlem sıcaklığının ve süresinin artışına paralel olarak bambu türünde meydana gelen ağırlık kaybında azalma gözlenmiştir. 200 °C ve 60 dakika en iyi varyasyon olarak tespit edilmiştir (Norashikin vd., 2010).

Çam ve kayın odunları ile yapılan termal ve termal-oil modifikasyonu sonucu test örneklerinde küf mantarlarına karşı bir direnç elde edilememiştir. Fakat küf mantarlarının odun yüzeylerindeki gelişim yoğunluğu kontrole oranla azalış göstermiştir. Termal ve termal-oil modifikasyonlu odunlar küf mantarlarına karşı bir direnç gösteremez iken *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına karşı bir direnç göstermişlerdir (Fojutowski vd., 2009).

1.2.1.4.1.5. Isıl İşlemin Anatomik Özellikler Üzerine Etkisi

Odun anatomik yapısında meydana gelen değişmelerin incelendiği çalışmada; 130, 150, 180, 200 °C ve 2, 10 saatlik varyasyonlarda yapılan ısıl işlem sonucunda kayın odununun anatomik özellikler üzerine kritik sıcaklık ve süre değerlerinin 150 °C - 2 saat olduğu belirlenmiştir. Isıl işleme tabi tutulan odunun, radyal yönünde bulunan gözeneklerin çapları kontrol örneklerine oranla bir artış göstermiştir. Ancak bu artış 150 °C'de 2 saatlik varyasyon dışında diğer varyasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. 150 °C'de 2 saatlik uygulamada gözenek çapı maksimum seviyeye ulaşmıştır (82.05µm). Teğet yönde bulunan gözeneklerin çapında ise maksimum artış 130 °C'de 10 saatte ve 150 °C'de 2 saatte elde edilmiştir (67,88 µm, 74.40µm). Isıl işlem kayın odununun lif uzunluğunda da artışa neden olmuştur. 130 °C'de 2 saatlik varyasyon dışında diğer varyasyonlarda lif uzunluğunda bir artış gözlenmiştir. Lif uzunluğu 150 °C'de 2 saatte maksimum seviyeye ulaşmıştır (Yıldız vd., 2004).

Yapılan çalışmada ısıl işleme tabi tutulan kayın (*Fagus grandifolia* ve *Fagus sylvatica*) odunlarında, trahe kenarlarında yer alan siğilli tabakanın yumuşayıp gözden kaybolduğu gözlenmiştir. Isıl işlem sonrasında ladin odununda kenarlı geçitlerin toruslarında biriken amorf kalıntıların yumuşayıp akışkan hale geldiği görülmüştür. 180 ve 200 °C sıcaklıklarda torusun etanol- benzende çözülebildiği ve ekstraksiyon sonrasında torusun selüloz zarlarının boş bir paket gibi kaldığı gözlenmiştir (Yıldız, 2002).

Hidrotermal muamaleye maruz bırakılan kayın (*Fagus sylvatica*) ve huş (*Betula pubescens*) odunlarının 120 ve 160 °C'de bile S1 ve S2 tabakalarının çözülüp gevşediği görülmüştür (Fengel ve Wegener, 1989).

Isıl işleme maruz bırakılan odun örneklerinin soğutulmasından sonra, bileşik orta lamelde yer alan amorf bileşiklerin plastikliğinin, sıcaklık 60 °C'ye ulaşınca kadar aynı

kaldığı, bu sıcaklıktan sonra bileşiklerin tekrar pekiştiği bildirilmiştir (Fengel ve Wegener, 1989).

1.3. Geçmişten Günümüze Isıl İşlem Teknolojisi

Yüzyıllar öncesinden bu yana insanoğlu ahşabı günümüze kadar çeşitli ihtiyaçlarında kullanmak üzere birçok işleme tabi tutmuştur. Doğal kurutma, teknik kurutma, ısıtma, yakma, yağlama gibi metotlar ahşabın iyileştirmesi için günümüze kadar uygulanagelen yöntemlerden bazılarıdır. Ahşabın termal modifikasyonu 1930'larda ABD'de White tarafından bilimsel olarak çalışılmıştır. 1950'lerde Alman Bavendam, Runkel ve Buro konuyu araştırmaya devam etmişler, Kollman ve Schinder 1960'larda Rusche ve Burnester 1970'lerde bulgularını yayınlamışlardır. 1990'lara gelindiğinde Fransa, Finlandiya ve Hollanda'da araştırmalar pratiğe dökülmüş en yoğun ve geniş kapsamlı araştırma ise Finlandiya'da Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi tarafından yürütülmüştür.

Isıl işlem teknolojisi üzerine yapılan çalışmalar ısıl işlemin ticari olarak gelişmesine neden olmuştur. Sıcak yağ ile ısıl işlem (OHT) yöntemi Almanya'da, Staypak ve Staybwood yöntemi Amerika'da, Thermowood Finlandiya'da, Plato prosesi Hollanda'da, Retification ve Bois prosesi Fransa'da geliştirilmiştir (Anand, 2000; Rapp, 2000).

Hollanda'da geliştirilmiş olan Plato prosesi ısıl işlem tekniği, 2000 yılında üretime geçmiştir. Plato prosesi prensip olarak iki ılıman kurutma işleminden ibarettir. 160- 190 °C sıcaklıkları arasında artan basınç altında taze ya da hava kurusu haldeki odunun muamelesi söz konusudur. Muamele edilmiş odunu daha düşük rutubet derecelerine kadar kurutmak için geleneksel kurutma yöntemi uygulanmaktadır. Prosesin ikinci aşamasında odun, 170-190 °C sıcaklıklar arasında tekrar ısıl işleme maruz bırakılmaktadır (Rapp, 2001).

Plato teknolojisi genel olarak beş aşamadan oluşmaktadır (Michiel, 2008).

- Ön Kurutma aşaması: Hidro termoliz aşaması için kerestelerin rutubeti çok fazla ise keresteler geleneksel endüstriyel kurutma fırınlarında kurutulur.
- Hidro termoliz aşaması: Keresteler sulu ortamda süper atmosferik basınç altında 150 -180 °C kadar ısıtılır
- Kurutma Aşaması: Geleneksel kurutma yöntemlerine göre kerestelerin kurutulması gerçekleştirilmektedir.

- Curing stage: Keresteler tekrar 150 °C- 190 °C'ye kadar ısıtılmaktadır, fakat bu işlem atmosfer koşulları altında kuru ortamda gerçekleştirilmektedir.
- Kondisyonlama: Kerestelerin nem içeriği üretim için gerekli olan seviyeye yükseltilir. Kurutma işlemi geleneksel odun kurutma fırınlarında yapılmaktadır.

Fransa'da üretim yapan Retification prosesinde, hava kurusu halde bulunan oduna, içerisinde %2'den daha az miktarda oksijen bulunan nitrojen atmosferi altında, 210- 240 °C sıcaklıkları arasında bir ısıl işlem uygulanmaktadır. Fransa'da bulunan diğer bir ısıl işlem yöntemi ise Le Bois Perdure prosesidir. Bu yöntemde odun taze halde bulunmaktadır. Yöntemde ilk olarak odun teknik kurutmaya tabi tutulmaktadır. Daha sonra odun, kendi rutubetinden üretilen buhar atmosferi altında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. 2001 yılı itibari ile üretim yaklaşık olarak 10 000 m³'tür. Metreküp fiyatı yaklaşık olarak 150- 160 Euro'dur (Yıldız, 2002; Hill, 2006; Michiel, 2008).

Almanya'da geliştirilmiş olan sıcak yağ prosesi, proses tankının odun hammaddesiyle doldurulduktan sonra tank içerisine sıcak yağ gönderilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Yağın kullanım amacı ısı transferini gerçekleştirmektir. Sıcak yağ odun hammaddesi etrafında yüksek sıcaklık etkisi altında sirküle ettirilmektedir. Proses tankı boşaltılmadan önce sıcak yağ, yağ deposuna geri çekilmektedir. Yıllık üretim kapasitesi yaklaşık olarak 2 900 m³'tür. Metreküp fiyatı ise 60- 90 Euro'dur (Yıldız, 2002; Hill, 2006; Schmidt, 2006).

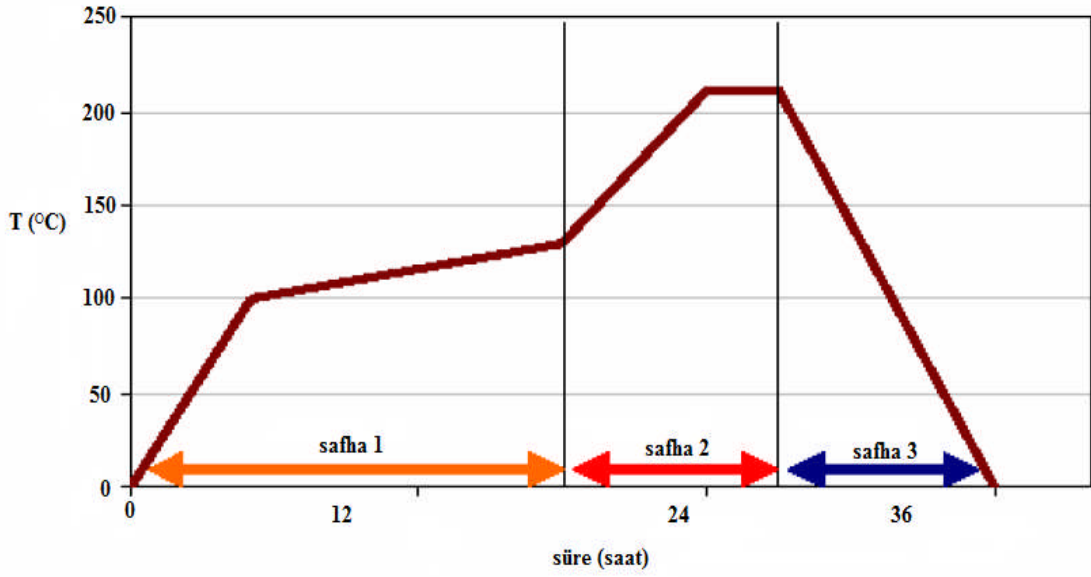
Isıl işlem uygulamasının ticarileşmesine neden olan temel etkenlerden birisi, iyi bir biyolojik dayanıma ihtiyaç duyan yüksek sıcaklık uygulamasının, geniş hacimli üretimler için çok karışık bir sistem gerektirmesindedir. Eğer koruyucu bir gaz kullanımı söz konusu değilse odunun yanma problemi mevcuttur. Bu yanma dış kısımlarda gözle görülmesi bile sıcaklık etkisi sürdükçe odunun iç kısımlardaki yanması devam etmektedir (Militz, 2002).

1990 yılından bu yana ısıl işlem üzerine yapılan kapsamlı araştırmalar Thermo wood'un ticarileşmesine sebep olmuştur. Endüstriyel ölçekte ısıl işlem süreci ve Thermo wood ticari ismi, Finlandiya endüstrisinin Finlandiya araştırma merkezi (VTT) ile yaptığı ortak çalışmalar sayesinde gerçekleşmiştir.

Thermo wood süreci üç ana aşamaya ayrılmaktadır (Şekil 3):

- Safha 1: Yüksek Isıda Kurutma: Isı ve su buharı kullanılarak fırın sıcaklığı hızlı bir şekilde 100 °C'ye çıkarılır. Sonra, ısı 130 °C'ye yükseltilir. Bu süre içerisinde ağaç kurutulur ve nem sıfıra indirilir.

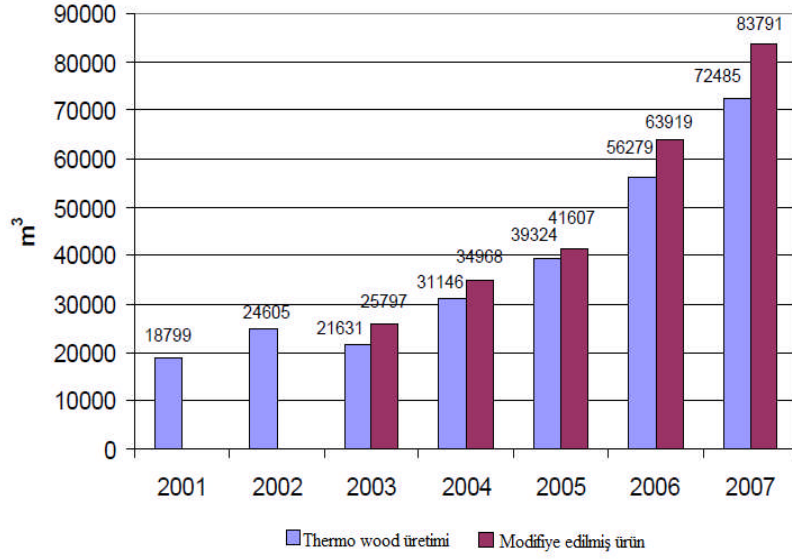
- Safha 2: Thermowood Safhası: Ahşabın içindeki sıcaklık 185 °C – 230 °C'ye çıkarılır. Hedef sıcaklığa ulaşıldığında, 2- 3 saat süre ile bu sıcaklıkta sabit tutulur.
- Safha 3: Soğutma ve Nemlendirme: Son bölümde, su spreyi sistemi kullanılarak ahşabın ısısı 50- 60 °C'ye düşürülür ve ahşabın nemi %4–6'ya ulaşınca kadar işleme devam edilir.



Şekil 3. Isıl işlem üretim safhaları

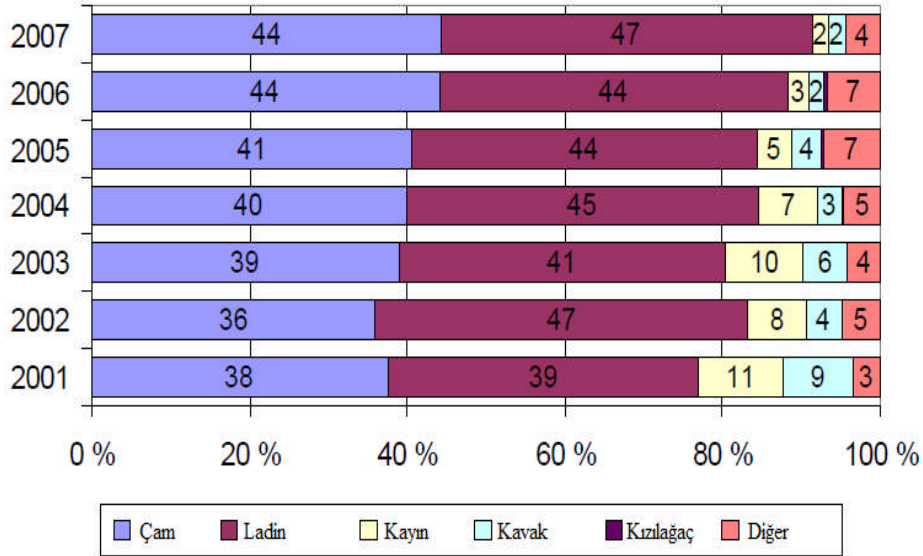
Isının kontrollü bir şekilde artırılması veya azaltılması, dış ve iç yüzey çatlamalarını önlemek için gerekmektedir. Bu işlem ağaç türlerine ve ebatlarına göre değişiklik gösterebilmektedir (Militz, 2002; URL-3, 2010).

Isıl işlem teknolojileri hızlı büyüyen ve dayanıklılığı düşük iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinin kalitesini yükseltmek için ekonomik olarak cazip bir seçenek sunmaktadır. Bu olumlu özellikleri nedeniyle son yıllarda ısıl işlem uygulanmış kereste üretiminde önemli artışlar gözlenmiştir. Thermo wood yöntemi ile üretim, en çok uygulanan ısıl işlem yöntemidir. Şekil 4'de görüldüğü gibi 2003 yılı itibari ile 21631 m³ olan Thermo wood üretimi 2007 yılında 72485 m³'e yükselmiştir. Toplam modifiye edilmiş ürün oranı ise 83791 m³ tür.



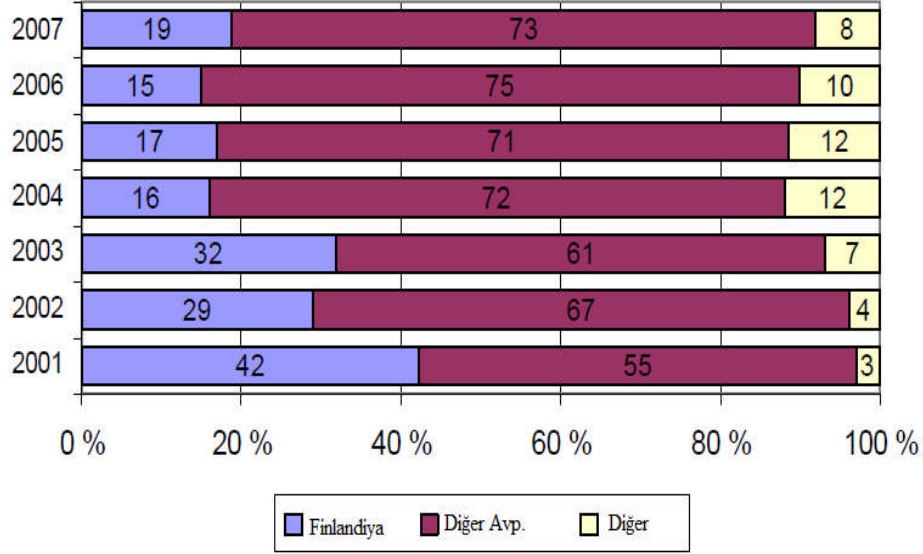
Şekil 4. Thermowood üretim miktarı (Jukka, 2008).

Isıl işlem üretiminde birçok ağaç türü kullanılmaktadır. Kullanılan ağaçlar genellikle düşük veya orta derece dayanıklı ağaç türleridir. Thermo wood üretiminde kullanılan önemli ağaç türleri; Çam, ladin, huş, kavak, dişbudak, karaçam, kızılğaç, kayın, meşedir. Şekil 5’de görüldüğü gibi 2001-2007 yılları arasında en fazla üretim ladin türünden yapılmış, bunu çam türü izlemiştir.



Şekil 5. Thermowood üretimi için kullanılan ağaç türleri (Jukka, 2008).

Araştırma merkezleri ile ortak çalışmalar yürüten ısıtma işlemi üzerine önemli atılımlar yapmış ve pazar payının önemli bir kısmına sahip olmuştur. Finlandiya’da ısıtma işlemi uygulanmış Thermo wood üretimi 2001 yılında toplam üretimin %42’sini oluşturmuştur (Şekil 6). Fakat 2007 yılında bu oran diğer Avrupa ülkelerinin de ısıtma işlemi üzerine yoğunlaşmaları sebebiyle %19’a gerilemiştir (Jukka, 2008).



Şekil 6. Thermowood pazar alanı (Jukka, 2008).

1.4. Emprenye İşlemi

Ahşabın olumsuz şartlara karşı dayanıklılığını artırabilmek ve hammadde kaynaklarının tükenmesini önlemek için emprenye işlemi; dünyanın geleceği düşünüldüğünde ekolojik ve ekonomik açıdan en uygun alternatiflerden biri olarak görülmektedir.

Emprenye, çeşitli yöntemlerle değişik kimyasal maddelerin ahşabın bünyesine emdirilmesi işlemidir. Emprenye işleminin uygulanabilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Emprenye maddesinin azami derinliğe işlemesi işlem tankında vakum-basınç metodu ile daha etkili ve daha ekonomik olmaktadır. Bu yöntemle ahşabın düşmanları olan toprak, su, tuzlu su, her türlü nemli ortam, mantar, böcek ve termit saldırılarının olumsuz etkileri yok edilir. Emprenye işlemi sayesinde ahşabın hizmet ömrü en az on kat artmaktadır. Örneğin, doğal halde 5 yılda çürüyen bir elektrik direği,

emprenye işlemi gördükten sonra açık hava şartlarında ve toprakla temas halinde bile, boya dâhil hiçbir bakım gerektirmeden 50 yıla kadar dayanım gösterebilmektedir (URL-4, 2011).



Şekil 7. Emprenye işlemi aşamaları

Şekil 7’de görüldüğü gibi suda çözünen emprenye maddeleri söz konusu olduğunda genellikle uygulanan dolu hücre yöntemine göre emprenye işlemi üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; ön vakum, basınç ve son vakum aşamasıdır. Emprenye işlemi veya bir diğer adıyla ön koruma işlemi görecek ahşap malzemenin mümkün olduğu kadar son kullanma ölçülerine getirilmiş olması gerekmektedir. Bunun nedeni ise, emprenye işleminden sonra yapılacak her işlem sonunda emprenyesiz kısımların açığa çıkmasıdır.

1.4.1. Bor, Dünyada ve Türkiyedeki Bor Madeninın Dağılım Alanları, Borlu Bileşikler ve Kullanım Alanları

B simgesiyle gösterilen bor, periyodik tabloda metalle ametal arası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir. Atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81, ergime noktası 2300 °C ve kaynama noktası 2550 °C, yoğunluğu 2,84 gr/cm³ tür (Bayar, 2010). Doğada değişik oranlarda bor oksit (B₂O₃) ve 150 ‘den fazla mineralin yapısı içinde yer alan bor doğada serbest olarak bulunmamaktadır. Bor mineralleri magnezyum, sodyum ve kalsiyum elementleri ile hidrat bileşikler halinde bulunmaktadır (URL-5, 2010). Ticari değere sahip olan bor mineralleri Tablo 1’de gösterilmektedir (URL-6, 2010).

Tablo 1. Ticari öneme sahip bor mineralleri

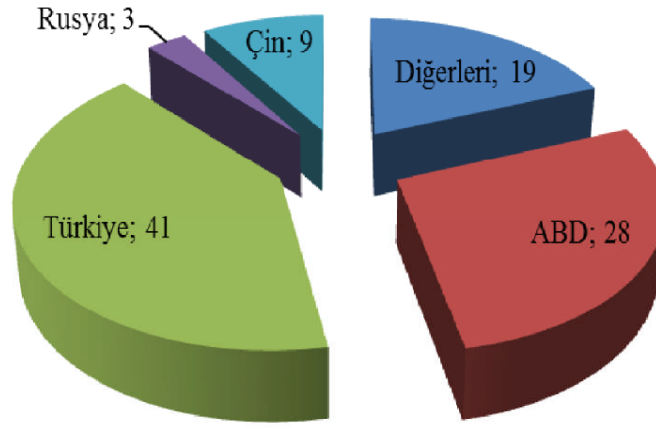
Yapı	Mineral adı	Kimyasal formül	B ₂ O ₃ içeriği (%)
Sodyum borat	Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5
	Tinkalkonit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	48.8
	Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51.0
Kalsiyum borat	Kolemanit	Ca ₄ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8
	İnyoit	Ca ₄ B ₆ O ₁₁ .13H ₂ O	37.6
	Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49.8
Sodyum-kalsiyum borat	Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0
	Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6
Magnezyum borat	Aşarit	Mg ₂ B ₂ O ₅ .H ₂ O	41.4
	İnderit	Mg ₂ B ₆ O ₁₁ .15H ₂ O	37.3
	Pinnoit	MgB ₂ O ₄ .3H ₂ O	42.5
Magnezyum-kalsiyum borat	Hidroborasit	CaMgB ₆ O ₁₁ .6H ₂ O	50.5
Borosilikat	Datolit	Ca ₂ B ₂ Si ₂ O ₉ .H ₂ O	21.8
Magnezyum-demir borat	Ludvigit	Mg ₂ FeBO ₅	17.8
Magnezyum klorür çifte tuzu	Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2
Hidrojen borat	Sassolit	H ₃ BO ₃	56.4

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya'da olup ticari bor rezervleri üç bölgede toplanmaktadır. Tablo 2'de dünya bor rezervi dağılımları gösterilmektedir (URL- 7, 2011).

Tablo 2. Dünya bor rezervi dağılımı

Ülkeler	Toplam Rezerv (Bin ton B ₂ O ₃)	Dağılım (%)
Türkiye	864.500	71
ABD	80.000	7
Rusya	100.000	8
Çin	47.000	4
Arjantin	9.000	1
Bolivya	19.000	2
Şili	41.000	3
Peru	22.000	2
Kazakistan	-	-
Sırbistan	16.200	1
İran	1.000	0
Toplam	1.199.700	100

Bor üretimi 2010 yılında yaklaşık olarak 1,89 milyon ton B_2O_3 civarında gerçekleşmiştir. Bor oksit üretim bazında Avrupa (Türkiye) %39,6 pay ile birinci sırada yer alırken, bunu Kuzey Amerika (ABD) %30,1; Güney Amerika (Şili, Arjantin, Peru ve Bolivya) %17,7 ve %12,6 payla Asya (Rusya, Çin, Hindistan) takip etmiştir. Bütüt bazda dünya bor üretiminin ülkeler bazında dağılımı şekil 8’de verilmektedir (URL-7, 2011). Dünyanın en büyük bor üreticileri Türkiye (Eti Bor A.Ş.) ve ABD (Rio Tinto Boraks)’dır (Bayar, 2010).



Şekil 8. Dünya bor üretiminin 2010 yılında ülkeler bazında dağılımı (%)

Türkiye ‘de bilinen bor yatakları Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Busra ve Emet/Kütahya’da bulunmaktadır. Ülkemizde en çok bulunan bor cevherleri tinkal ($Na_2O_2 \cdot B_2O_3 \cdot 10H_2O$) ve kolemanit ($2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$)’dır. Mineral bazında rezerv miktarları Tablo 3 ‘te verilmektedir (URL-7, 2011).

Tablo 3. Eti maden mineral bazında rezerv miktarları

Cevher	Toplam (Milyon ton)	Pay (%)
Kolemanit	2.257	74
Üleksit	47	2
Tinkal	739	24
Toplam	3.043	100

Bor bileşikleri çeşitli alanlarda kullanılabilir. Kullanım alanları ve üretim teknolojileri bakımından bor bileşiklerini iki grupta incelenebilir.

1. Yaygın kullanım alanlarına ve üretimine sahip bor mineralleri ve ticari boratlar.
2. Kısıtlı miktarda üretimi yapılan ve özel tüketim alanına sahip bor ürünleri.

Bor ve bileşiklerinin sanayide çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Türkiye'nin büyük ölçüde ham veya yarı işlenmiş olarak ihraç ettiği, ülke içinde sabun, deterjan ve cam sanayilerinde kullandığı bor, ABD 'nde uzay mekiklerinden, savaş uçaklarına ileri teknoloji isteyen pek çok alanda kullanılmaktadır. Bor ve bileşikleri; cam, porselen ve seramik eşya sanayiinde, yanmaz eşya yapımında (itfaiye giysileri, elektrik kabloları, fren balataları, atom reaktörleri, vb. sistemlerde soğutucu veya ısınmayı geciktirici, yüksek enerjili yağ), cam yünü, tekstil kimyasalları, deri giysileri, fotoğraf kimyasalları, mobilya ve benzeri ahşap eşyayı koruyan sıvılar, yapay gübre katkı maddesi, kağıt sanayi ürünleri, yapıştırıcılar, böcek öldürücüler, krem, pudra ve deodorant gibi kozmetikler, diş macunu, merhem, deri ve göz hastalıkları antiseptikleri gibi ilaçların üretiminde kullanılmaktadır (URL-8, 2011).

Bor elementi ve boratların insanlara ve memeli canlılara karşı zehirli olmadıkları bilindiğinden işlenmeleri sırasında özel bir koruma işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak bazı bor –hidrojen bileşikleri zehirlilik etkisi göstermektedir. Çevreye göre bor konsantrasyonu değişiklik gösterebilir. Toprakta 10-20 ppm, okyanus suyunda 4,6 ppm ve musluk suyunda yaklaşık olarak 0,01-1,5 ppm bor konsantrasyonu bulunmaktadır. Günde ortalama olarak 20 mg bor yiyecekler ile insana geçmektedir ve sağlık açısından vücuda iyi geldiği belirtilmiştir (Lloyd, 1998; Ahmed, 2000).

1.4.2. Borlu Bileşiklerin Emprenye Endüstrisinde Kullanımı

Günümüzde emprenye maddesi olarak kullanılan borlu bileşikler en güvenli kimyasallardan biri olarak kabul edilmekte, insan ve çevreye olan etkisi minimum düzeylerde kaldığından kullanımı gittikçe önem kazanmaktadır. Diğer ağır metal içeren emprenye maddelerinden daha az toksik özellik taşıyan borlu bileşikler, 1900'lü yılların başından itibaren emprenye maddesi olarak kullanılmaya başlanmış ve sonraki yıllarda birçok geleneksel emprenye maddesinin yerini almıştır. Borlu bileşikler sadece mantar ve termit gibi zararlılara karşı etkinliğinden değil, aynı zamanda yanmaya karşı direncinden dolayı da ağaç malzemenin yangına karşı korunmasında 1930'lu yıllardan buyana kullanılmaya başlanmıştır (Lloyd, 1998; Kartal ve Unamura, 2004).

Ağaç malzeme, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yüksek, işlenmesinin kolay olması maliyet bakımından ekonomik ve ısı iletkenliğinin düşük olması gibi nedenlerden dolayı bina konstrüksiyonlarında tercih edilen bir yapı malzemesidir. Ancak Ağaç malzeme biyotik ve abiyotik faktörlere karşı korunması gerekmektedir. Borlu bileşikler bina konstrüksiyonlarında kullanılan birçok ağaç malzeme için en uygun koruyucu kimyasal maddelerdendir. Bu bileşikler, gerek binalarda kullanılan kompozit malzemelerin empenyesinde ve gerekse ana taşıyıcı kolon ve dikmelerin korunmasında önemli olup, uzun yıllar koruma temin edebilmektedir. Bunun yanında, özellikle termit tehlikesinin yüksek olduğu ülkelerde toprağın veya zemin malzemesinin empenye edilmesinde de katkı malzemesi olarak etkin şekilde kullanılmaktadır (Kartal ve Imamura, 2004).

Borlu bileşikler çeşitli yöntemlerle ağaç malzemeye uygulanabilmekte ancak, yüksek oranda çözünebilir olması nedeniyle empenye edilen ağaç malzemedeki kolaylıkla yıkanmaktadır. Bu nedenle bor bileşikleriyle empenye edilen ağaç malzemenin toprakla temas edilen yerlerde kullanılması önerilmemektedir. Borlu empenye bileşiklerinin ağaç malzemedeki yıkanmasını önlemek için veya yıkanma süresini uzatmak için çeşitli empenye sistemleri ve yeni borlu empenye maddeleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bor ağaç malzemedeki kimyasal yapılara doğrudan bağlanamamakta ve kimyasal bir fiksasyon gerçekleşmemektedir. Bunun sonucu olarak borlu bileşikler yüksek rutubet şartları altında yıkanma ile karşı karşıya kalmaktadır (Kartal ve Green, 2002).

Borlu bileşiklerin yıkanmasını zor hale getirmek için geliştirilen empenye maddeleri organik bor bileşikleridir. Organik bor bileşikler borik asit ve boraksa göre daha yüksek maliyete sahiptirler. Aynı zamanda daha yüksek hidrolitik stabiliteye ve çeşitli polar ve apolar bileşiklerde çözünme kolaylığına sahiptirler (Vmden ve Romero, 1997).

Borlu bileşikler üzerine yapılan araştırmalar borun ağaç malzemedeki yıkanması üzerine yoğunlaşmıştır. Bazı çalışmalar su alımını azaltma yönünde ilerliyor iken, diğer bir kısım çalışma ise fiksasyon metotları üzerine devam etmektedir. Su itici maddelerin kullanılması borun yıkanmasını önemli derecede engellemiş ve ağaç malzemenin fiziksel özelliklerini de iyileştirmiştir (Kartal ve Green, 2002; Kartal ve Unamura, 2004). Ancak bu çeşit uygulamalar empenye maliyetlerini önemli derecede yükseltmektedir. Öte yandan, fiziksel olarak borun ağaç malzeme içerisinde çökertilmesi işlemleri de borun yıkanmasını önlerken, aynı zamanda biyolojik zararlılara karşı sinerjistik bir etki de oluşturmaktadır. Genel olarak geliştirilen sistemler reçine işlemleri, odunun kimyasal olarak modifikasyonu ve asetilasyon, tanen kondensasyonu, su camı-silikat işlemleri, fenil boronik asit

uygulamaları, stabilize olmuş bor esterler, protein borat karışımları, asit metal boratlar, amonyaklı metal boratlar, amin metal boratlar, çeşitli elementler ve madde karışımları ile borun fiksasyonu çalışmalarıdır (zirkonyum, silikon, kalsiyum çöktürücüler vb.) (Kartal ve Unamura, 2004).

1.4.3. Borlu Bileşiklerle Emprenye İşlemi ve Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Kombine Etkisi

%4 konsantrasyonda borik asit (BA) ve boraks (BX) ile emprenye edildikten sonra 220 °C ve 2 saat süre ısıtılma tabi tutulan Ladin (*Picea orientalis*) ve Çam (*Pinus silvestris*) odunu örnekleri ile yapılan çalışmada; liflere paralel basınç direnci değerleri ve eğilme direnci değerleri incelenmiştir. Liflere paralel basınç direnci değerleri; borik asit ile emprenye edilmiş ladin ve çam odun örneklerinde %30 oranında bir azalma gözlenmiştir. BX ile emprenye edilmiş ladin odun örneklerinde %7 oranında azalma gözlenirken, çam odun örneklerinde %9 oranında artış gözlenmiştir. BA ile emprenye edilmiş Ladin odun örneklerinin eğilme direnci %17 oranında artmış, çam odunu örneklerinde ise %31 'lik bir düşüş gözlenmiştir. BX ile emprenye edilmiş ladin örneklerinin eğilme direnci değerleri %5 'lik bir düşüş gözlenirken, çam odun örneklerinde %14 'lük bir artış gözlenmiştir (Can vd., 2010)

Awoyemi (2007), tarafından yapılan çalışmada, odun örnekleri farklı konsantrasyondaki bor tuzları ile emprenye edildikten sonra ısıtılma tabi tutulmuş, çalışma sonunda, bor tuzları ile emprenye edilen örneklerdeki eğilmede elastikiyet modülü ve statik eğilme dayanımı değerlerindeki azalma %3 konsantrasyona kadar minimize edilmiştir. Fakat %3 ve %5 konsantrasyon seviyeleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir (Awoyemi, 2007).

Isıl işlem ve bor bileşiklerinin kombine etkisi üzerine yapılan bir çalışmada emprenye maddesi olarak yüksek bazik (pH=9) özellikte olan sodyum borat kullanılmıştır. 180, 200 °C'de 2 ve 4 saat süre ile yapılan ısıtılma işlemi sonucunda sodyum borat ile emprenye edilmiş örneklerin dirençlerindeki düşüş, sadece ısıtılma tabi tutulan örneklerde meydana gelen direnç kaybından daha az bulunmuştur. Bunun nedeni olarak sodyum boratın odunun asidik yapısı üzerine tamponlayıcı etkisi gösterilmiştir (Awoyemi ve Westermarck, 2005).

Emprenye işlemi ve ısıtılmanın kombine etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada; emprenye maddesi olarak borik asit (BA) ve di-sodium octoborat tetrahidrat (DOT) kullanılmıştır. *Cryptomeria japonica* türü ile 180-220 °C'de 2 ve 4 saat süreyle yapılan ısıtılma işlemi sonucu karbonhidrat analizi yapılmıştır. 180 °C'de 2 saat ve 220 °C 'de 2 ve 4 saat sonunda hemiselüloz içeriğinde önemli bir azalma gözlemlenmiştir. 220 °C 'de 4 saatlik varyasyonda rhamman ve arbinan içeriği kontrol örneklerinin bazı türlerinde %90, %87, %84 oranında azalış göstermiştir. BA ile emprenye edilmiş ve 220 °C'de 4 saat süreyle ısıtılma işlemine tabi tutulmuş örneklerde mannan, ksilan ve galaktanın, en az etkilenen hemiselüloz tipleri olduğu açıklanmıştır. Glukan ise tüm ısıtılmalı örneklerde en dirençli hemiselüloz tipi olarak tespit edilmiştir. Sadece ısıtılmalı örneklerde bulunan glukan oranı kontrol örneklerine oranla %10 ve BA ile emprenye edilmiş örneklere oranla %12 oranında azalış göstermiştir. Fakat DOT ile empenyeli örneklerde glukan oranı ısıtılmasız ve empenyesiz örneklere oranla %34 oranında bir azalma göstermiştir (Kartal vd., 2007).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneme Materyali

2.1.2. Ağaç Malzeme

Çalışmada yapraklı ağaç türlerinden doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*), doğu kavağı (*Populus deltoides*) ve iğne yapraklı ağaç türlerinde doğu ladini (*Picea orientalis (L) Link.*) ve karaçam (*Pinus nigra subsp.*) örnekleri kullanılmıştır.

2.1.2.1. Doğu Kayını (*Fagus orientalis*)

Doğu kayını (*Fagus orientalis*), kayıngiller (Fagaceae) familyasından 40 m'ye kadar boy, 1 m'ye kadar çap yapabilen dolgun ve düzgün gövdeli, birinci sınıf bir orman ağacıdır. Kabuğu açık kül renkli olup ince ve düzgündür. Genç sürgünler tüylüdür. Yaprakları elips, ters yumurta biçiminde sivri uzun veya kısa uçlu ve 6-12 cm uzunluğundadır. Alt yüzünde damar boyunca ipek gibi tüylü, üst yüzü ise çıplaktır. 7-10 (8-12) çift yan damarı vardır. Bunlar yaprak kenarına tam ulaşmadan uçları kırılır. Yaprak sapı 0.5–10.5 cm uzunluğunda ve tüylüdür. Kupula yaklaşık olarak 2 cm boyundadır. Kupulanın dip kısımlarında yer alan pullar geniş şerit biçiminde ya da kaşık gibi, üst kısımdakiler yassıdır. Kadehin sapı 2-2.5 cm uzunlukta olup, tüylüdür. Erkek çiçekte yaprak koltuklarından çıkıp, küresel başçıklar şeklinde aşağıya sarkarlar (Anşin, 1988).

Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odunu kırmızımsı beyaz renktedir. Olgun odun özelliklerine sahiptir. 80 yaşın üzerindeki ağaçlarda kırmızımsı kahverenginde düzensiz şekilli, iç kısımda dalgalı şeritli ve kırmızı yürek oluşumu adı verilen bir öz odunu bulunur. Dağınık trahelidir, yıllık halka sınırları yaz odunu tabakasında trahelerin az sayıda olması nedeniyle belirgindir. Traheler küçük çaplıdır. Geniş öz ışınları çıplak gözle dahi görülebilmekte, 0,5-0,1 mm aralıkla uzanmakta ve kalın öz ışınları yıllık halka sınırlarında genişlemektedir. Öz ışınları radyal yüzeylerde koyu renkli geniş aynacıklar, teğet kesitte kırmızımsı iğ şeklinde lekeler halindedirler. Odunu sert ve ağırdır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Mikroskop altında incelendiğinde, dağınık traheli, yaz odununa doğru gidildikçe trahe sayıları azalmakta, çapları küçülmektedir. Trahe sayısı fazla olup mm²'de 80- 180 adet, teğet çapları 60- 80 (100) µm, şekilleri yuvarlak, oval ya da köşelidir. Perforasyon tablaları basit ve yaz odunundaki küçük çaplı trahelerde 20 bölmeye kadar merdivenimsidir. Traheler arası geçitler horizontal sıralı veya bazen merdivenimsidir. Öz odunda trahelerin içleri yabancı maddelerle dolu olabildiği gibi tüllerle de dolabilir. Boyuna paransimler çok sayıda, apotraheal dağınık ve teğet sıralıdır. Öz ışınları dar ve geniş olmak üzere iki tipte, geniş öz ışınları 15-25 hücre genişliğinde ve homojen yapıdadır. Çok nadir olarak heterojen öz ışınlarına rastlanmakta, trahelerle karşılaşma yerlerinde büyük geçitler görülmektedir. Dar öz ışınları 1-5 hücre genişliğinde, yükseklikleri 500 µm kadardır. Geniş öz ışınları ise birkaç mm yüksekliktedir. Esas doku genellikle kalın çeperli libriform liflerinden oluşmakta ve az miktarda da lif traheidleri bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Doğu kayını genel coğrafi yayılışı, Bulgaristan, Türkiye, Kafkasya ve İran'dır. Batıda balkan yarımadasından başlar, Trakya'nın kuzey ve güney dağları ile bağlantı kurarak İstanbul mıntıkası üzerinden Batı Anadoluya geçer. Ülkemizde Karadeniz bölgesinde en iyi gelişimi göstermektedir. Karadeniz bölgesinin haricinde Marmara ve Ege bölgesinde de görülür. Güney Anadoluda adananın pos ormanlarında, Amonos dağlarında ve Maraş-Andırın yöresinde lokal olarak bulunur. Karadeniz bölgesinin kıyı kesimlerinden başlayan kayın ağacı, Batı Karadeniz'de 1300 m'ye doğu Karadeniz'de 1800- 1900 m'ye kadar çıkabilmektedir. Güney Marmara bölümü'nde 500 m'den sonra ormanlar kurar, iç kısımlara doğru gidildikçe 1000- 1200 m ile 1500- 1700 m hatta 1800 m'ye ulaşır (Yıldız, 2002).

2.1.2.2. Doğu Kavağı (*Populus deltoides*)

Genç sürgünler sarı ve tüysüzdür, ikinci sene zeytuni yeşil bir renk alır, üzerinde lentiseller görülmeye başlar. Sivri uçlu, dar yumurta biçimindeki tomurcukların 4- 6 pulu vardır, üzerleri kokulu, yapışkan koruyucu bir madde ile sıvanmıştır. 5-10 (12) x 4-8 (15) cm boyutlarındaki yapraklar değişik formlardadır. Uzun sürgünler üzerindeki yapraklar geniş üçgen biçimindedir. Ayanın boyu eni kadar veya daha enli ve geniş olup, yaprak sapı tarafındaki dip kısmı geniş kama şeklindedir. Kısa sürgünler üzerindeki yaprakların ise boyu eninden daha uzun, eşkenar dörtgen şeklinde olup, uzun bir damla ucu ile sonlanır.

Yaprak ayasının kenarları muntazam ve çok sayıda küçük ince dişli, her iki yüzü de çıplaktır (Yaltınk ve Efe, 2000).

Mikroskop altında incelendiğinde, dağınık traheli, yıllık halka içerisinde ilkbahar odunundan yaz odununa gittikçe trahelerin sayısında ve çapında yavaş yavaş azalma görülür. Traheler çok sayıda ve mm²'de 100 adet kadar, tek tek, çoğunlukla ilkbahar odununda 2-3 adet, yaz odununda 5-7 adet radyal sıralı ve hafif köşelidir. Teğet çapları 80-100 µm kadar, yaz odununda 50 µm'den daha küçüktür. Bazen tüller görülür. Perforasyon tablaları basit tipte, traheler arası geçitler büyük ve çok sayıdadır. Boyuna paranzimler yaz odununda teğet yönde bir sıralı, ya da yıllık halka sınırında devamlı veya kesikli şeritler halinde az miktarda görülür. Öz ışınları tek sıralı, yükseklikleri çok değişik olup, 3-5 hücre yüksekliğinden 30 hücre yüksekliğine kadar çıkmaktadır. Enine kesitte teğet yöndeki sayıları mm'de 10-12 adet, homojen yapıda, trahelerle öz ışınları arasındaki geçitler büyük ve kenar hücreleri görülmektedir. Esas doku ince ve orta kalınlıkta çeperleri olan büyük çaplı libriform liflerinden oluşur (Bozkurt vd., 1995).

Bolu, Zonguldak, (Yenice – Karabük arası), Ankara (Kızılcahamam), Kastamonu (Tosya) gibi Kuzeybatı Anadolu'da doğal olarak bulunmaktadır. Diri odun beyazımsı gri ile sarımsı beyaz renkte, öz odun açık kahverengi, gri kahverengi veya açık yeşilimsi kahverengindedir. Kurduğunda rengi sararır. Yıllık halkalar çok geniş, yaz odunu tabakası dardır. Dağınık traheli, yaz odununda destek hücrelerinin (liflerin) yoğun oluşu nedeniyle yıllık halka sınırları belirgin, traheler küçük, çok sayıda ve ancak lup altında görülebilir. Boyuna kesitleri ince iğne çiziklidir. Öz ışınları radyal kesitte lup altında çok küçük aynacıklar şeklinde görülebilir. Beyaz öz lekeleri bulunabilir. Tekstür ince ve yeknesak, lifler düzgün, ipek gibi parlak, dekoratif olmayan yumuşak ve hafif bir odunu vardır (Bozkurt vd., 1995; Yaltırık ve Efe, 2000).

Soyma levhalardan kontrplak ve kibrit yapımında, mobilya iç kısımlarında, ambalaj kutuları, ambalaj ve sandıkları, palet, protez ve model yapımında, beton traverslerde selet olarak, yonga levha ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır (Bozkurt vd., 1995).

2.1.2.3. Doğu Ladini (*Picea orientalis*)

Gymnospermae'lerin *Coniferae* sınıfının *Pinacea* familyasının *Abitoidae* alt familyasından *Picea* cinsinin bir türü olan doğu ladini, 40–50 m boy yapan, bazen 60 m boylara ulaşan, 1,5– 2 m çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli önemli bir

orman ağacıdır. Kabuk genç gövdelerde açık renkli ve düzgün, yaşlı gövdelerde koyu renkli ve çatlaklıdır. Dallar çevresel olarak sık bir halde tüm gövdeye yerleşmiştir. Genç sürgünler ince açık renkli ve çıplaktır. Tomurcuk kahverengi, sivri ve reçinesizdir.

Doğu ladini mevcut ladin türlerinden kısa iğne yapraklarıyla ayrılır. Boyları 1– 3 mm arasında değişen yapraklar, parlak koyu yeşil olup yatay kesitleri dört köşe şeklindedir. Uçları fazla sivri olmayıp her yüzünde 1-4 sıra stoma çizgisi vardır. 6- 9 cm uzunluğundaki olgun kozalak açık kiremit renginde, oval ya da silindirik yapıda pulların kenarları tam olup dış pul dışarıdan görülmemektedir. İlk yaşlarda yavaş büyüyen doğu ladininde 8 – 10 yaşından sonra büyüme hızlanmakta ve uzun yıllar sürmektedir (Anşim, 1988).

Odunu sarımsı beyaz renkte, boyuna kesitlerde ipek gibi parlaktır. Diri odun ve özodun renk bakımından farksız olup gövdenin iç kısmında diri odun ile aynı renkte ancak su oranı daha az olan olgun odun bulunmaktadır. Yıllık halkalar sınırlı belirgin ve ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş tedricidir. Yaz odunu kırmızımsı sarı renkte ve çok dar olup, radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturmaktadır. Dar ve seyrek bir şekilde dağılmış bulunan reçine kanalları genellikle yaz odunu içinde açık renkte noktacıklar halinde ve radyal kesitte ince, fazla belirgin olmayan boyuna çizgiler halinde görülürler. Reçinesi sarı ve kahverengindedir. Çok ince olan özışınları çıplak gözle görülmemekle beraber tam radyal kesilmiş yüzeylerde mat bantlar halinde fark edilebilirler. Budaklar çoğunlukla küçük ve oval şekildedir (Berkel, 1970; Yıldız, 2002).

Doğu ladini yayılışını Kafkasya ile ülkemizin doğusunda 40° 23'- 43° 50' kuzey enlemleri ile 37° 40'- 44° 13' doğu boylamları arasında yapar. Ülkemizde Rusya sınırı ile Ordu- Melet ırmağı arasında, dağların denize bakan yamaçlarında saf ve karışık meşçereler oluşturur. Doğu Karadeniz'in batı kısımlarında bu ağacın yayılışını sınırlayan faktör rutubettir. Genellikle 900–2200 m. yükselti arasında denize dönük nemli yamaçlarda yayılmaktadır. Karadeniz ardı bölgelerde ise, nemli deniz rüzgârlarının içlere değin taşınmasına olanak veren Çoruh Nehri ve Harşit Çayı'nın etkisinde kalan alanlarda, yüksek dağların yine kuzey yamaçlarında saf ve karışık olarak yayılış göstermektedir. Trabzon civarında saf ormanları 900–1650 m. yükseklikten sonra başlamakta, Meryemana yöresinde 1500-1650 m'ye kadar çıkmaktadır.

Doğu ladini odununda çok çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır. Bunlardan bazıları; mekanik odun hamuru ve kimyasal hamur üretimi, direk ve kalıp tahtası imalatı, bina yapımı, taşıt araçları yapımı, uçak yapımı, marangoz, mobilya, yonga levha, kaplama ve kontrplak üretimidir. Ayrıca akustik özelliğinin iyi olmasından dolayı müzik aletleri

yapımında da kullanılmaktadır. Kabuğun ihtiva ettiği sepi maddesi, iğne yapraklarından elde edilen eterik yağlar ve özellikle reçinesi de pek çok alanda yararlanılan yan ürünler arasındadır (Anşim, 1988).

2.1.2.4. Karaçam (*Pinus nigra*)

Diri odun kırmızımsı ve sarımsı renktedir. Koyu renkli öz odunu vardır. Diri odun yaşlı ağaçlarda dar, genç ağaçlarda ise oldukça geniştir. Radyal kesitte öz ışınları görülmeyecek kadar belirsizdir. Teğet kesitte kahverengi şeritler havidir. Karaçamda reçine kanalları diri odunda aktif olup reçine ile, öz odundakiler ise reçine ve tylosid denilen zarcıklarla tıklalı bulunmaktadır (Göker, 1977).

İlkbahar odunu traheidlerinin öz ışını paranzim hücreleri ile karşılaşma yerlerinde geniş pencere şeklinde geçitler bulunmaktadır. Geniş pencere şeklindeki geçitlerin açıklıkları ortalama 26μ çaptadır. Radyal kesitte ilkbahar odununda bordürlü geçitlerin çapları ortalama 22μ , yaz odunu bordürlü geçitlerinin çapları ortalama $9,55\mu$ dur. Enine kesitte boyuna reçine kanallarının çapları ortalama 124μ , 1 mm^2 deki traheid sayısı ortalama 998 adettir. Teğet kesitte 1 cm^2 ye giren yatay reçine kanalı sayısı 56 adet, tek sıralı öz ışınlarının yüksekliği maksimum 460μ , 1 mm^2 deki öz ışını sayısı $21,1\text{ mm}^2$ deki öz ışını hücre sayısı 188 adettir. Traheid uzunları ortalama $4,20\mu\text{m}$, traheid genişliği ortalama 48μ , hücre çeperi kalınlığı ortalama 9μ dur (Göker, 1977).

Karaçam yayılış alanı olarak, Kuzeybatı Afrika'da iki küçük alan halinde Cezayir ve Fas'ta; Avrupa'da ise Güney ve Doğu İspanya'dan başlayarak parçalar halinde Pireneler, Güney Fransa, Korsika, Güney ve Kuzeydoğu İtalya, Avustralya, Yugoslavya, Balkanlar, Kırım, ve nihayet asıl yayılışını yaptığı Anadolu'da yer alır. *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* 3 313 706 hektarlık yayılış alanı ile en geniş yayılışa sahip olan çamımızdır. Türkiye'de dört varyetesi mevcuttur. Bunlar; Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana* var. *pallasiana*), Ebe Karaçamı (*P.n.* ssp. *pallasiana* var. *şeneriana*), Büyük Kozalaklı Karaçam (*P.n.* ssp. *pallasiana* var. *yaltirikiana*), Ehrami karaçamı (*P.n.* ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*)'dır (Ünaldı, 2004).

2.1.3. Kullanılan Kimyasal Maddeler

2.1.3.1. Borik Asit

Çalışmada kullanılan ve Eti Maden İşletmeleri ürünü olan borik asidin özellikleri Tablo 4’de sunulmaktadır (URL-9, 2011).

Tablo 4. Borik asidin genel özellikleri

Kimyasal Özellikler		
	Normal Sülfat	Düşük Sülfat
Saflık	% 99.90 min	% 99.90 min
B ₂ O ₃	% 56.25 min	% 56.25 min
SO ₄	500 ppm maks	130 ppm maks
Fiziksel Özellikler		
Kristal		Toz
Molekül Ağırlığı	61,83	61,81
Özgül Ağırlık	1,435 gr/cm ³	1,435 gr/cm ³
Yığın Yoğunluğu	0,8 gr/cm ³	0,7 gr/cm ³
Tane Boyutu	+1 mm % 4 maks	+1 mm % 0
	-0,060 mm % 4 maks	-0,060 mm 30% min

Borik asit, elementel borun bir oksiasidi olup, formülü H₃BO₃ şeklindedir. Borik asit, kokusuz, tatsız, havada kararlı, beyaz kristaller şeklinde bir maddedir. Molekül ağırlığı 61.83, erime noktası 169 °C ve kaynama noktası 300 °C’dir. Özgül ağırlığı 1.46 g/cm³’tür. Borik asit suda orta derecede çözünür. Borik asit bir lewis asidi vazifesi yapan ve bir hidroksil iyonu olan çok zayıf mono bazik asittir.

Borik asit 175 °C’ye kadar ısıtılırsa su kaybederek metaborik asit (HBO₂) şeklini alır. Sıcaklığın artışıyla birlikte tetraborik asit (H₂B₄O₇) meydana gelir. Hatta daha da ısıtıldığında camsı bor trioksit halini alır. Borik asit, sodyum peroksit ile reaksiyona sokulursa, beyazlatıcı olarak ticarete kullanılan peroksoborat elde edilir. Gliserin gibi belirli polialkollerle reaksiyona girer ve asidik çelat kompleksleri verir. Metal oksitlerle eritildiği zaman gerçek metal iyonlarını karakterize eden oldukça renkli camsı boratları verir.

2.1.3.2. Boraks

Çalışmada kullanılan ve Eti Maden İşletmeleri ürünü olan boraks dekahidrat'ın özellikleri Tablo 5'de sunulmaktadır.

Tablo 5. Boraks dekahidratın genel özellikleri

Kimyasal Özellikler		
Saflık	% 99,90 min	
B ₂ O ₃	% 36,47 min	
Fiziksel Özellikler		
	Kristal	Toz
Molekül Ağırlığı	381,83	381,83
Özgül Ağırlık	1,73 gr/cm ³	1,73 gr/cm ³
Yığın Yoğunluğu	0,812 gr/cm ³	0,750 gr/cm ³
Tane Boyutu	+1 mm % 0,8 maks	+1 mm % 0 maks
	-0,060 mm % 4 maks	-0,060 mm % 50 maks

Boraks bor madeninin en önemli rezervidir. Rezerv bakımından dünyada en çok Türkiye 'de bulunmaktadır. Türkiye, çıkardığı borun %80 'ini işlemeden ihraç etmektedir. Boraks çok güç eriyen sert bir malzemedir. Elektriki çok az iletir (Baysal, 1994).

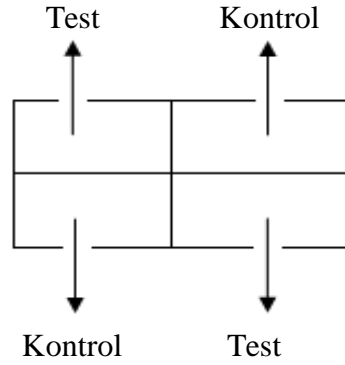
Genellikle, kimyasal formülü Na₂B₄O₇.10H₂O olarak yazılır. Kristal haldeki boraks renksizdir. Sodyum borat beyaz olup, toz ve kristal halinde bulunabilir. Yoğunluğu 1,73 gr/cm³ 'tür. Sodyum borat suda ve gliserinde çözünür. Fakat alkolde çözünmez. Boraks 75 °C'de erimeye başlar. Eridikçe kristal suyunu kaybeder. 200 °C'de kaynar. Sodyum, borat, kızıl derecede, boraks camı olarak adlandırılan camımsı kütle şeklinde erir. Birçok metalik bileşikler çözülmüş metalik iyonlara mahsus bir renkte boraks incisi vererek erimiş materyalde çözünebilir. Renklenmiş boraks incisinin meydana gelmesi bakır, nikel, demir ve krom gibi gerçek metal iyonlarının mevcudiyetini anlamak için analitik tahlilde kullanılır.

Sodyum borat, bazı yabancı madde ile birlikte sodyum borat bulunduran tabii boraksta bulunur. Sodyum borat, kolomanit (CaB₃O₄(OH)₃.H₂O), kernit (Na₂B₄O₇.4H₂O), uleksit (Na₂B₄O₇ Ca₂B₆O₁₁.16 H₂O) gibi çok sayıdaki diğer borat minerallerinden de elde edilir. Sodyum borat, tuzlu göl sularının buharlaştırılıp kristallendirilmesinden elde edilir.

Boraks, laboratuvarında borik asit ile susuz sodyum karbonatı reaksiyona sokarak elde edilir (URL-9, 2011).

2.1.4. Örneklerin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan odun örnekleri Türkiye’de ısıtıl işlem yapan endüstriyel bir fabrikadan temin edilmiştir. Odun örneklerinin deneyde kullanılacak boyutlara getirilmesi fabrikada gerçekleştirilmiştir. Tomruk olarak temin edilen hammadde odun önce 12 cm kalınlık, 22 cm genişlik ve 2-4 metre boy olmak üzere kereste halinde biçilmiş ve doğal kurutmaya bırakılmıştır. Bu kerestelerden Şekil 9’da görüldüğü gibi çaprazlama olarak büyük boyutlu ısıtıl işlem deney ve kontrol örnekleri elde edilmiş ve bu örnekler denge rutubet miktarına ulaşınca kadar kurutulmuşlardır.

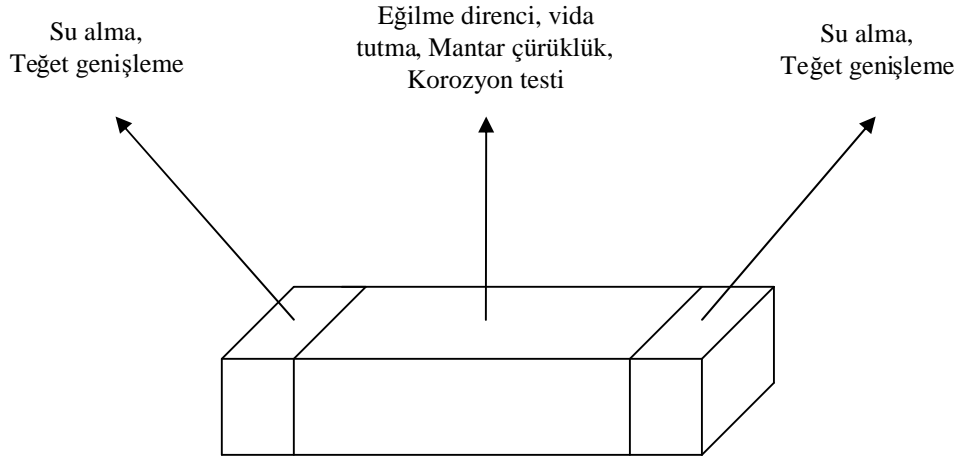


Şekil 9. Keresteden örneklerin alınma yöntemi

Burada amaç; deney ve kontrol örneklerini birebir eşleştirmek ve bunların odunun aynı kısımlarını içermesini sağlamak, ağaç türünden kaynaklanan performans farklılıklarını en aza indirmektir. Büyük boyutlu ısıtıl işlem deney ve kontrol örnekleri 5 x 10 x 80 cm (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutlarında hazırlanmıştır. 80 cm uzunluğunda olan örnekler ortadan ikiye kesilerek elde edilen birinci kısım ısıtıl işlem öncesi bor bileşikleriyle empenye edilirken diğer kısım sadece ısıtıl işleme tabi (kontrol 2) tutulmuştur. Emprenye işlemi sonrası ısıtıl işlem uygulanan örnek grubu test, herhangi bir işlem uygulanmayan grup kontrol 1 ve sadece ısıtıl işlem uygulanan grup kontrol 2 olarak adlandırılmıştır.

5x10x40 cm boyutlarında elde edilen örnekler empenye edildikten sonra ısıtıl işleme tabi tutulmuşlardır. Isıtıl işlem sonrasında büyük boyutlu örneklerden daha küçük boyutlu

deney örnekleri elde edilmiştir. Bütün test yöntemleri için gereken örnekler şekil 10'da gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



Şekil 10. Deney örneklerinin hazırlanma planı

Deneylerde bir test grubu ve iki farklı kontrol grubu bulunmaktadır. Test grubu emprenye işlemi sonrası ısıtma işlemi uygulanan grup, kontrol 2 sadece ısıtma işlemi uygulanmış grup, kontrol 1 ise herhangi bir işlem uygulanmamış grubu ifade etmektedir.

Kullanılan her dört ağaç türü için, dört farklı sıcaklık ve iki farklı süre denenmiştir. İğne yapraklı ağaç türleri için 212 °C ve 220 °C sıcaklıkları ile 90 ve 120 dakika süre periyotları, yapraklı ağaç türleri için ise 180 °C ve 190 °C sıcaklıkları ile 90 ve 120 dakikalık ısıtma periyotları uygulanmıştır.

Yapılan çalışmada bazı deneyler sadece ısıtma işlemi tabii tutulan örnekler ile yapılırken bazı deneyler ise emprenye işlemi sonrası ısıtma işlemi uygulanmış örnekler ile yapılmıştır. Uygulanan test yöntemleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Deney varyasyonu şeması

	SA	ÖA	TG	GET	LPBD	ED	ÇT	BA	VTD	pH	KZ
E +İ	☺	☺	☺	☺	☺	☺		☺		☺	
Sadece ısıtma işlemi	☺	☺	☺	☺	☺	☺	☺		☺		☺

İ: ısıtma işlemi, E: emprenye, ÖA: özgül ağırlık, SA: su alma, TG: teğetsel genişleme, GET: genişlemeyi önleyici etkinlik, LPBD: liflere paralel basınç direnci, ED: eğilme direnci, ÇT: çürüklük testi, BA: bor analizi, VTD: vida tutma direnci, KZ: korozyon

2.2. Araştırma Yöntemi

2.2.1. Örneklerin Emprenye Edilmesi

Emprenye işleminde 5 x 10 x 40 cm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Emprenye maddesi olarak; %4 konsantrasyonda hazırlanan Borik asit ve Boraks, Eti Maden İşletmesinden elde edilmiştir. Kayın, kavak, karaçam odun örneklerine 60 cmHg 'ya eş değer bir ön vakum 20 dakika süreyle uygulanırken, ladin odunu örneklerine 75 cmHg 'ya eş değer bir vakum, 30 dakika süre ile uygulanmıştır. Ön vakum işleminin ardından kayın, kavak, karaçam odunu örnekleri 60 dakika süreyle 5 bar'lık basınç altında, ladin odun örnekleri ise 90 dakika süreyle ve yine 5 bar'lık basınç altında muamele edilmişlerdir. Güç emprenye edilen bir tür olmasından dolayı ladin odunu örnekleri biraz daha fazla miktarlarda ve uzun sürelerde vakum-basınç işlemine tabi tutulmuştur.

2.2.1.1. Örneklerde Retensiyon Miktarının Bulunması

Örneklerdeki emprenye maddesi çözeltisi retensiyon miktarı aşağıda verilen eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır

$$\text{Retensiyon kg/m}^3 = G \times C \times 10 / V \quad (1)$$

G: T2-T1, örnek tarafından absorbe edilen emprenye çözeltisi miktarı (g),

C: Emprenye çözeltisi konsantrasyonu (%),

V: Örnek hacmi (cm³),

T2: emprenye sonrası ağırlık (g),

T1: emprenye öncesi ağırlık (g)

2.2.2. Örneklerin Isıl İşleme Tabi Tutulması

Bu çalışmada, örnekler ThermoWood ısıtma işlem metodu ile çalışan Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş'nin Gerede de bulunan Thermowood Kereste Üretim Fabrikasında ısıtma işlemine tabi tutulmuşlardır. Test fırınına otomasyon sistemi ile fırındaki odunun

yapısına ve fırın sıcaklığına bağlı olarak koruyucu buhar verilmiştir. Ağaç malzemelere uygulanan sıcaklık ve süreler Tablo 7’de görülmektedir.

Tablo 7. Isıl işlem sıcaklık ve süreleri

Ağaç Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (dak.)
İğne yapraklı (Karaçam, Ladin)	212, 220	90, 120
Yapraklı (Kayın, Kavak)	180, 190	90, 120

Büyük boyutlarda hazırlanmış ısıtılma tabii tutulacak test örnekleri % 65 ± 5 bağıl nem ve 20 ± 2 °C şartlarını sahip iklimlendirme dolabında denge rutubeti miktarına ulaşılıncaya kadar bekletilmiş ve ısıtılma hazır hale getirilmiştir. Emprenye edilmiş örneklerde yapraklı ağaçlarda 190 °C’de 90 dak. süre ile, iğne yapraklı örnekler ise 212 °C’de 120 dak. süre ile ısıtılma uygulanmıştır. Herhangi bir emprenye işlemine tabii tutulmadan yapılan (mantar, korozyon, vida tutuma gücü) deneylerde iki farklı sıcaklık ve süre uygulanmıştır (Tablo 7).

2.2.3. Fiziksel Test Yöntemleri

2.2.3.1. Özgül Ağırlık

Her bir varyasyon için 8 adet test ve 8 adet kontrol olmak üzere, 2x2x3 cm boyutlarında hazırlanan test ve kontrol örneklerinin özgül ağırlık tayini TS 2472 standartına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS 2472, 2005).

Test ve kontrol örnekleri tam kuru hale gelinceye kadar kurutma dolabında 103±2 °C’de değişmez ağırlığa ulaşılıncaya kadar kurutulmuştur. Daha sonra örneklerin ağırlıkları 0,001 g, boyutları 0,01 duyarlılıkla ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla tam kuru rutubetteki ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$\delta 0 = \frac{M_0}{V_0} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

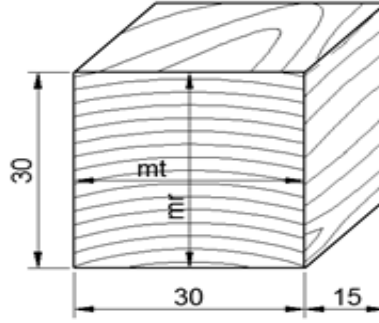
δ_0 : Tam kuru özgül ağırlık (g/cm^3)

M_0 : Tam kuru ağırlık (g)

V_0 : Tam kuru hacimdir (cm^3)

2.2.3.2. Su Alma Oranı, Genişleme Miktarı ve Boyut Stabilizasyonu

Isıl işlem sonrasında, büyük boyutlu ısıl işlem test örneklerinin budaksız, sağlam dokulu kısımlarından ilgili standartta (TS 2472) öngörülen boyutlarda (küçük boyutlu) deney örnekleri hazırlanmıştır. Su alma oranı (SAO), teğetsel genişleme (TG) ve genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) deneyleri için örnekler $3 \times 3 \times 1,5$ cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında ebatlandırılmıştır (mt: teğet uzunluk, mr: radyal uzunluk).



Şekil 11. SAO, TG ve GET deney örneklerinin boyut ve şekli

Bütün test ve kontrol gruplarının hava kuru haldeki boyut ve ağırlıkları $0,01$ mm ve $0,001$ g duyarlılıkta tespit edilmiştir. Sonra test ve kontrol örnekleri 20 ± 1 °C'de su içerisine üstlerine bir ağırlık konulmak suretiyle bırakılmışlardır. 2, 4, 8, 24, 48, 72 saat periyotlar sonunda deney ve kontrol örneklerinin aldıkları su miktarları ölçülmüştür. Bunun için her periyot sonunda sudan alınan örneklerin üzerlerindeki su silinmiş ve aynı duyarlılıkta tartımları yapılarak örneklerin aldıkları su miktarları (Abs) olarak kaydedilmiştir. Başlangıçtaki hava kuru ağırlık (P_{ao}) ve Abs değerleri kullanılarak SAO (%), her periyotta, her test ve kontrol örneği için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Yıldız, 2002; TS 2472, 2005).

$$SAO = \frac{Abs- Pao}{Pao} \times 100 \quad (3)$$

Teğetsel genişleme miktarı, SAO deneylerinde kullanılan örneklerle işlem yapılmıştır. Söz konusu deneylerde kullanılan test ve kontrol örneklerinin tam kuru halde teğet yönündeki boyutları, 0.01 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Boyutlar değişmez hale gelinceye kadar suda bekletilen örneklerden aynı noktalardan yapılan ölçümlerle genişlemiş haldeki boyutlar saptanmıştır. TS 2472'deki genel esaslara uyularak yapılan ölçümlerden sonra, teğetsel genişleme yüzdesi değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (TS 2472, 2005).

$$TG = \frac{T2-T1}{T1} \times 100 \quad (4)$$

Eşitlikte;

T1: teğet yönde tam kuru haldeki boyutlar,

T2: teğet yönde 2 haftalık suda bekletme sonunda genişlemiş boyutları ifade etmektedir.

Test ve kontrol 2 örneklerinin genişleme miktarlarında kontrol 1 örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı, yani emprenye ve ısıtma işlemi sonrası kazanılan boyut stabilizasyonunu ifade eden genişlemeyi önleyici etkinlik (GET) değerleri, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (TS 2472, 2005).

$$GET = \frac{k\alpha_{tg} - t\alpha_{tg}}{k\alpha_{tg}} \times 100 \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

k α_{tg} : kontrol örneğinin teğet yönde genişleme yüzdesi

t α_{tg} : test örneğinin teğet yönde genişleme yüzdesi.

2.2.4. Mekanik Test Yöntemleri

2.2.4.1. Statik Eğilme Direnci

Borik asit ve Boraks ile emprenye edildikten sonra ısıtıl işlem uygulanan test örnekleri ile sadece ısıtıl işleme maruz bırakılan kontrol 2 ve herhangi bir işlem uygulanmamış kontrol 1 örneklerine ait statik eğilme direnci değerleri TS 2472'deki genel esaslara uyularak belirlenmiştir. 2x2x30 cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında, hazırlanan örneklerin rutubetleri iklimlendirme işlemleri yapılarak %12'ye getirilmiştir. Örneklerin boyutları, radyal yönü en, teğet yönü de kalınlık alınmak sureti ile 0,01 mm duyarlılıkla ölçülmüştür.

Örnekler üniversal test makinasına 24 cm dayanak açıklığı kullanılarak yerleştirilmiştir. Teğet yönündeki direnci belirlemek üzere radyal yüzeye tam ortadan yük uygulanmış, 2000 kg maksimum kapasiteyle ve $1,5 \pm 0,5$ dakikada kırılmasını sağlayacak deney hızıyla çalışılmıştır. Kırılma anındaki maksimum kuvvet (F_{max}) ± 1 kp duyarlılıkta ölçülerek eğilme direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Yıldız, 2002; TS 2472, 2005).

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L_s}{2 \times a \times b^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (6)$$

Eşitlikte;

σ_e : eğilme direnci (N/mm^2)

F: kırılma anındaki kuvvet (N)

L_s : dayanak açıklığı (mm)

a: örnek genişliği (mm)

b: örnek kalınlığıdır (mm)

2.2.4.2. Liflere Paralel Basınç Direnci

Borik asit ve Boraks ile emprenye edildikten sonra ısıtıl işlem uygulanan test örnekleri ile sadece ısıtıl işleme maruz bırakılan kontrol 2 ve herhangi bir işlem uygulanmamış kontrol 1 örneklerine ait liflere paralel basınç direnci (LPBD) değerleri TS 2472'deki genel esaslara uyularak belirlenmiştir (TS-2472, 2005). Deney ve kontrol örneklerinin aynı yıllık

halka içeren kısımlardan elde edilmesine özen gösterilmiştir. Örnekler 2x2x3 cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında hazırlanmıştır. Deneylerden önce denge rutubetine getirilen örneklerin enine kesit boyutları ve lifler yönündeki uzunlukları 0,01 mm, ağırlıkları ise 0,001 g duyarlılıkta ölçülmüştür. Liflere paralel basınç direnci örneklerinin test makinesinde görünümü Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Liflere paralel yönde basınç direnci deneyinin uygulandığı

Deneyler üniversal test makinesinde yapılmıştır. Deney hızı örnekler makinede 1,5-2 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış olup, kırılma anındaki kuvvet (F_{max}) ölçülmüştür. Liflere paralel basınç direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Yıldız, 2002; Örs, 1996).

$$\sigma_{\parallel} = \frac{F_{max}}{a \times b} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (7)$$

Eşitlikte;

σ_{\parallel} : liflere paralel basınç direnci (N/mm²)

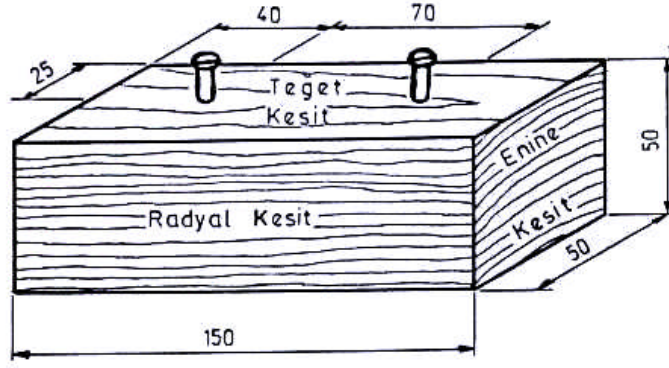
F_{max} : kırılma anındaki kuvvet (N)

a ve b: örnek enine kesit boyutlarıdır (mm)

2.2.4.3. Vida Tutma Direnci

Deneyde; ASTM-D (1961) standardında belirtilen 4.5 mm çap ve 40 mm uzunluktaki düz başlı, düşük karbonlu çelikten yapılmış vidalar kullanılmıştır (ASTM-D, 1961). Odun örnekleri olarak sadece ısıl işleme tabi tutulmuş deney örnekleri kullanılmıştır.

Örneklerin her birinin teğet kesitinde, çapı vida iç çapının %70'i (2.1 mm) ve derinliği ise 13 mm olacak şekilde kılavuz delikleri delinmiştir. Kılavuz delik delme işlemi anında, örneklerin yarılmamasını önlemek için delik yerleri, örnek başlarından en az 38 mm, örnek kenarından en az 19 mm ve iki vida arası aralık en az 68 mm olacak şekilde seçilmiştir. Daha sonra; örnekler vidalarla teğet kesit yüzeyi ile dik açı yapacak şekilde ve toplam vida girme derinliği vidanın yivli kısmının uzunluğuna eşit olacak şekilde elektrikli tornavida ile vidalama işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 13).



Şekil 13. Vida tutma direnci deney örneği (Boyutlar mm.)

Deneylerde örneklere yükleme anından itibaren en büyük yüke ulaşıncaya kadar 2.5 mm/dak sabit hızla yük uygulanmıştır. Ladin, karaçam ve kavak türleri için 500 kp, kayın örnekleri için 2000 kp'luk yükler seçilmiştir. Yükler; 500 kp için ± 1 kp, 2000 kp için ise ± 5 kp duyarlılıkta ölçülmüştür.

2.2.5. Biyolojik Özellikler

2.2.5.1. Mantar Çürüklük Testi

Mantar çürüklük deneyinde sadece ısı işlem uygulanmış örnekler kullanılmıştır. Çürüklük mantarlarına karşı direnç performansları EN 113 (1996) standardına göre belirlenmiştir. Ladin, Karaçam, Kavak ve Kayın olmak üzere farklı ağaç türleri için, her bir ağaç türüne ait iki farklı süre ve iki farklı sıcaklık olmak üzere 4 varyasyon üzerinden denemeler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan odun örnek boyutları standartta belirtilen boyutlardan farklılık göstermektedir. 0,5 x 1,5 x 3 cm boyutlarında hazırlanan örnekler her varyasyon için 4 tekrarlı olacak şekilde, 64 adet test ve 64 adet kontrol örneğinden oluşmuştur (Tablo 8).

Tablo 8. Mantar çürüklük testi varyasyon şeması

Ağaç türü	Sıcaklık °(C)	Süre (Dakika)	Test örneği sayısı	Kontrol örneği sayısı
Ladin	212	90	4	4
	212	120	4	4
	220	90	4	4
	220	120	4	4
Toplam			16	16
Karaçam	212	90	4	4
	212	120	4	4
	220	90	4	4
	220	120	4	4
Toplam			16	16
Kavak	180	90	4	4
	180	120	4	4
	190	90	4	4
	190	120	4	4
Toplam			16	16
Kayın	180	90	4	4
	180	120	4	4
	190	90	4	4
	190	120	4	4
Toplam			16	16
GENEL TOPLAM			64	64

Örnekler mantar testi öncesinde 103 ± 2 °C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve tam kuru ağırlıkları ölçülerek çürüklük öncesi tam kuru ağırlık (Çö) olarak kaydedilmiştir. 1 lt saf suya 48 gr. malt ekstrakt-agar konularak toplam 4 lt çözelti hazırlanmıştır. Çözeltiyi sterilize etmek için, 1 lt'lik erlenlerin ağızları alüminyum folyo ile kaplanarak 121 °C'deki bir otoklavda 25 dakika bekletilmiş ve süre sonunda otoklavdan çıkarılarak UV odasında soğumaya bırakılmışlardır. Mantar aşılama kavanozları ve mantar aşılama kullanılmak üzere tüm aparatlar oluşabilecek her hangi bir kontaminasyonun önlenmesi açısından otoklavda sterilize edilmişlerdir. Agar çözeltisi ılıklaşıp dökme kıvamına gelince petri kaplarına aktarılmıştır. Daha sonra Kavak ve Kayın yapraklı ağaç örnekleri için *Trametes versicolor* mantarı, Ladin ve Karaçam iğne yapraklı ağaç odunları için *Coniophora puteana* mantar kültürleri petri kaplarına aşılanmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Mantar deneyi örnekleri

Petri kapları misellerin iyice sarması için 22 °C ve % 65 bağıl nem koşullarındaki klima dolabında yaklaşık bir hafta süreyle bekletilmiştir. Miseller gelişimlerini tamandıktan sonra, otoklavda sterilize edilmiş her bir ağaç türüne ait test ve kontrol örnekleri, her petri kabına bir adet test ve bir adet kontrol olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bir karışıklığın olmaması için test ve kontrol örneklerinin üzerleri kodlanmıştır. Petri kaplarının tamamı 22 °C ve %65 bağıl nemi olan klima dolabına 3 ay beklemek üzere bırakılmıştır (Şekil 15).

Süre sonunda petri kaplarından alınan örnekler 103 ± 2 °C'deki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve tam kuru ağırlıkları ölçülerek çürüklük sonrası tam

kuru ağırlık (Çs) olarak kaydedilmiştir. Eşitlik 8 yardımıyla mantar saldırıları ile örneklerde oluşan ağırlık kaybı (%) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Dizman, 2005; EN-113, 1996).

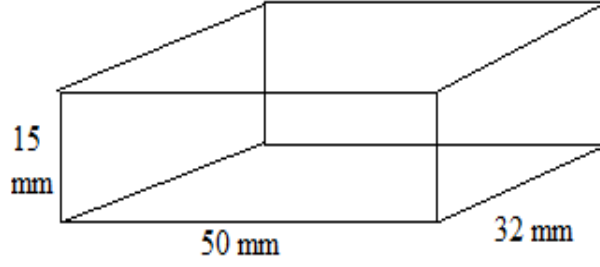
$$\% AK = \frac{\text{Çö} - \text{Çs}}{\text{Çö}} \times 100 \quad (8)$$

2.2.6. Korozyon Oranının Belirlenmesi

Korozyon deneyinde sadece ısı işleme tabi tutulmuş örnekler kullanılmıştır. Deneyin yapılmasında TS 345 standardı kullanılmıştır (TS 345, 1998). Odun örnekleri 50 mm x 32 mm x 15 mm (lif doğrultusu, genişlik, yükseklik) boyutlarında hazırlanmıştır (Şekil 15). 7,8 kg/dm³ yoğunluğunda ve 5 x 30 mm boyutlarında vidalar kullanılmıştır (Şekil 16). Her bir varyasyon için 3 adet örnek kullanılmıştır.

Hava kurusu halde bulunan deney örneklerinin 50 mm x 15 mm lik yüzeylerinin ortasından vidaların çakılması için 4 mm çapında delik açılmıştır. 50 mm x 32 mm lik yüzeyden ise örneklerin deney kabına asılması için 5 mm çapında delik açılmıştır. Vidaların odun örneklerine çakılmadan önce etanol ile yıkanarak vida üzerinde bulunan yağların ve tortuların temizlenmeleri sağlanmıştır. Temizlenen vida örnekleri numaralandırılmış ve deney öncesi ağırlıkları (Mo) 0,0001 g duyarlılıkta tespit edilmiştir.

Deney kapları olarak sentetik maddeden yapılmış, kapağı sıkıca kapanabilen, 2.10 litrelik ve taban alanı 100 mm x 100 mm olan kaplar kullanılmıştır. Her deney kabına yaklaşık olarak % 97 değişmez nisbi hava rutubetinin sağlanması için 200 gr potasyum sülfat çözeltisi konulmuştur. Örneklerin kaplara yerleştirilmesinden önce açıkta kalan vida kısımları asitsiz bir yağ (ayçiçek yağı) ile yağlanarak korozyonun sadece helezon kısmında kalması sağlanmıştır. Vidalı örnekler sentetik bir ip ile deney kabının ortasından asılmışlardır. Her deney kabına 6 adet örnek yerleştirilmiştir. Deney örnekleri yerleştirildikten sonra, kabın kapağı kapatılarak 22 ± 2 °C 'de 6 hafta bekletilmişlerdir.



Şekil 15. Korozyon deneyine ait örnek boyutu



Şekil 16. Vida şekli

Deney sonrasında örnekler odun örneklerinden yarılarak çıkartılmıştır. Çıkartılan vida örnekleri sıcak su ve etanol (% 96) ile yıkanarak temizlenmiştir. Temizleme sonrasında vidalar tartılarak deney sonrası ağırlıkları (M_s) tespit edilmiştir. Bu veriler yardımıyla vida örneklerinde meydana gelen ağırlık kaybı eşitlik 9’da ve oluşan korozyon derinliği ise eşitlik 10’da belirtilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır (TS- 345, 1998; Jermer ve Anderson, 2005).

$$\text{Metal ağırlık kaybı} = \frac{M_o - M_s}{\text{Alan}(\text{m}^2)} \quad (\text{g/m}^2) \quad (9)$$

$$\text{Korozyon derinliği} = \frac{\text{Ağırlık kaybı} (\text{g/m}^2)}{\text{Metal yoğunluğu} (\text{kg/dm}^3)} \quad (\mu\text{m}) \quad (10)$$

2.2.7. pH Değerleri

pH ölçümleri için vida tutma direncinden kalan örnekler kullanılmıştır. Her bir varyasyona ait odun örnekleri, hava kurusu halde kimyasal analizlerde kullanılacak yeterli miktarı laboratuvar tipi Willey değirmeninde öğütülerek 40 mesh (425 μ) ve 60 mesh (250 μ)'lik sarsıntılı eleklerde elenmiştir. 40 meshlik elekten geçen 60 meshlik elek üzerinde kalan kısım alınarak ağzı kapaklı plastik şişelere konulmuştur.

Her test grubuna ait yaklaşık 2 gr örnek, içinde 60 ml destile edilmiş su bulunan plastik şişelere yerleştirilmiş ve bir karıştırıcı ile 24 saat çalkalanmıştır. Bu süre sonunda elde edilen çözelti süzgeç kâğıdında süzülerek pH metre ile pH ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Dizman, 2005; Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

2.2.8. Bor Analizi

Odunun bor analizi için yakılma işlemi AWWA A7 standardında öngörülen nitrik asit yöntemine göre yapılmıştır. Kontrol 1, kontrol 2 ve test örneği grupları laboratuvar tipi Wiley öğütme değirmeninde (IKA MF10, IKA-Werke, Staufen, Almanya) 0,5 mm çaplı elek aralığından geçirilerek öğütülmüş ve tam kuru hale getirilmiştir. Her bir varyasyona ait 2 g tam kuru öğütülmüş örnek bir behere alınmış, üzerine 32,3 (%65'lik-Merck) nitrik asit ilave edilmiştir. Beherler ısıtıcının üzerine koyulmuş ve örneklerden çıkan kahverengi dumanların bitmesini takiben 14,25 ml hidrojen peroksit (%35'lik-Merck) ilave edilmiştir ve bir süre daha ocakta bekletilmiştir. Asit ile yakma işlemi sonrasında çözeltiler Whatman # 4 nolu filtre kâğıdından geçirilerek süzülmüş, ardından 100 kat oranında saf su ile seyreltilmişlerdir. Örnek analizi KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ICP laboratuvarında, ICP (Spectro-Genesis Inductively Coupled Plasma) cihazında belirlenmiştir. 1000 ppm'lik ICP bor standardından (Merck) 0,5 ppm aralıklı 0,25-10 ppm arasında standart numuneler hazırlanmış ve bu standartlar makinada okutularak ölçümlerin regresyon eğrisi çıkarılmıştır. Deney örneklerinin reel bor miktarları bu regresyon modeline aktarılmış ve hesaplanan değerler kaydedilmiştir. Bu değerlerden ısıtılmış ve ısıtılmamış odun örneklerinde kalan borlu bileşik miktarı (%) hesaplanmıştır (AWWA A7, 1993).



Şekil 17. ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazı

2.3. İstatiksel Yöntemler

Veriler SPSS istatistik paket programı kullanılarak ve % 95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir. Veriler ve bunlar arasındaki istatistiksel farklılık çoğul varyans analizi ile hesaplanmıştır. Elde edilen farklılıkların hangi varyasyonlar ve ağaç malzeme arasında olduğunu belirlemek için ise Duncan testi uygulanmıştır (Batu, 1978).

3. BULGULAR

3.1. Fiziksel Özellikler

3.1.1. Retensiyon Değerleri

Borik asit ve Boraks ile emprenye edilen kayın, kavak, ladin ve karaçam odunu örneklerine ait retensiyon değerleri (kg/m^3) ve standart sapma (s) değerleri Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Retensiyon değerleri

Odun türü	Kimyasal madde	Retensiyon (kg/m^3)	s
Ladin	BA	23.99	0.74
	BX	25.58	0.05
Karaçam	BA	26.93	1.98
	BX	24.30	0.42
Kayın	BA	20.09	0.77
	BX	20.70	0.56
Kavak	BA	14.82	0.62
	BX	15,97	0.69

s: Standart sapma

Tablo 9'daki verilere göre; İYA türlerinin retensiyon miktarları yapraklı ağaç türlerinin retensiyon miktarlarına kıyasla daha fazla bulunmuştur. Bu durumun muhtemelen odun örneklerindeki doğal farklılıklardan ve ladin örneklerinde uygulanan fazla ön vakum ve basınç uygulanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak bütün ağaç türlerinde her türlü amaç için gereken miktarda borun odun örneği içerisine sevk edildiğini söylemek mümkündür.

3.1.2. Özgül Ağırlık

Kontrol ve test örneklerine ait özgül ağırlık değerleri Tablo 10'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ısıtıl işlem sonrası (kontrol 2) özgül ağırlık değerleri düşüş göstermiştir. Test örneklerinde ise kontrol 2 örneklerine kıyasla bir miktar artış gözlenmiştir. Fakat test örneklerinde elde edilen özgül ağırlık değerleri, kavak örnekleri hariç diğer örneklerde kontrol 1 örneklerine kıyasla düşüktür. Boraks ile emprenye edilmiş örneklerde oluşan özgül ağırlık kaybı borik asite oranla daha fazladır.

Kimyasal maddenin, ağaç türünün ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin özgül ağırlık üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizinde tekrarlı ölçümler testi sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları sırasıyla iğne yapraklı ağaçlar için Tablo 11'de, yapraklı ağaç türleri için Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo 10. Ağaç türlerine ait özgül ağırlık değerleri (gr/cm³)

Ağaç türü	Kontrol 1	Kontrol 2	Test (Emprenye + Isıl işlem)	
			BA	BX
Ladin	0,37	0,32	0,35	0,35
Karaçam	0,54	0,49	0,51	0,47
Kayın	0,72	0,69	0,70	0,69
Kavak	0,45	0,43	0,47	0,44

Tablo 11. Özgül ağırlık değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	0,510	1	0,510	664,964	0,000	Kontrol 2	0,4150 c
Kimyasal	0,036	3	0,012	15,589	0,000	Test BX	0,4205 c
Ağaç türü *Kimyasal	0,009	3	0,003	3,941	0,011	Test BA	0,4470 b
Hata	0,063	82	0,001			Kontrol 1	0,4682 a
Toplam	17,784	90					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı zıdır.

ÇVA sonuçlarına göre; özgül ağırlık üzerine ladin ve karaçam ağaç türlerinin, kimyasal maddelerin ve kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir. En büyük farklılık kontrol 1 örnekleri ile ısıl işlem uygulanmış kontrol 2 grupları arasında elde edilmiştir.

Tablo 12. Özgül ağırlık değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama- *Hg
Ağaç türü	0,956	1	0,956	740,910	0,000	Kontrol 1	0,5621 a
Kimyasal	0,006	3	0,002	1,542	0,214	Kontrol 2	0,5631 a
Ağaç türü *Kimyasal	0,005	3	0,002	1,296	0,286	Test BX	0,5713 a
Hata	0,068	53	0,001			Test BA	0,5838 a
Toplam	20,873	61					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı zdır.

ÇVA sonuçlarına göre; özgül ağırlık üzerine kayın ve kavak ağaç türlerinin özgül ağırlık üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, kimyasal maddelerin ve kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin ise özgül ağırlık üzerine etkisinin istatistiksel anlamda önemli olmadığı gözlenmiştir.

3.1.3. Su Alma Oranı, Teğetsel Genişleme ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik

Emprenye edilerek farklı kombinasyonlarda ısıl işleme maruz bırakıldıktan sonra farklı sürelerde (2, 4, 8, 24, 48, 72 saat) suda bekletilen ladin ve karaçam odunu örneklerinin su alma oranlarına (SAO) ait aritmetik ortalama (x), standart sapma (s), minimum (min.) ve maksimum (max.) değerler sırasıyla Tablo 13 ve Tablo 14’de gösterilmiştir. Kimyasal maddenin, ağaç türünün ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin su alma oranları üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizinde tekrarlı ölçümler testi sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen duncan testi sonuçları sırasıyla Tablo 15’de verilmektedir.

Tablo 13. 212 °C’de, 120 dak. süreyle ısıtım işlem uygulanan ladin odunu kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%)

Varyasyon	Suda bekleme süresi	Su alma oranı (%)							
		x		s		min		max	
Kontrol 1	2 saat	83,6		28,8		70,0		127,7	
	4 saat	94,7		25,9		74,8		135,0	
	8 saat	108,5		21,5		90,6		141,7	
	24 saat	128,4		16,7		112,3		154,6	
	48 saat	150,2		11,8		138,1		167,9	
	72 saat	161,8		9,5		150,6		175,6	
		x		s		min		max	
		BA	BX	BA	BX	BA	BX	BA	BX
Kontrol 2	2 saat	18,9	24,4	0,8	5,83	18,0	18,9	19,8	30,5
	4 saat	26,6	31,2	3,2	7,9	24,2	24,7	31,3	40,1
	8 saat	33,8	42,2	5,1	11,7	29,3	31,1	39,3	54,5
	24 saat	55,6	86,4	5,9	34,9	48,5	52,6	63,2	117,7
	48 saat	78,0	100,7	9,8	33,5	68,9	67,3	91,7	137,9
	72 saat	97,5	116,1	10,7	35,5	85,3	78,8	110,1	151,1
Test	2 saat	29,1	104,8	1,35	10,26	27,5	92,9	29,9	111,6
	4 saat	42,0	117,6	3,42	29,6	38,4	77,2	45,21	139,9
	8 saat	56,3	144,9	7,77	15,62	47,5	133,9	62,4	156,0
	24 saat	88,9	165,2	18,23	25,8	68,4	133,2	103,6	192,7
	48 saat	134,6	174,1	38,4	23,8	86,4	144,5	178,1	200,0
	72 saat	156,5	178,7	27,82	21,1	127,3	153,6	184,4	203,1

Tablo 14. 212 °C’de, 120 dak. süreyle ısıtım işlem uygulanan karaçam odunu kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%)

Varyasyon	Suda bekleme süresi	Su alma oranı (%)							
		x		s		min		max	
Kontrol 1	2 saat	66,9		16,0		35,2		91,6	
	4 saat	68,2		13,8		43,6		94,6	
	8 saat	70,2		17,9		47,6		105,9	
	24 saat	77,5		15,6		59,9		110,5	
	48 saat	84,8		14,4		67,7		114,2	
	72 saat	91,0		11,4		75,2		114,1	
		x		s		min		max	
		BA	BX	BA	BX	BA	BX	BA	BX
Kontrol 2	2 saat	54,3	51,7	9,51	9,2	37,1	38,0	65,7	63,6
	4 saat	55,2	55,3	13,8	8,8	24,6	44,2	66,9	68,6
	8 saat	59,5	59,1	12,6	8,0	31,3	50,0	69,7	70,5
	24 saat	70,5	68,1	12,0	9,1	47,2	56,2	87,3	78,4
	48 saat	83,8	73,2	18,0	16,5	61,3	48,5	121,8	90,5
	72 saat	90,1	78,0	19,7	16,0	69,3	54,3	133,7	96,9
Test	2 saat	62,3	57,6	11,8	3,1	50,5	53,3	88,8	60,8
	4 saat	67,8	67,0	13,5	2,1	43,5	64,2	95,4	69,7
	8 saat	72,0	71,5	12,3	3,5	51,2	66,3	98,7	75,4
	24 saat	79,8	80,8	10,7	4,8	70,4	73,4	104,9	86,0
	48 saat	85,0	83,7	9,2	8,3	77,1	75,6	103,7	96,8
	72 saat	90,7	90,2	9,7	8,9	83,1	81,5	111,2	105,0

Tablo 15. Su alma değerlerine ilişkin VA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	86518,719	1	86518,719	49,833	0,000	Kontrol 2	63,0747- c
Kimyasal	115879,481	3	38626,494	22,248	0,000	Test BA	85,2910- b
Ağaç türü *Kimyasal	72728,100	3	24242,700	13,963	0,000	Kontrol 1	91,6667- ab
Hata	93753,645	54	1736,179			Test BX	103,0008- a
Toplam							

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

VA sonuçlarına göre; su alma üzerine ladin ve karaçam ağaç türlerinin, kimyasal maddelerin ve kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; ladin ve karaçam türlerinde kontrol 1 ve test BA arasında önemli bir farklılık olmadığı en önemli fark ise kontrol 2 ile test BX arasında olduğu gözlenmiştir.

Emprenye edilerek farklı kombinasyonlarda ısıl işleme maruz bırakıldıktan sonra farklı sürelerde (2, 4, 8, 24, 48, 72 saat) suda bekletilen kayın ve kavak odunu örneklerinin su alma oranlarına (SAO) ait aritmetik ortalama (x), standart sapma (s), minimum (min.) ve maksimum (max.) değerler sırasıyla Tablo 16 ve Tablo 17’de verilmiştir. Kimyasal maddenin, ağaç türünün ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin su alma oranları üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizinde tekrarlı ölçümler testi sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen duncan testi sonuçları sırasıyla Tablo 18’de verilmektedir.

Tablo 16. 180 °C’de, 120 dak. süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın odunu kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%)

Varyasyon	Suda bekleme süresi	Su alma oranı (%)							
		x		s		min		max	
Kontrol 1	2 saat	25,4		6,8		18,9		35,7	
	4 saat	34,3		7,9		27,6		45,5	
	8 saat	41,8		8,0		34,3		53,3	
	24 saat	55,2		5,3		50,9		63,4	
	48 saat	61,4		4,0		58,4		67,6	
	72 saat	64,8		3,6		61,9		70,7	
		x		s		min		max	
		BA	BX	BA	BX	BA	BX	BA	BX
Kontrol 2	2 saat	23,1	24,5	3,7	1,7	19,6	22,3	26,7	26,4
	4 saat	29,7	31,3	4,3	1,3	25,8	29,5	34,3	32,3
	8 saat	36,7	38,6	4,4	1,5	31,9	36,4	41,2	40,2
	24 saat	51,8	54,2	2,9	1,0	49,2	53,0	54,6	55,5
	48 saat	56,2	56,9	0,7	1,2	55,3	55,2	57,1	57,9
	72 saat	58,6	58,6	1,5	0,6	57,1	57,8	60,3	59,1
Test	2 saat	18,6	24,6	1,3	0,5	17,6	23,8	20,5	25,0
	4 saat	25,4	33,7	1,8	0,9	24,2	32,4	28,2	34,7
	8 saat	32,6	43,1	1,7	1,7	31,3	41,4	35,1	45,3
	24 saat	47,9	59,4	1,3	2,1	45,8	58,9	45,8	62,3
	48 saat	52,2	62,0	2,4	2,7	48,7	55,3	54,3	65,4
	72 saat	54,0	64,1	2,7	3,7	50,4	61,1	57,1	69,3

Tablo 17. 180 °C’de, 120 dak. süreyle ısıtıl işlem uygulanan kavak kontrol 1, kontrol 2 ve test örneklerinin SAO (%)

Varyasyon	Suda bekleme süresi	Su alma oranı (%)							
		x		s		min		max	
Kontrol 1	2 saat	36,1		4,4		31,6		46,0	
	4 saat	46,7		4,9		40,5		56,4	
	8 saat	54,9		5,5		46,5		63,9	
	24 saat	74,3		8,6		62,0		94,4	
	48 saat	89,4		10,2		76,8		109,7	
	72 saat	98,9		11,1		83,1		120,3	
		x		s		min		max	
		BA	BX	BA	BX	BA	BX	BA	BX
Kontrol 2	2 saat	40,5	41,8	10,2	3,1	31,4	39,8	51,6	46,4
	4 saat	49,3	48,8	10,6	2,4	40,3	45,9	60,9	51,8
	8 saat	53,9	57,7	5,1	2,5	48,3	54,4	58,4	60,3
	24 saat	64,3	78,4	11,4	2,9	51,5	74,5	73,5	81,6
	48 saat	77,3	93,8	12,6	3,6	63,6	88,3	88,4	96,3
	72 saat	86,2	106,7	13,4	6,5	71,2	97,8	97,1	113,2
Test	2 saat	36,1	48,7	3,7	6,0	31,8	41,3	40,6	56,0
	4 saat	46,1	64,2	4,9	5,0	40,9	58,2	52,7	70,4
	8 saat	56,0	80,9	5,5	2,0	50,3	78,7	61,3	83,1
	24 saat	78,9	120,0	6,1	3,6	71,3	116,5	86,4	123,3
	48 saat	89,5	137,5	6,3	9,0	81,2	127,8	96,2	147,3
	72 saat	97,3	147,9	6,7	12,2	89,1	136,2	104,1	160,1

Hem iğne yapraklı ağaçlarda hem de yapraklı ağaç örneklerinin bütün varyasyonlarında suda bekletme süresinin uzamasıyla birlikte SAO'larının arttığı gözlenmiştir.

Tablo 18. Su alma değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	62635,982	1	62635,982	345,172	0,000	Test BA	52,6543- b
Kimyasal	10796,056	3	3598,685	19,832	0,000	Kontrol 2	55,9180- b
Ağaç türü *Kimyasal	8491,161	3	2830,387	15,598	0,000	Kontrol 1	57,4039- b
Hata	7621,443	42	181,463			Test BX	77,2586- a

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

ÇVA sonuçlarına göre; kayın ve kavak ağaç türlerinde ağaç türünün, kimyasal maddelerin ve kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; kayın ve kavak türlerinde kontrol 1, kontrol 2 ve test BA aynı homojenlik grubuna, test BX ise farklı bir homojenlik grubuna aittir.

Ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerinin teğetsel genişleme değerleri (TG) Tablo 19'da gösterilmektedir.

Tablo 19. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odunlarına ait TG değerleri (%)

Suda Bekletme süresi	Varyasyon		Test		Kontrol 2		Kontrol 1	
			x	s	x	s	x	s
72 saat	Ladin	BA	3,70	0,41	4,02	0,27	6,59	0,90
		BX	4,80	0,71	4,21	0,45		
	Karaçam	BA	2,63	0,92	4,64	0,26	8,46	1,04
		BX	5,28	0,44	5,65	1,11		
	Kayın	BA	9,65	1,54	7,78	0,55	10,56	1,64
		BX	8,60	2,38	7,65	1,19		
	Kavak	BA	6,26	1,21	5,30	1,07	7,64	0,86
		BX	5,42	0,90	4,76	0,49		

Borik asit ile muamele edildikten sonra 212 °C’de 120 dakika süre ile ısı işleme maruz bırakılan karaçam odunu örneklerinde en düşük teğetsel genişleme yüzdesi (%3,49) gözlenirken, en yüksek teğetsel genişleme yüzdesi (%9,65) ise yine borik asit ile empenye edildikten sonra 190 °C’de 90 dakika süre ile ısı işleme tabi tutulan kayın odun örneklerinde tespit edilmiştir.

Kimyasal maddenin, ağaç türünün ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin teğetsel genişleme üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizinde tekrarlı ölçümler testi sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen duncan testi sonuçları sırasıyla İYA’lar için Tablo 20’de, YA’lar için Tablo 21’de verilmektedir.

Tablo 20. Teğetsel genişleme değerlerine ilişkin ÇVA ve duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	7,943	1	7,943	3,512	0,066	Test BA	3,5700 c
Kimyasal	123,406	3	41,135	18,188	0,000	Kontrol 2	4,7245 b
Ağaç türü *Kimyasal	7,886	3	2,629	1,162	0,333	Test BX	5,0890 b
Hata	122,129	54	2,262			Kontrol 1	7,8012 a
Toplam	2091,307	62					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

ÇVA sonuçlarına göre; ladin ve karaçam türlerinde kimyasal maddenin teğetsel genişleme üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, ağaç türü ve bunların etkileşiminin teğetsel genişleme üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 21. Teğetsel genişleme değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	101,388	1	101,388	49,825	0,000	Kontrol 2	6,3706- c
Kimyasal	69,556	3	23,185	11,394	0,000	Test BX	7,0088- bc
Ağaç türü *Kimyasal	0,787	3	0,262	0,129	0,942	Test BA	7,9525- ab
Hata	87,501	43	2,035			Kontrol 1	9,0205- a
Toplam	3294,212	51					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

ÇVA sonuçlarına göre; kayın ve kavak türlerinde ağaç türünün ve kimyasal maddenin teğetsel genişleme üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, ağaç türü kimyasal madde etkileşiminin ise teğetsel genişleme üzerine etkisinin istatistiksel anlamda önemli olmadığı gözlenmiştir.

Ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerine ait GET değerleri Tablo 22’de verilmektedir.

Tablo 22. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odunlarına ait ortalama GET değerleri (%)

Suda Bekletme süresi	Varyasyon		Test		Kontrol 2	
			x	s	x	s
72 saat	Ladin	BA	43,80	7,19	38,25	5,53
		BX	36,34	3,90		
	Karaçam	BA	68,90	10,91	48,18	9,30
		BX	37,59	5,21		
	Kayın	BA	20,69	6,68	23,32	8,23
		BX	7,67	7,12		
	Kavak	BA	30,50	9,85	39,77	6,30
		BX	30,40	3,34		

Yapraklı ağaç türlerinde sadece ısıtma işlemli kontrol grubunun (kontrol 2) borlu bileşiklerle emprenyeye edildikten sonra ısıtma işlemine tabi tutulan odun örneklerine oranla GET değerleri açısından daha iyi bir performans sağladığı görülmektedir (Tablo 22). İğne yapraklı ağaç türlerinde ise en yüksek GET değeri BA ile emprenyeye edilmiş örneklerde görülmüştür.

Kimyasal maddenin, ağaç türünün ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin GET üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizinde tekrarlı ölçümler testi sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen duncan testi sonuçları sırasıyla İYA’lar için Tablo 23’de, YA’lar için Tablo 24’de verilmektedir.

Tablo 23. GET değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	854,951	1	854,951	13,303	0,001	Test BA	37,2813 b
Kimyasal	1369,699	2	684,849	10,656	0,000	Kontrol 2	42,0653 b
Ağaç türü *Kimyasal	486,911	2	243,455	3,788	0,037	Test BX	54,5600 a
Hata	1542,414	24	64,267				
Toplam	61472,869	30					

*Hg: Homojen gruplar. Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar. İstatistiksel olarak farkı vardır.

İYA'da ÇVA sonuçlarına göre, ağaç türü, kimyasal madde ve ağaç türü kimyasal madde etkileşiminin GET değerleri üzerine etkisinin ise istatistiksel açıdan önemli olduğu ortaya konmuştur. Duncan testine göre; kontrol 2 örnekleri ile BA ile muameleli test örnekleri aynı etkiyi göstermiştir. En yüksek etkiyi ise BX ile empenyeli test örnekleri göstermiştir.

Tablo 24. GET değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	1014,339	1	1014,339	16,093	0,001	Test BX	16,7620 b
Kimyasal	591,116	2	295,558	4,689	0,026	Test BA	25,5950 ab
Ağaç türü *Kimyasal	98,894	2	49,447	0,785	0,474	Kontrol 2	31,9125 a
Hata	945,430	15	63,029				
Toplam	18524,950	21					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı vardır.

YA'da ÇVA sonuçlarına göre, kimyasal maddelerin ve ağaç türünün GET değeri üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, ağaç türü kimyasal etkileşiminin herhangi bir etkisinin olmadığı ortaya konmuştur. Test BA ve test BX Duncan testine göre aynı etkiyi göstermesine rağmen, en yüksek GET değeri kontrol 2 örneklerinde elde edilmiştir.

3.2. Mekanik Özellikler

3.2.1. Statik Eğilme Direnci

Emprenye işlemi uygulaması sonrası ısı işleme maruz bırakılmış örnekler (test) ile bu örneklere ait kontrol gruplarının eğilme direnci değerlerine ait aritmetik ortalama (x) ve standart sapma (s) değerleri Tablo 25’de gösterilmektedir. Kimyasal maddenin, ağaç türünün ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin eğilme direnci üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen duncan testi sonuçları sırasıyla İYA için Tablo 26’da, YA için 27’de verilmektedir.

Tablo 25. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerine ait ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Varyasyon		Test		Kontrol 2		Kontrol 1	
		x	s	x	s	x	s
Ladin	BA	57,23	8,79	57,69	9,55	60,23	5,94
	BX	62,07	17,76				
Karaçam	BA	81,86	14,61	99,49	15,11	107,37	20,30
	BX	81,53	17,17				
Kayın	BA	135,24	10,91	137,03	16,11	161,8	6,48
	BX	179,88	42,90				
Kavak	BA	98,84	4,35	94,43	6,55	118,26	11,55
	BX	74,56	22,46				

Tablo 26. Eğilme direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	11339,044	1	11339,044	41,565	0,000	Test BA	72,0105 c
Kimyasal	1396,365	3	465,455	1,706	0,181	Test BX	73,1929 b
Ağaç türü *Kimyasal	1302,214	3	434,071	1,591	0,207	Kontrol 2	77,8844 ab
Hata	10912,183	40	272,805			Kontrol 1	88,5141 a
Toplam	331473,415	48					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı değildir.

İğne yapraklı ağaçlarda ÇVA sonuçlarına göre; ağaç türünün eğilme direnci üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, kimyasal maddelerin ve kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin ise eğilme direnci üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre, en büyük farklılığın BA ile empenye edilmiş örnekler ile kontrol 1 grubu örnekleri arasında gözlenmiştir. Kontrol 1 ile kontrol 2 arasında ise anlamlı bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 27. Eğilme direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	15685,399	1	15685,399	66,124	0,000	Test BX	116,9212 a
Kimyasal	2466,028	3	822,009	3,465	0,037	Test BA	117,0450 a
Ağaç türü *Kimyasal	1509,423	3	503,141	2,121	0,131	Kontrol 2	121,9500 a
Hata	4507,038	19	237,213			Kontrol 1	137,5144 a
Toplam	446854,952	27					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı zdır.

Yapraklı ağaçlarda ÇVA sonuçlarına göre; ağaç türünün ve kimyasal maddelerin eğilme direnci üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu, kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin eğilme direnci üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olmadığı anlaşılmıştır.

3.2.2. Liflere Paralel Basınç Direnci

Emprenye işlemi uygulaması sonrası ısıtılma maruz bırakılmış örnekler ile bu örneklere ait kontrol gruplarının liflere paralel basınç direnci değerlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 28’de gösterilmektedir. Kimyasal maddenin, ağaç türünün ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin liflere paralel basınç direnci üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları sırasıyla İYA için Tablo 29’da, YA için Tablo 30’da yer almaktadır.

Tablo 28. Ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerine ait ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri (N/mm²)

Varyasyon		Test		Kontrol 2		Kontrol 1	
		x	s	x	s	x	s
Ladin	BA	13,73	3,37	17,02	3,55	23,59	2,20
	BX	16,21	4,44				
Karaçam	BA	14,60	3,48	24,22	4,04	40,55	5,08
	BX	24,71	5,98				
Kayın	BA	35,25	6,97	57,27	7,53	72,93	2,59
	BX	52,60	10,92				
Kavak	BA	22,80	4,49	27,35	5,22	36,30	8,12
	BX	26,79	6,79				

Isıl işlem sonrası en yüksek basınç değeri kayın odun örneklerinde elde edilmiştir. emprenye işlemi ve ısıl işlemde en fazla etkilenen tür ise karaçam olmuştur.

Tablo 29. Liflere paralel basınç direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	1035,023	1	1035,023	27,343	0,000	Test BA	14,8120 c
Kimyasal	1756,142	3	585,381	15,464	0,000	Kontrol 2	20,5254 b
Ağaç türü *Kimyasal	375,669	3	125,223	3,308	0,025	Test BX	20,9319 b
Hata	2763,291	73	37,853			Kontrol 1	29,6877 a
Toplam	45916,807	81					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farklıdır.

İğne yapraklı ağaçlarda ÇVA sonuçlarına göre; ağaç türünün, kimyasal maddelerin ve kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre, en büyük farklılık BA ile emprenye edilmiş örnekler ile kontrol 1 örnekleri arasında gözlenmiştir.

Tablo 30. Liflere paralel basınç direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	10074,075	1	10074,075	158,137	0,000	Test BA	29,8660 c
Kimyasal	3832,778	3	1277,593	20,055	0,000	Kontrol 2	40,4027 b
Ağaç türü *Kimyasal	1195,733	3	398,578	6,257	0,001	Test BX	40,5607 b
Hata	4204,515	66	63,705			Kontrol 1	50,8657 a
Toplam	140401,970	74					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

Yapraklı ağaçlarda ÇVA sonuçlarına göre; ağaç türünün, kimyasal maddelerin ve kimyasal madde ağaç türü etkileşiminin liflere paralel basınç direnci üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre, en büyük farklılık BA ile emprenye edilmiş örnekler ile kontrol 1 örnekleri arasında gözlenmiştir. Liflere paralel basınç direncini en fazla test BA etkilediği Duncan testiyle ortaya konmuştur. Kontrol 2 ile test BX arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı anlaşılmıştır.

3.2.3. Vida Tutma Direnci

Isıl işleme maruz bırakılmış odun örnekleri ile ısı işlem uygulanmamış kontrol örneklerinin vida tutma direnci değerlerine ait aritmetik ortalama (\bar{x}), standart sapma (s), minimum (min.) ve maksimum (mak.) değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 31’de verilmektedir. Ağaç türünün ve ısı işlem sıcaklığının ve bu iki varyasyon kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin vida tutma direnci üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları sırasıyla İYA’lar için Tablo 32’de, YA’lar için Tablo 33’de gösterilmektedir.

Tablo 31. Isıl işlem uygulanmış test örnekleri ile kontrol örneklerinin vida tutma direnci değerleri (kp)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre Dak.	TEST				KONTROL			
			x	s	Min.	Max.	x	s	Min.	Max.
Ladin	212	90	193	32	170	230	184	31	150	225
		120	122	7	116	130	195	16	140	182
	220	90	126	30	90	130	163	13	150	180
		120	124	25	100	133	175	25	140	190
Karaçam	212	90	238	56	182	260	329	39	304	390
		120	247	20	230	280	334	30	310	380
	220	90	219	10	200	228	359	38	300	390
		120	241	27	210	270	359	28	335	400
Kayın	180	90	405	54	313	460	495	21	480	510
		120	343	36	292	380	485	49	450	520
	190	90	370	45	312	390	497	48	456	551
		120	270	28	249	290	487	1	486	488
Kavak	180	90	241	28	198	270	281	49	230	360
		120	248	18	228	275	247	34	200	290
	190	90	223	33	160	250	271	35	235	340
		120	226	44	185	300	245	35	185	270

Isıl işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak ladin odunu vida tutma direnci azalma göstermiştir. Karaçam odununda ise ısıl işlemde sıcaklık artışının etkisi daha az belirgindir. Kayın odununda 190 °C’de 120 dakika ısıl işlem sonrası vida tutma direnci %44,56 oranında azalma göstermiştir. Kavak odununda 180 °C 120 dakika varyasyonda %0,40 oranında bir vida tutma direnci artışı gerçekleşmiştir.

Tablo 32. Vida tutma direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	168725,415	1	168725,415	86,012	0,000	220 °C-90dak	167,4545 c
Sıcaklık	124853,723	4	31213,431	15,912	0,000	220 °C-120dak.	182,7500 bc
Sıcaklık *Ağaç türü	34291,013	4	8572,753	4,370	0,003	212 °C-90dak.	211,2000 b
Hata	156932,083	80	1961,651			212 °C-120dak.	212,4444 b
Toplam	5446639,000	90				Kontrol	262,3750 a

*Hg: Homojen gruplar. Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar. İstatistiksel olarak farkı vardır.

ÇVA sonuçlarına göre; ağaç türü, ısıtma işlem sıcaklığı ve her ikisinin etkileşiminin vida tutma direnci üzerine etkisinin önemli olduğu gözlenmiştir. Duncan testine göre, kontrole kıyasla en büyük farklılık 220 °C'de 90 dakikalık varyasyonda gözlenmiştir. Analiz sonuçlarına iğne yapraklı ağaçlarda sürenin önemli bir farklılığa yol açmadığı anlaşılmıştır. En yüksek fark 220 °C'de ve 90 dakika ile kontrol örnekleri arasında gözlenmiştir.

Tablo 33. Vida tutma direnci değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	172531,030	1	172531,030	118,343	0,000	190 °C -120dak.	232,1429 d
Sıcaklık	85280,229	4	21320,057	14,624	0,000	190 °C - 90dak.	270,2222 c
Sıcaklık *Ağaç türü	41924,560	4	10481,140	7,189	0,000	180 °C - 120dak.	287,2222 bc
Hata	83099,533	57	1457,887			180 °C - 90dak.	323,0833 a
Toplam	6328793,000	67					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı yoktur.

ÇVA sonuçlarına göre; ağaç türü, ısıtma işlem sıcaklığının ve her ikisinin etkileşiminin istatistiksel açıdan vida tutma direnci üzerine etkisinin önemli olduğu gözlenmiştir. En yüksek fark 190 °C -120 dakika ile 180 °C – 90 dakika varyasyonları arasında gözlenmiştir.

3.3. Biyolojik Özellikler

3.3.1. Mantar Çürüklük Testi

Beyaz çürüklük mantarı *Trametes versicolor* mantarı degradasyonuna maruz bırakılan kavak, kayın test ve kontrol örnekleri ile esmer çürüklük mantarı *Coniophora puteana* mantarına maruz bırakılan ladin, karaçam test ve kontrol örneklerine ait yüzde ağırlık kaybı değerleri Tablo 34'de gösterilmektedir. Kullanılan örnekler sadece ısıtma işlemi tabii tutulmuş olup herhangi bir emprenye işlemi uygulanmamıştır

Tablo 34. Isıl işlem uygulanmış odun örneklerinde mantar çürüklük testine ait ağırlık kaybı değerleri

Ağaç Türü	Varyasyon	Ağırlık Kaybı (%)			
		X- Test	S- Test	X-Kontrol	S- Kontrol
Ladin	212 °C -90 dak.	1,78	0,03	19,41	5,47
	212 °C -120 dak.	2,44	0,01	13,45	4,97
	220 °C -90 dak.	1,35	0,20	17,21	4,45
	220 °C -120 dak.	2,02	0,69	4,85	0,82
Karaçam	212 °C -90 dak.	1,29	0,96	15,91	4,82
	212 °C -120 dak.	1,86	0,87	14,28	4,17
	220 °C -90 dak.	2,01	1,11	25,83	2,72
	220 °C -120 dak.	1,58	0,87	17,63	5,64
Kayın	180 °C -90 dak.	4,67	3,31	19,78	1,90
	180 °C -120 dak.	2,87	0,03	10,9	1,30
	190 °C -90 dak.	1,80	0,48	16,46	4,72
	190 °C -120 dak.	5,18	1,91	15,22	1,75
Kavak	180 °C -90 dak.	10,01	3,19	16,16	2,80
	180 °C -120 dak.	17,62	0,32	17,85	4,45
	190 °C -90 dak.	5,58	1,18	14,73	0,81
	190 °C -120 dak.	9,58	1,49	16,67	3,83

Ağaç türünün ve ısıl işlem sıcaklığının ve bu iki kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin mantar çürüklük dayanımı üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları sırasıyla İYA'lar için Tablo 35'te, YA'lar için Tablo 36'da verilmektedir.

Tablo 35. Çürüme sonrasındaki ağırlık kaybı değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	47,928	1	47,928	10,281	0,004	212 °C - 90 dak.	1,5338 b
Sıcaklık	149,075	3	49,692	10,660	0,000	220 °C - 90 dak.	1,7286 b
Sıcaklık *Ağaç türü	135,513	3	45,171	9,690	0,000	220 °C - 120 dak.	1,8211 b
Hata	111,880	24	4,662			212 °C - 120 dak.	6,6613 a
Toplam	722,498	32					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

Tablo 36. Çürüme sonrasındaki ağırlık kaybı değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	136,937	1	136,937	45,800	0,000	190 °C - 90 dak.	3,6950 c
Sıcaklık	784,006	3	261,335	87,407	0,000	190 °C - 120 dak.	7,5443 b
Sıcaklık *Ağaç türü	238,434	3	79,478	26,582	0,000	180 °C - 120 dak.	8,7720 b
Hata	56,807	19	2,990			180 °C - 90 dak.	17,7157 a
Toplam	3480,426	27					

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı zdır.

ÇVA sonuçlarına göre; iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlarda, ağırlık kaybı üzerine ısı işlem sıcaklığının, ağaç türü ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir.

3.4. Korozyon Oranının Belirlenmesi

Isıl işleme tabi tutulan örnekler ve bunlara ait kontrol örneklerinden elde edilen korozyon oranı ve korozyon derinliği değerlerine ait aritmetik ortalama (x), standart sapma (s), minimum (min.) ve maksimum (mak) değerler karşılaştırmalı olarak sırasıyla Tablo 37 ve Tablo 40'de verilmektedir. Tablo 37'de yer alan değerler metalde meydana gelen ağırlık kaybını (gr/m^2) göstermektedir. Korozyon deneylerinde her varyasyon için 3 test ve her ağaç türü için 5 kontrol olmak üzere 48 adet test ve 20 adet kontrol örneği üzerinde çalışılmıştır. Kullanılan örnekler sadece ısı işlem tabi tutulmuşlardır. Herhangi bir emprenye işlemi bulunmamaktadır.

Ağaç türünün ve ısı işlem sıcaklığının ve bu iki kaynağının karşılıklı etkileşimlerinin korozyon oranı üzerine etkilerinin araştırıldığı çoğul varyans analizi (ÇVA) sonuçları ve bunun sonucunda ortaya çıkan anlamlı farklılıkların hangi varyasyonlar arasında olduğunu belirlemek üzere gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları sırasıyla İYA'lar için Tablo 38'de, YA'lar için 39'da ve korozyon derinliği için yapılan analiz sonuçları ise İYA'lar için Tablo 41'de, YA'lar için Tablo 42'de yer almaktadır.

Tablo 37. Metal örneklerde meydana gelen ağırlık kaybı değerleri (gr/m²)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre dak.	TEST				KONTROL			
			x	s	Min.	Max.	x	s	Min.	Max.
Ladin	212	90	133,4	40,0	87,7	162,1	301,2	37,8	250,2	340,0
		120	151,5	96,1	83,5	219,5				
	220	90	198,0	33,9	158,9	218,6				
		120	223,5	97,4	111,3	286,7				
Karaçam	212	90	167,8	27,3	148,5	187,1	256,6	49,6	199,4	288,8
		120	189,2	83,6	130,1	248,3				
	220	90	220,2	30,5	198,6	241,8				
		120	333,3	81,8	275,5	391,1				
Kayın	180	90	89,3	4,3	86,2	92,3	235,2	50,2	178,3	273,4
		120	101,0	22,5	85,0	116,9				
	190	90	151,0	4,4	147,9	154,1				
		120	173,0	5,2	169,4	176,7				
Kavak	180	90	131,7	27,1	101,1	152,7	190,5	31,8	164,1	230,8
		120	80,40	8,6	70,8	87,7				
	190	90	213,2	43,7	182,3	244,1				
		120	310,4	17,9	297,8	323,1				

Genel olarak sıcaklık artışına paralel olarak metal kaybı artış göstermiştir. En yüksek korozyon oranı 220 °C’de 120 dakikalık süre ile ısıtılmış uygulanan karaçam örneklerinde gerçekleşmiştir. Metal kaybının en az olduğu varyasyon ise 180 °C’de 120 dakikalık süre ile ısıtılmış uygulanan kavak örneklerinde gözlenmiştir.

Tablo 38. Korozyon değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	3343,731	1	3343,731	0,704	0,413	212 °C - 90 dak.	147,1000 d
Sıcaklık	61023,173	4	15255,793	3,210	0,039	212 °C - 120 dak.	170,3500cd
Sıcaklık *Ağaç türü	32678,571	4	8169,643	1,719	0,192	220 °C - 90 dak.	206,9000 bc
Hata	80793,193	17	4752,541			Kontrol	257,2750b
Toplam	173310,852	27				220 °C - 120 dak.	267,3200 a

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkı zıdır.

ÇVA sonuçlarına göre; iğne yapraklı ağaçlarda, korozyon değerleri üzerine ağaç türü ve ağaç türü sıcaklık etkileşiminin istatistiksel açıdan önemli olmadığı gözlenmiştir,

sıcaklığın ise korozyon değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu gözlenmiştir. Bütün varyasyonlar aynı homojenlik grubuna aittir.

Tablo 39. Korozyon değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	7357,654	1	7357,654	8,825	0,010	180 °C - 120 dak.	88,6200 c
Sıcaklık	80913,696	4	20228,424	24,264	0,000	180 °C - 90 dak.	114,7400 c
Sıcaklık *Ağaç türü	25200,238	4	6300,060	7,557	0,002	190 °C - 90 dak.	182,1000 b
Hata	12505,327	15	833,688			Kontrol	209,6571 ab
Toplam	820551,238	25				190 °C - 120 dak.	241,7500 a

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farkıdır.

ÇVA sonuçlarına göre; Yapraklı ağaçlarda, korozyon değerleri üzerine sıcaklığın, ağaç türü ve bunların karşılıklı etkileşiminin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre kontrol grubu ile 190 °C- 90 dakika varyasyon arasında fark olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 40. Metal örneklerinde oluşan korozyon derinliği (µm)

Odun Türü	Sıcaklık (°C)	Süre dak.	TEST				KONTROL			
			x	s	Min.	Max.	x	s	Min.	Max.
Ladin	212	90	17,1	5,13	11,2	20,8	38,61	4,85	32,1	43,6
		120	19,2	12,3	10,7	28,1				
	220	90	25,4	4,3	20,4	28,0				
		120	28,7	12,5	14,3	38,8				
Karaçam	212	90	21,5	3,5	19,0	24,0	32,9	6,4	25,6	37,0
		120	24,3	10,7	16,7	31,8				
	220	90	28,2	3,92	25,5	31,0				
		120	42,7	10,5	35,3	50,1				
Kayın	180	90	11,4	0,5	11,1	11,8	30,16	6,44	22,9	35,0
		120	12,9	2,9	10,9	15,0				
	190	90	19,4	0,6	19,0	19,8				
		120	22,2	0,7	21,7	22,7				
Kavak	180	90	16,9	3,5	13,0	19,6	24,4	4,07	21,0	29,6
		120	10,3	1,1	9,1	11,2				
	190	90	27,3	5,6	23,4	31,3				
		120	39,8	2,3	38,2	41,4				

Genel olarak sıcaklık artışına paralel olarak metal kaybı artış göstermiştir. En yüksek korozyon oranı 220 °C’de 120 dakikalık süre ile ısıl işlem uygulanan karaçam örneklerinde gerçekleşmiştir. Metal kaybının en az olduğu varyasyon ise 180 °C’de 120 dakikalık süre ile ısıl işlem uygulanan kavak örneklerinde gözlenmiştir.

Tablo 41. Korozyon derinliği değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (İYA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	102,250	1	102,250	1,713	0,209	212 °C - 90 dak.	18,8600 d
Sıcaklık	1204,962	4	301,240	5,045	0,008	212 °C - 120 dak.	21,8250 c
Sıcaklık *Ağaç türü	281,192	4	70,298	1,177	0,358	220 °C - 90 dak.	26,5400 bc
Hata	955,317	16	59,707			220 °C - 120 dak.	34,2800 b
Toplam	23536,480	26				Kontrol	36,1571 a

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

ÇVA sonuçlarına göre; iğne yapraklı ağaç türlerinde, sıcaklığın korozyon derinliği üzerine etkisinin olduğu, ağaç türü ve sıcaklık ağaç türü etkileşiminin korozyon üzerine etkisinin olmadığı istatistiksel olarak ortaya konmuştur.

Tablo 42. Korozyon derinliği değerlerine ilişkin ÇVA ve Duncan testi sonuçları (YA)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	df	Kareler ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi	Varyasyon	Ortalama *Hg
Ağaç türü	120,267	1	120,267	8,829	0,010	180 °C - 120 dak.	11,3600 c
Sıcaklık	1330,733	4	332,683	24,423	0,000	180 °C - 90 dak.	14,7200 bc
Sıcaklık *Ağaç türü	414,087	4	103,522	7,600	0,001	190 °C - 90 dak.	23,3750 b
Hata	204,329	15	13,622			Kontrol	26,8857 ab
Toplam	13495,970	25				190 °C - 120 dak.	31,0000 a

*Hg: Homojen gruplar, Aynı harflerle işaretlenmiş varyasyonlar, İstatistiksel olarak farksızdır.

ÇVA sonuçlarına göre; yapraklı ağaç türlerinde sıcaklığın, ağaç türünün ve her ikisinin etkileşiminin korozyon derinliği üzerine etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre; 190 °C - 120 dak. varyasyon ile kontrol grubu ve 180 °C - 90 dak. ile 190 °C - 90 dak. grupları arasında fark olmadığı gözlenmiştir.

3.5. pH Ölçümü

Bor bileşikleri ile emprenye edilmiş ve ısı işleme tabi tutulmuş karaçam ve ladin odunu örneklerine ait pH değerleri Tablo 43’de, kavak ve kayın odunu örneklerine ait pH değerleri ise Tablo 44’te yer almaktadır.

Tablo 43. İğne yapraklı ağaçlara ait pH değerleri

Varyasyon	Karaçam	Ladin
Kontrol	5,5	5,0
212 °C-90 dak.	4,8	4,7
212 °C-120 dak.	4,2	5,3
220 °C-90 dak.	4,7	4,5
220 °C-120 dak.	4,1	4,9
BX	8,2	8,7
BA	4,3	4,4
BX + ısı işleme(212 °C-120 dak.)	6,2	8,5
BA + ısı işleme (212 °C-120 dak.)	3,9	4,1

Tablo 44. Yapraklı ağaçlara ait pH değerleri

Varyasyon	Kavak	Kayın
Kontrol	5,2	5,1
180 °C-90 dak.	4,3	4,5
180 °C-120 dak.	4,3	4,4
190 °C-90 dak.	4,8	4,4
190 °C-120 dak.	4,5	4,6
BX	8,4	7,2
BA	5,1	5,0
BX + ısı işleme (190 °C-90 dak.)	8,6	8,0
BA + ısı işleme (190 °C-90 dak.)	6,1	5,2

3.6. Isıl İşlem Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Borik Asit ve Boraks Oranları

Isıl işlem esnasında buhar ortamına maruz bırakılan odun örneklerindeki olası bor kaybını belirlemek amacıyla, ısıl işlem öncesi bor miktarı ile ısıl işlem sonrası bor miktarı orantısal olarak kıyaslanarak nihai üründe kalan bor miktarı değerleri her bir ağaç türü için (% olarak) Tablo 45'de gösterilmektedir.

Tablo 45. Isıl işlem sonrasında odunda kalan bor miktarı

Ağaç türü	Isıl işlem sonrası kalan bor miktarı (%)	
	BA	BX
Ladin	37	63
Karaçam	40	80
Kayın	68	95
Kavak	98	83

4. İRDELEME

Çalışmanın bu bölümünde; emprenye işlemi sonrası ısıtılma maruz bırakılan test örnekleri ile bu örnek gruplarına ait kontrol örneklerinde meydana gelen değişimler, grafiksel analizlerin ışığı altında açıklanmaya çalışılmıştır.

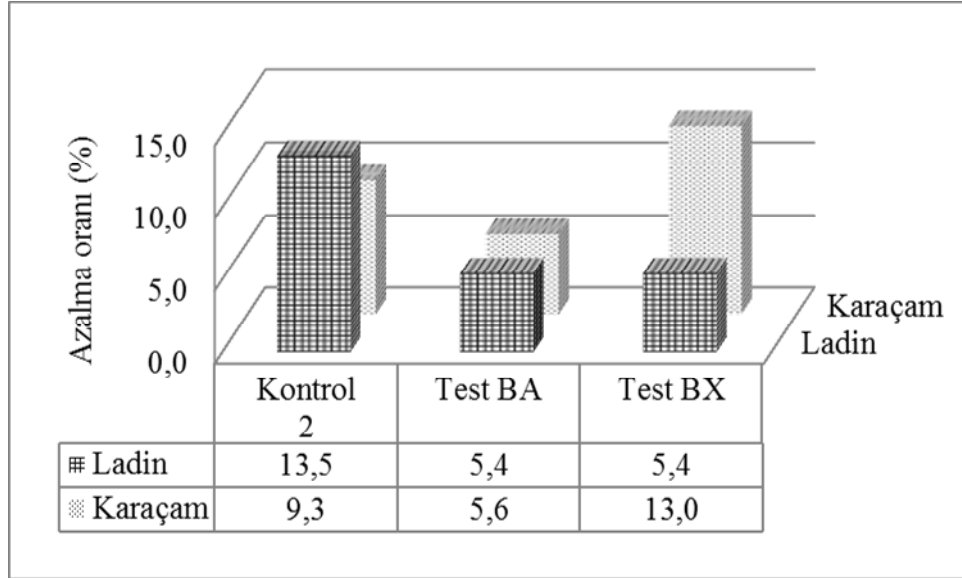
4.1. Fiziksel Özellikler

4.1.1. Özgül Ağırlık

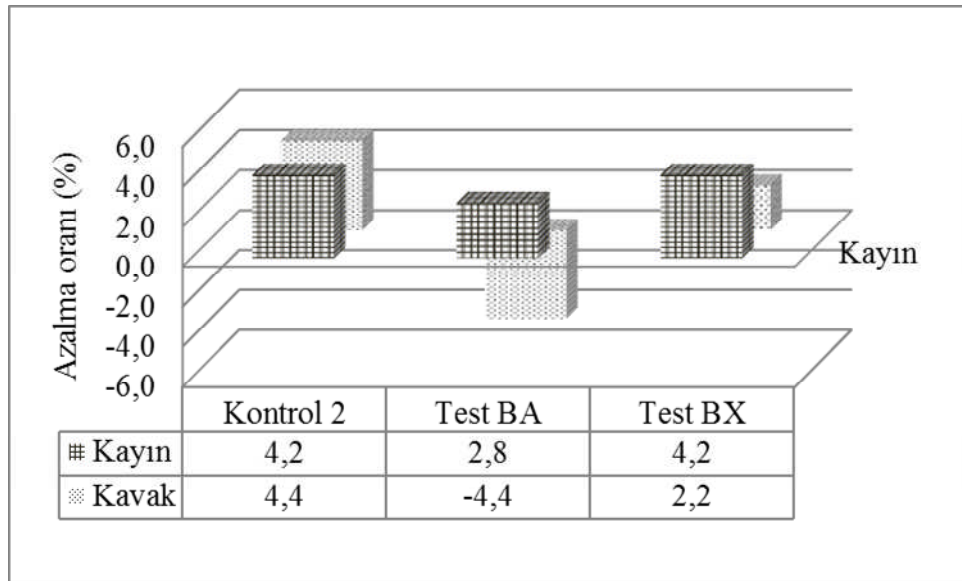
Emprenye edilen ve ısıtılma tabii tutulan her dört ağaç türü, İYA'lar (Şekil 18) ve YA'lar (Şekil 19) kendi aralarında olmak üzere özgül ağırlık değerlerindeki azalma oranları açısından kontrole oranla (kontrol 1) mukayese edilmiştir.

BA ve BX ile emprenye edildikten sonra ısıtılma maruz bırakılan ladin odun örneklerinde, herhangi bir işleme tabii tutulmayan kontrol 1 örneklerine oranla %5,4'erlik bir azalma kaydedilmiştir. BX emprenyesinde daha fazla olmak üzere benzer bir azalma karaçam örneklerinde de meydana gelmiştir. Söz konusu varyasyonda kontrol 1'e oranla BA ile emprenyeli örneklerdeki kayıp %5,6 iken, BX ile emprenyeli örneklerdeki kayıp %13 olarak tespit edilmiştir. Sadece ısıtılma uygulanmış kontrol 2 grubu ile karşılaştırıldığında ise, kontrol 1'e oranla ladinde %13,5'lük, karaçamda ise %9,3'lük bir azalma kaydedilmiştir (Şekil 18).

Kayın ve kavak odunu test örneklerinde, ladin ve karaçam odunlarına benzer oranda bir düşüş gözlenmemiştir. Bu ağaç türlerinde oluşan özgül ağırlık kaybı oranları daha düşük miktardadır (Şekil 19).



Şekil 18. Ladin ve karaçam odunu test örnekleri ile kontrol 2 örneklerinde kontrol 1'e oranla özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları (%)



Şekil 19. Kayın ve kavak odunu test örnekleri ile kontrol 2 örneklerinde kontrol 1'e oranla özgül ağırlık değerlerine ait azalma oranları (%)

BA ile emprenye edilmiş kavak odunu örnekleri hariç, YA odunu örneklerinde de genel olarak kontrole oranla %2,2- %4,4 arasında değişen bir özgül ağırlık kaybı söz konusudur. Emprenye işlemi sonrası ağaç malzemenin ağırlığı arttığından dolayı özgül ağırlık değerinin de artması beklenmektedir. Literatürde sarıçam ve Doğu kayını odunlarının çeşitli emprenye maddeleri ile işlem görmesi sonucu yoğunluklarında artış

olduğu bildirilmektedir (Örs vd., 1999). Emprenye ile ısıtıl işlemin kombine edildiği bu çalışmada ısıtıl işlemin odun örneklerinde meydana getirdiği ağırlık kaybının, emprenye işleminin kazandıracığı ağırlık artışından daha fazla öne çıktığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda ısıtıl işlem sonrası özgül ağırlık değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. 24 saat boyunca 200 °C’de ısıtıl işlem uygulanan ladin (*Picea abies*) odununda %15,5 oranında ağırlık kaybı ve kayın (*Fagus orientalis*) odununda %9,8 oranında ağırlık kaybı meydana geldiği tespit edilmiştir (Fengel, 1966; Fengel ve Wegener, 1989). BA ile emprenye edilmiş ve ardından ısıtıl işleme tabi tutulmuş kavak odun örneklerinde % 4,4 oranında elde edilen ağırlık artışı odun örneklerinde kalan borik asit miktarına atfedilebilir. Nitekim Tablo 45’de de görüldüğü gibi ısıtıl işlem sonrasında odun içinde kalan % bor miktarı açısından en yüksek (%98) kazanımın söz konusu varyasyondan elde edilmesi bu yargıyı kuvvetlendirmektedir.

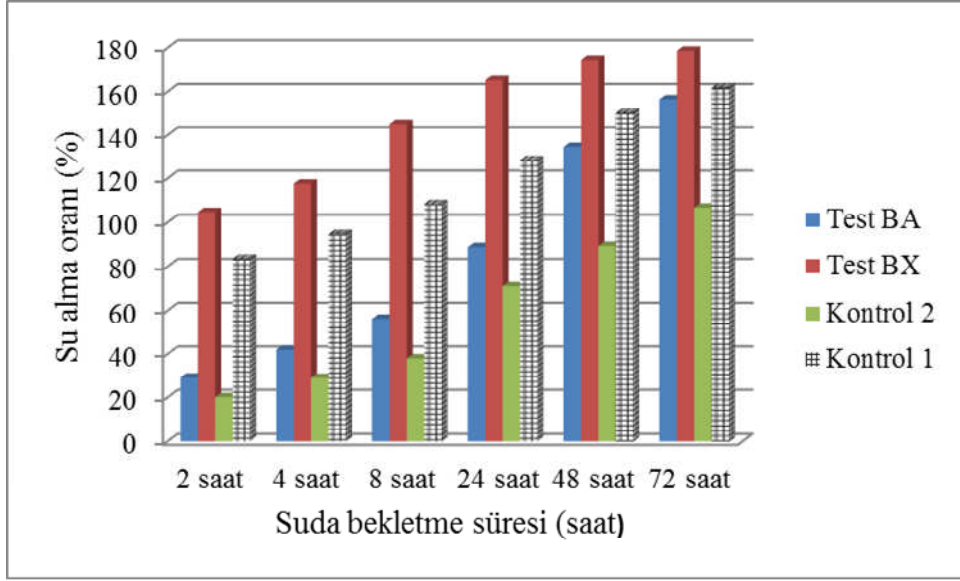
Kontrol 1’e oranla kontrol 2’de meydana gelen azalmaları, mevcut hidroksil gruplarının azalması sonucu görülen odun bünyesinde tutulan suyun kaybı, odun hücre çeperi bileşenlerindeki maddesel kayıplar ve hemiselülozların yıkımı ile ilişkilendirmek mümkündür (Yıldız, 2002). Artan sıcaklık ve süreyle doğru orantılı olarak ısıtıl işlem sonucunda ağırlık kaybının da arttığına ilişkin gözlemlerin yer aldığı birçok çalışma bulunmaktadır (Vital ve Lucia, 1983; Fengel ve Wegener, 1989; Yıldız, 2002; Özçifçi ve Altun, 2009).

4.1.2. Su Alma Oranı, Teğetsel Genişleme, Genişlemeyi Önleyici Etkinlik

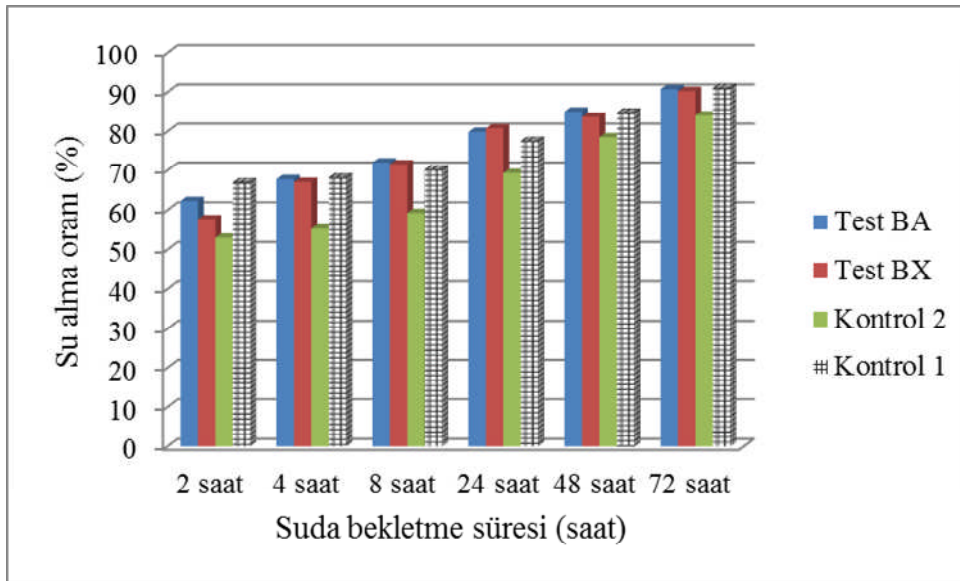
Emprenye işlemi sonrası farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtıl işleme tabi tutulmuş ladin, karaçam, kayın ve kavak odunu test örnekleri ile bunlara ait kontrol 1 ve kontrol 2 örneklerinin 2, 4, 8, 24, 48, 72 saat boyunca suda bekletilmesi sonucunda tam kuru odun ağırlığına kıyasla belirlenen ortalama su alma oranı, teğetsel genişleme ve genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri, her bir ağaç türü için ayrı ayrı olmak üzere kontrolleri ile karşılaştırmalı bir şekilde grafikler halinde sunulmuştur.

4.1.2.1. Su Alma Oranı (SAO)

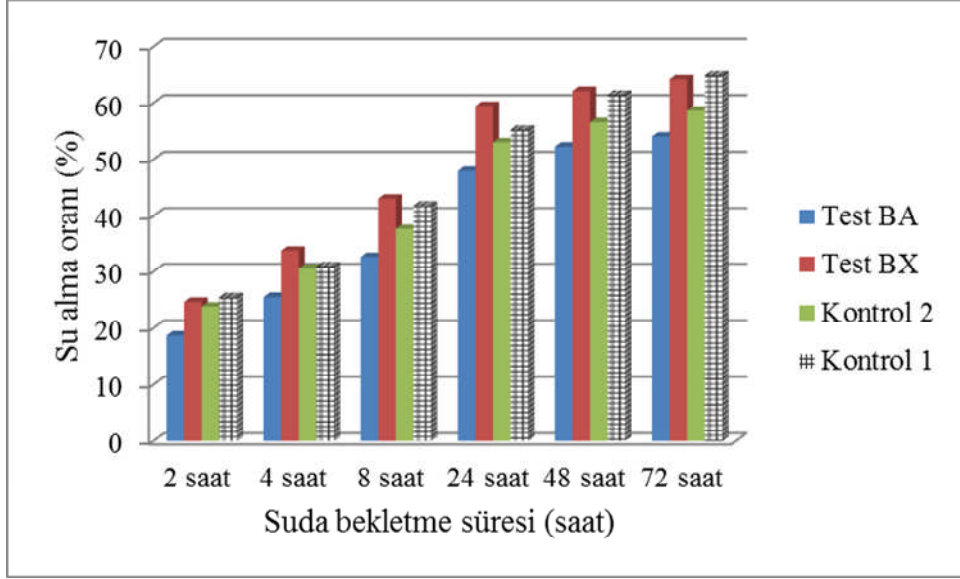
Emprenye sonrası ısıtma işlemi uygulanmış ladin ve karaçam odunu test örneklerinin SAO'ları kontrol 1 ve kontrol 2 ile karşılaştırmalı olarak Şekil 20- 21'de, kayın ve kavak odunu örneklerine ait değerler ise kontrolleri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 22-23'te gösterilmiştir.



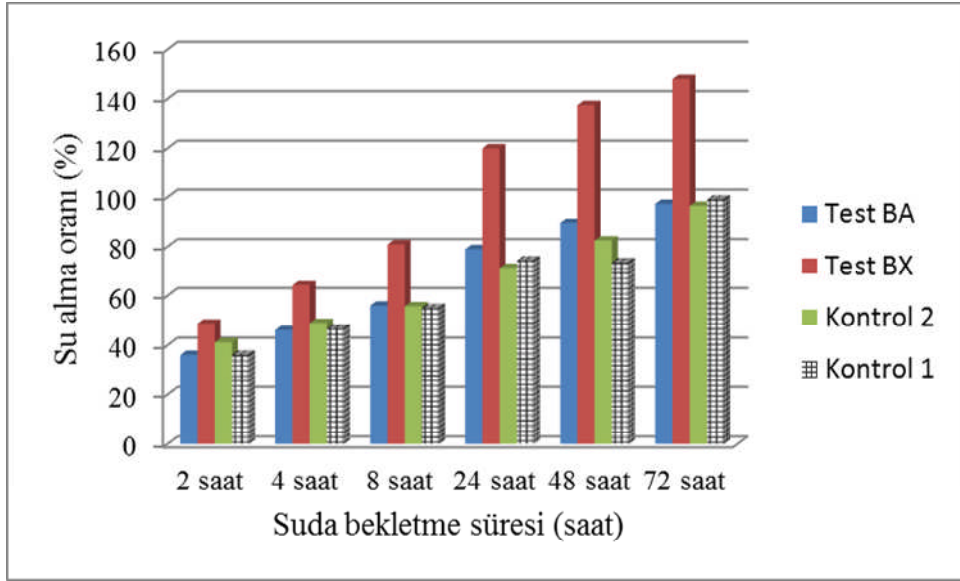
Şekil 20. Ladin test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



Şekil 21. Karaçam test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



Şekil 22. Kayın test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri



Şekil 23. Kavak test ve kontrol örneklerine ait SAO değerleri

Şekil 20-23'ten anlaşılacağı üzere, 2 saatten 72 saate kadar suda bekletme süreleri için kontrol 2'nin SAO'ları, kontrol 1 örneklerinin SAO'larına kıyasla belirli miktarda azalma göstermiştir. Isıl işlem ladin odununun SAO 'nı önemli ölçüde azaltmıştır. Borlu bileşikler higroskopik özellikte bileşikler oldukları için borik asit ve boraks ile emprenye edilmiş örneklerin SAO'ları ilk iki saatte bile neredeyse kontrol 1 örneklerine eşdeğer bir su alma oranına sahip olmuştur. BX ile emprenye edilmiş örneklerin su alma oranları 2 saatten 72 saate kadar olan tüm sürelerde kontrol 1 örneklerinden daha fazla oranda su

absorbe etmiştir. Diğer yandan ladin ve kavakta daha belirgin olmak üzere BX'in SAO, BA'e göre daha yüksek bulunmuştur. BA ile emprenye edilmiş örneklerin SAO ladin örneklerinde daha bariz bir şekilde kontrol 1'e oranla azalma, kontrol 2'ye oranla artış göstermiştir. Karaçamın SAO'larına bakıldığında varyasyonlar arasındaki farklılığın ısı işlemli kontroller dışında su alma miktarına çok fazla yansımadağı söylenebilir. Benzer bir durum kayın odun örnekleri içinde söz konusudur. Ancak kayın odununda BX kontrol 1 ile hemen hemen homojen bir seyir izlemektedir. Kavakta ise artan suda bekleme süresi ile birlikte yine BX'in bu kez hem kontrol 1 hem de kontrol 2 gruplarından daha fazla miktarda su absorbladığı görülmektedir (Şekil 23).

Her ne kadar ısı işlem oduna su iticilik kazandırsa da, borlu bileşikler higroskopik yapıları gereği odunun su alma oranlarını etkileyebilmektedir (Kartal vd., 2007).

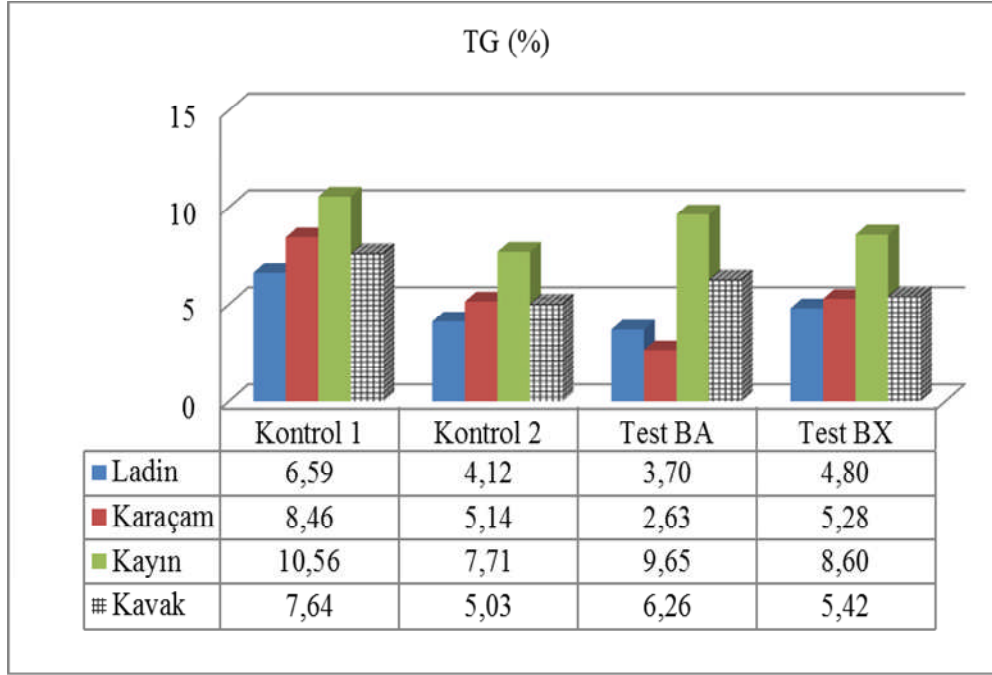
Her dört ağaç türü birbirine göre değerlendirildiğinde ladin odunu örneklerine ait su alma miktarlarının biraz daha dikkat çekici olduğu görülebilmektedir (Şekil 20-23). Yapılan bir çalışmada, 72 saatlik periyot sonunda iğne yapraklı ağaçların SAO'larının, yapraklı ağaçlara göre daha fazla miktarda olduğu kaydedilmiştir (%95, %79). Söz konusu çalışmada en düşük SAO değeri kayın örneklerinden, en yüksek SAO değerleri ise ladin örneklerinden elde edilmiştir. Bu durum büyük oranda ısı işlem sonunda İYA odunlarında oluşan bir takım yapısal boşluklara atfedilebilir (Yıldız, 2002). İYA'ların selülozlarının YA selülozlarından daha düşük bir termal kararlılığa sahip oldukları ve 150 °C üzerindeki sıcaklıklarda bozdukları bildirilmiştir (Feist ve Sell, 1987).

Borik asit ile emprenye edilmiş örneklerin su alma oranı değerleri BX ile emprenye edilmiş örneklere kıyasla daha az seviyededir. Bunun nedeni borik asit ve boraksın farklı kimyasal yapıya sahip olmalarıdır. Ayrıca borik asit ısı işleminden sonra odundan daha fazla oranda uzaklaştığı için SAO değerleri bakımından daha iyi performans sağlamaktadır. Buna karşılık, boraksta yikanan miktar az, odunda kalan miktar fazla olduğundan; boraksla emprenye edilen ve sonrasında ısı işleme tabi tutulan örneklerde SAO değerleri daha fazla olmaktadır (Tablo 45).

Kartal vd. (2007) yaptıkları çalışmada DOT (disodium ocatborate tetrahydrate; BA ve BX karışımı) ve BA ile emprenye edilmiş örneklerin 180 °C'de 4 saat süre ile ısı işleme maruz bırakılması sonrasında, DOT ile emprenye edilmiş örneklerin su adsorpsiyon miktarının borik asit ile emprenye edilmiş örneklere kıyasla daha az olduğunu açıklamışlardır. Toker (2007), ise boraksın borik asite oranla daha higroskopik olduğunu açıklamıştır.

4.1.2.2. Teğetsel Genişleme (TG)

Bu çalışmada, boyut stabilizasyonu ölçümleri teğet yönündeki nihai genişleme miktarı baz alınarak yapılmıştır. Şekil 24’de 72 saat sonunda odun örneklerinde meydana gelen teğetsel genişleme değerleri görülmektedir.



Şekil 24. Odun örneklerinde ortalama TG (%) değerleri

Teğetsel genişleme en fazla kayın odununda olmuştur. 72 saat sonrası kayın Kontrol 1 örneklerinde %10,56, karaçam örneklerinde %8,46, kavak örneklerinde %7,64 ve ladin örneklerinde %6,59 olarak gerçekleşmiştir.

Isıl işlem sonrası boyut stabilizasyonu artış göstermiştir ve Kontrol 2 ‘deki teğetsel genişleme değerleri kontrol 1 örneklerinde gerçekleşen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Kayın, karaçam, kavak ve ladin kontrol 2 örneklerinde sırasıyla %7,71, %5,14, %5,03, %4,12 ‘lik teğetsel genişleme değerleri elde edilmiştir.

Emprenye sonrası ısıl işlem uygulanan test örneklerinin teğetsel genişleme değerleri kontrol 1’e göre düşüş göstermiştir. Fakat, emprenye maddesi tipine göre test örneklerinin teğetsel genişleme değerleri farklılık göstermiştir. En yüksek TG değeri BA ile emprenye edilmiş kayın örneklerinde elde edilirken (%9,65), en düşük TG değeri ise BA ile emprenyeli karaçam örneklerinde elde edilmiştir (%2,63). BA ile emprenye edilmiş

kayın ve kavak örnek varyasyonları hariç diğer varyasyonlarında BX daha yüksek TG değerlerine sahiptir. Bu farklılık bor bileşiklerinin farklı kimyasal yapılarından ve ağaç türlerinin farklı anatomik özelliklere sahip olmalarından kaynaklanmış olabilir. Odunda kalan bor miktarı esas alınarak mukayese edildiğinde (Tablo 45) kavak odun örnekleri hariç diğer türlerde, borik asit'in borax'a göre ısı işleminden sonra odundan daha fazla oranda uzaklaştığı dolayısıyla TG değerleri bakımından özellikle ladin ve karaçam için daha iyi performans sergilediği sonucuna varılabilir.

Isıl işlem uygulaması sonrası ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerinde sırasıyla %38, %39, %27, %35 oranında teğetsel genişlemede bir iyileşme meydana gelmiştir. BA ile emprenye edildikten sonra ısı işlem uygulanan ladin örneklerinde kontrol 1'e göre %44, karaçam örneklerinde %69 oranında teğetsel genişlemede iyileşme meydana gelmiştir. Emprenye edildikten sonra ısı işlem uygulanan YA türlerinde BX, BA'e oranla daha iyi sonuçlar vermiştir.

Yapılan bir çalışmada 180 °C 'de 2, 4, 6, 8 ve 12 saat süre ile yapılan ısı işlem sonrasında ısı işlem sıcaklığının ve süresinin artışına bağlı olarak *Castanea sativa* odun örneklerinin su adsorpsiyonunun azaldığı ve boyutsal kararlılığının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca; ısı işlem sonrasında örneklerin teğet, radyal ve boyuna yönde genişleme oranlarında da yaklaşık olarak %50 oranında düşüş gözlenmiştir (Gündüz ve Aydemir, 2008).

Yapılan bir diğer çalışmada, kavak odunu kontrol örneklerindeki radyal, teğet ve hacimsel genişleme değerleri sırasıyla %4.39, %8.99, %12.95 iken ısı işlemli örneklerde bu oranlar %2,99, %6,98, %9,8 olarak gerçekleşmiştir (Bazyar vd., 2010).

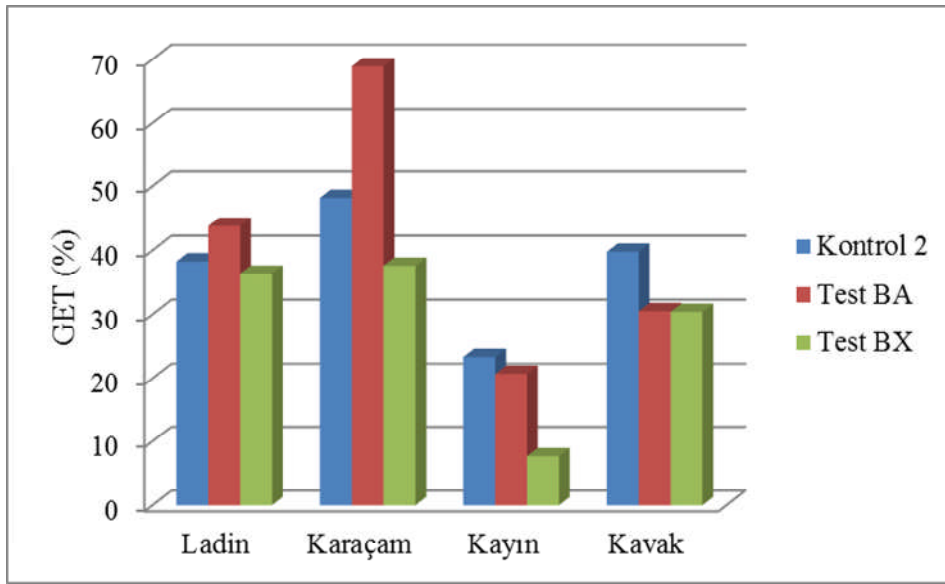
Isıl işlem boyutsal stabilizasyon sağlayarak teğetsel genişlemeyi azaltmaktadır. Ghalehno (2011) yaptığı çalışmada, 190 °C'de 9 saat ısı işlem uygulaması sonrası teğetsel genişleme değerinde kontrole kıyasla %40, radyal genişleme değerinde ise %37,15 oranında azalma tespit etmiştir (Ghalehno, 2011).

Gündüz vd. (2009), 180 °C'de 10 saat süre ve Wild pear (*Pyrus elaeagnifolia*) ağaç türü ile yapılan ısı işlemin teğetsel genişlemeyi %2,6 oranında azalttığını ortaya koymuştur (Gündüz vd., 2009).

4.1.2.3. Genişlemeyi Önleyici Etkinlik (GET)

Kontrol 2 örneklerinin genişleme miktarında kontrol 1 örneklerine kıyasla meydana gelen azalmayı ifade eden GET değerleri şekil 25’de verilmektedir. Test örneklerinin GET değerleri kontrol 2 ile kıyaslanmıştır.

Isıl işlem sonrası GET değerlerinde çarpıcı artışlar gözlenmiştir. Ladin, karaçam, kayın ve kavağın sadece ısıl işlem görmüş kontrollerinde (kontrol 2) sırasıyla %38,25, %43,24, %21,19 ve %34,14 oranında GET değeri elde edilmiştir.



Şekil 25. Odun örneklerinde ortalama GET (%) değerleri

Yapılan bir çalışmada, atmosferik basınç altında 180 °C’de 2 saat süreyle uygulanan ısıl işlemden sonra kayın odununda %28,90 ve ladin odununda %18,32 GET değerleri elde edilmiştir (Yıldız, 2002).

Atmosferik basınç altında yapılan bir çalışmada, 180 °C’de 3 saat süreyle uygulanan ısıl işlemden sonra elde edilen GET değerlerinin yaklaşık %25 olduğu gözlenmiştir (Santos, 2000).

Isıl işlem sonrası (kontrol 2) yüksek oranda olumlu etkisinin hissedildiği GET değerlerine karşılık, test örneklerinde aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Borik asit ve boraks ısıl işlem ile elde edilen olumlu GET değerlerini olumsuzla çevirmiştir. Özellikle kayın ve kavak türlerinin test örneklerinde elde edilen GET değerleri Kontrol 2’ye oranla

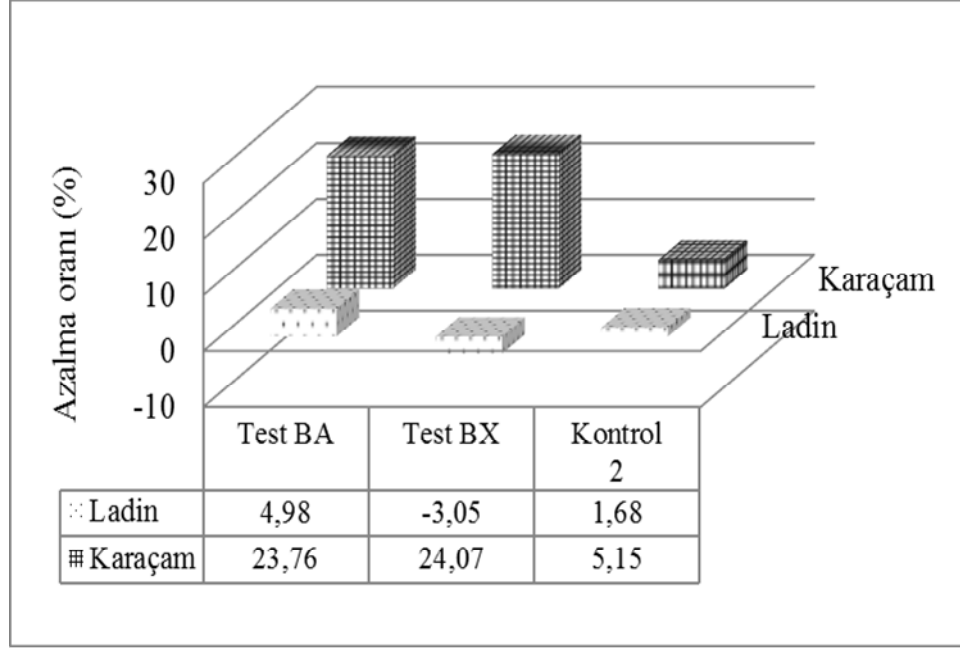
daha düşük seviyededir. En yüksek GET değerleri BA ile emprenye edilmiş ladin ve karaçam turlerinde elde edilmiştir (%43, %68). 100- 230 °C sıcaklıkları arasında ve 2- 48 saat süreli birçoğ ısıı işlem muamelesinde huş, göknar, ladin, kayın, kızılağaç, meşe, okalıptüs, akçaagaç, sarıca ve fin çamı gibi değişik turlerde meydana gelen boyut stabilizasyonu değerleri incelenmiş ve genellikle sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte, uygulanan ısıı işlem tekniğine de bağlı olarak %55-90 oranları arasında bir boyut stabilizasyonu elde edildiği bildirilmiştir (Burmester, 1973; Hillis ve Rozsa, 1978; Giebeler, 1983; Feist ve Sell, 1987; Edwardsen vd., 1999; Yıldız, 2002).

4.2. Mekanik Özellikler

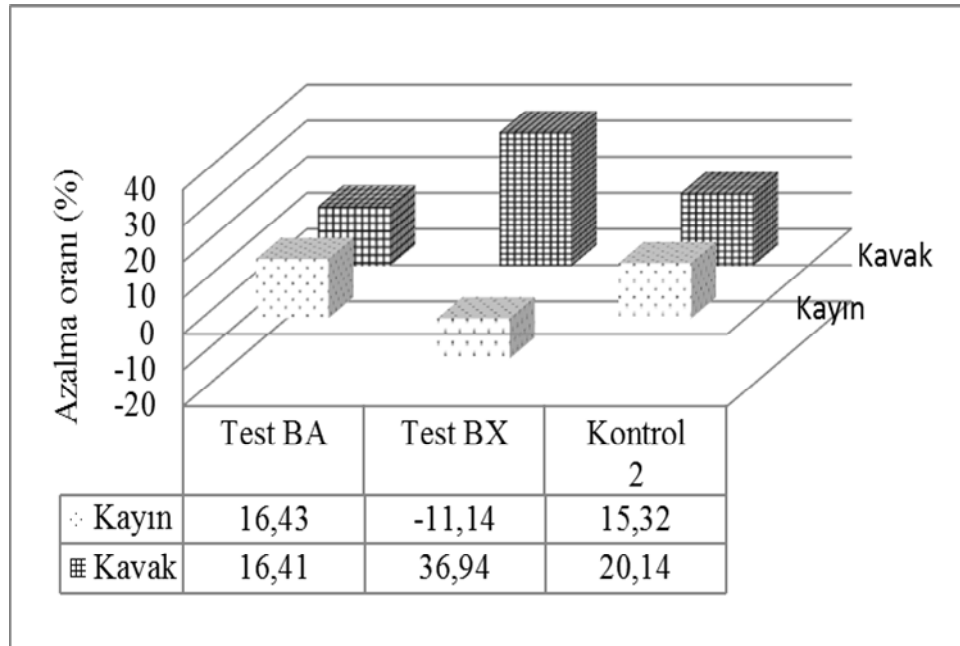
Isıl işlem sıcaklığının yüksek olması mekanik özelliklerde önemli derecelerde düşüşlere neden olmaktadır. Fakat, her mekanik özellik ısıı işlemde aynı oranda etkilenmemektedir. Bazı durumlarda direnç düşüşleri 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda meydana gelebilmektedir. Mekanik dirençlerdeki azalmalar ısıı işlem sıcaklık ve süresi, ısıı işlem atmosferi, sistemin kapalı veya açık olması, odun türü, örnek boyutları, rutubet miktarı gibi birçoğ değişkene bağlıdır (Kotilainen, 2000; Hill, 2006).

4.2.1. Karaçam, Ladin, Kayın ve Kavak Odunlarında Statik Eğilme Direnci

Emprenye ve ısıı işlem sonrası eğilme direncinde kontrol 1'e oranla meydana gelen azalma-artma oranları ladin ve karaçam odunları için Şekil 26'da, kayın ve kavak odunları için Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 26. Ladin ve karaçam odunları test ve kontrol 2 örneklerinde kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma-artma oranları



Şekil 27. Kayın ve kavak odunları test ve kontrol 2 örneklerinde kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen eğilme direnci değerlerine ait azalma-artma oranları

Tablo 25'e göre; borlu bileşikler ile emprenye edildikten sonra ısıl işleme maruz bırakılan her dört ağaç türünde kavak ve karaçam odun örnekleri hariç, BX ile muamele

edilen örnek gruplarının eğilme direnci değerleri kontrol 1'e oranla BA ile empenye edilen örnek gruplarından daha yüksek bulunmuştur. Diğer bir deyişle ladin ve kayın örneklerinde kontrol 1'e oranla BX ile empenye edilen test örneklerinin eğilme direnci değerlerinde küçük bir miktar artış kaydedilmiştir. BX empenyesinden sonra Kontrol 1'e oranla meydana gelen eğilme direnci artış oranları ladin'de %3, kayın'da %11 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık BA empenyesinden sonra kontrol 1'e oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma oranları; ladin'de %4,98, kayında %16,43, kavakta %16,41 ve en fazla karaçam'da olmak üzere %23,76 olarak gerçekleşmiştir. Türlerle göre oluşan bu farklılık, İYA ve YA'lara uygulanan farklı ısı işlem süresi ve sıcaklığından kaynaklanabileceği gibi farklı türlerin farklı anatomik özellikleri ve bu etkilerin karşılıklı etkileşimlerinden de kaynaklanabilir. Ayrıca ısı işlemin odunun kimyasal yapısında meydana getireceği değişiklikleri de hesaba katmak gerekir. Isıl işlemde en fazla etkilenen hücre çeperi bileşeni hemiselüloz dur (Yıldız, 2002). Eğilme direncindeki en düşük kaybın (%4,9) ladin odununda gözlenmesi, muhtemelen diğer türlere göre bünyesinde daha az miktarda hemiselüloz (%17,65) barındırıyor olmasından kaynaklanabilir (Erişir, 2010).

Literatürde karaçamın hemiselüloz miktarı %20 (Kırcı, 2009), doğu kayının %24 (Yıldız, 2002), ve doğu kavağı'nın % 26 (Rowell, 2005) olarak bildirilmiştir. Karaçam ve kavak 'da eğilme direnci kaybının hemiselüloz miktarı ile paralellik göstermesi hemiselülozların ısı işleme karşı son derece hassas olmaları ile açıklanabilir. Ksilan 'ın (pentozan) en reaktif odun hemiselülozu olduğu ve genellikle degradasyon ve dehidrasyon reaksiyonlarına karşı son derece hassas olduğu bildirilmiştir (Sweet ve Winandy, 1999; Kotilainen, 2000; Yıldız, 2002).

BA ve BX ile muamele edilen örnekler Kontrol 2'ye göre kıyaslandığında; karaçam odunu örneklerinin eğilme direnci değerlerinde bir miktar azalma tespit edilmiştir. Bu azalma BA ve BX'ta %18 kadar olmuştur. BA muamelesinde kavak odunu dışında, eğilme direnci değerleri kontrol 2'ye göre daha düşük bulunurken, BX empenyesinde ise karaçam ve kavak dışında eğilme direnci değerleri kontrol 2'ye oranla daha yüksek bulunmuştur (Tablo 25). Kontrole oranla test örneklerinde meydana gelen bu artış ladin'de %7,59, kayın'da ise %31,02 olarak tespit edilmiştir. Emprenye işlemlerinin direnç özelliklerini ne şekilde etkilediği araştırılmış ve pratik olarak ağaç malzemenin taşıma gücünü etkilemediği sonucuna varılmıştır (Yıldız, 2011). Ayrıca literatürde borlu bileşiklerin termal degradasyonun şiddetini azalttığına dair bilgiler mevcuttur. İlâveten odun

asiditesinin artması ya da azalması direnç özellikleri ile yakından ilgilidir (Kartal, 2007). Tablo 43-44'de BX+ısıtım işlem varyasyonuna bakıldığında hem kontrol 1 hem de kontrol 2 değerlerine oranla, BX empenyesinden sonra artan eğilme direnci oranlarını asiditenin azalmasıyla açıklamak mümkündür. Isıtım işlem sonucunda odundan bor bileşiklerin önemli ölçüde yıkanmadığı varsayılırsa; bu takdirde, boraksın borik aside göre direnç kayıplarını korumak bakımından daha avantajlı olduğu belirtilebilir. Bu durumun, borik asidin asidik karakterinden dolayı kaynaklandığı; düşünülebilir. Ayrıca, boraksın ısıtım işlem sonrasında odunda oluşan asidik yapıyı tamponlayarak direnç kayıplarını azalttığı söylenebilir (Awoyemi ve Westermarck, 2005; Toker, 2007; Can vd., 2010).

Literatürde termal bozunmadan olumsuz yönde en çok etkilenen odun özelliklerinden birinin eğilme direnci olduğu belirtilmektedir (Korkut ve Korkut, 2008; Viitaniemi, 1997). Yine literatür bilgileri ısıtım işlemin eğilme direncinde % 1-72 oranında azalmaya neden olduğunu bildirmektedir (Yıldız, 2002; Entevés vd., 2007a; Entevés vd., 2007b; Korkut, 2008; Korkut ve Korkut, 2008; Özçifçi ve Altun, 2009).

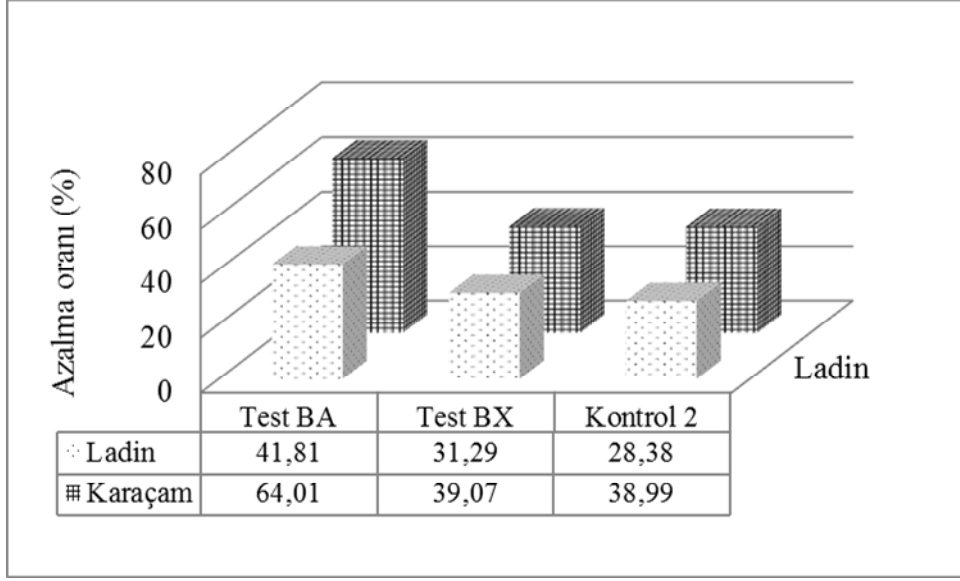
Korkut (2008), 180 °C'de normal atmosfer şartları altında yaptığı ısıtım işlem çalışmasında eğilme direnci değerlerinde %16'lık bir azalma kaydetmiştir. Yapılan başa bir çalışmada 200 °C'de 5 saat süreyle ısıtım işlem uygulanan *Chamaecyparis obtusa* ve *Fagus crenata* örneklerinin eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları yaklaşık % 50 civarında bulunmuştur (Viitaniemi, 1997; Korkut, 2008).

Toker (2007) yaptığı çalışmada, kontrol örneklerinin eğilme direnci değerlerini 101 N/mm² olarak bulurken BA ve BX ile empenye işlemi sonrası eğilme direnci değerlerin sırasıyla 89 N/mm² ve 88 N/mm² olarak bulmuştur (Toker, 2007).

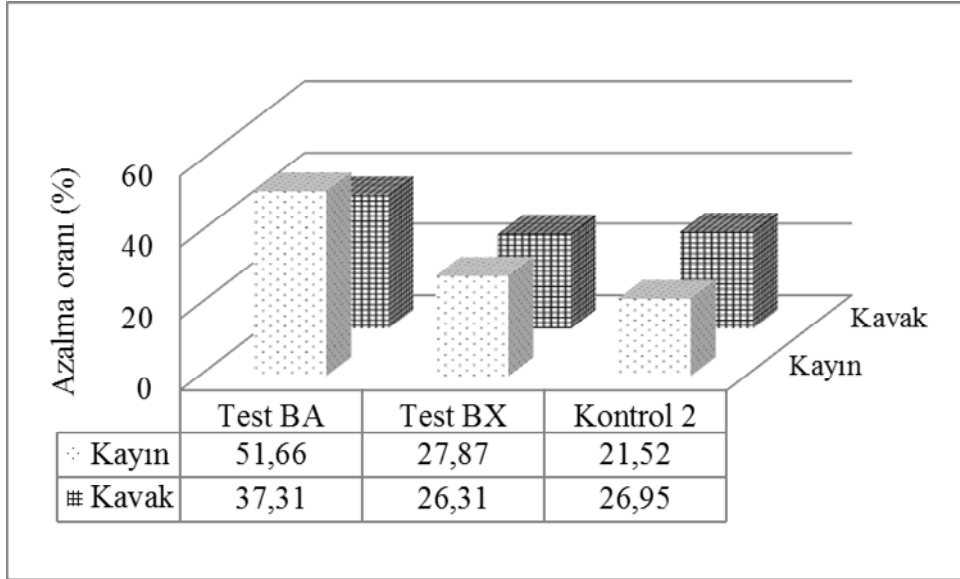
Ghalehno (2011), yaptığı çalışmada ısıtım işlem süresinin ve sıcaklığının artışına paralel olarak eğilme direnci değerlerinin düşüş gösterdiğini ve en yüksek düşüşün %22, 25 ile 190 °C'de 9 saat süre ile yapılan ısıtım işlem sonrası elde edildiğini belirtmiştir (Ghalehno, 2011).

4.2.2. Karaçam, Ladin, Kayın ve Kavak Odunlarında Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç direncinde empenye ve ısıtım işlem sonrası kontrol 1'e oranla meydana gelen azalma oranları ladin ve karaçam odunları için Şekil 28'de, kayın ve kavak odunları için Şekil 29'da gösterilmektedir.



Şekil 28. Ladin ve karaçam odunları test ve kontrol 2 örneklerinde kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları



Şekil 29. Kayın odun test ve kontrol 2 örneklerinde kontrol 1 örneklerine kıyasla elde edilen liflere paralel basınç direnci değerlerine ait azalma oranları

BA ile emprenye edildikten sonra ısı işlem uygulanan her dört ağaç türünde de hem kontrol 1 hem de kontrol 2'ye oranla liflere paralel basınç direncinde (LPBD) azalmalar kaydedilmiştir. Kontrol 1'e göre bu azalma oranları; ladinde %41,81, karaçamda %64,01, kayında %51,66 ve kavakta %37,31 olarak kaydedilmiştir (Şekil 28-29).

BX emprenyesinde ise; kontrol 1'e oranla liflere paralel basınç direncinde meydana gelen azalmalar ladinde %31,29, karaçamda %39,07, kayında %27,86 ve kavakta %26,31 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 28-29).

Kontrol 2'ye göre kıyaslandığında BA emprenyesinde; LPBD'nin bütün varyasyonları kapsayacak şekilde azalma eğilimine girdiği, BX emprenyesinde ise; ladin, karaçam ve kavakta önemli bir fark gözlenmezken, kayında bir miktar düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 28).

Emprenye işlemi ısı işleminden daha olumsuz sonuçlar oluşturmuştur. Boraks ile emprenyeli örneklerdeki azalma borik asit ile emprenyeli örneklere nazaran daha düşük seviyededir. Test örnekleri kontrol 2 ile kıyaslandığında boraks, liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen kayıpları azaltmak bakımında borik asite oranla daha avantajlıdır.

Asidik karaktere sahip emprenye maddelerinin, basınç direnci değerlerini düşürdüğü ortaya konmuştur. Bazik karaktere sahip emprenye maddelerinde ise tam tersi bir durum söz konusudur. Bunun nedeni olarak sodyum boratın odunun asidik yapısı üzerine tamponlayıcı etkisi gösterilmiştir. İlâveten çalışmada liflere paralel basınç direncinin düşmesi odun ana bileşenlerinden olan hemisülülözün degradasyonu ile de açıklanabilir (Awoyemi ve Westermarck, 2005; Talei vd., 2010).

Kontrol 1 değerleri literatürle uyumluluk (Bozkurt, 2000) gösterirken kontrol 2'ye oranla daha yüksek bir LPBD performansı sergilemiştir (Tablo 28).

Isıl işlem bütün odun örneklerinin LPBD değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Benzer sonuçlar yapılan çalışmalarda da ortaya konmuştur. Korkut (2008), 180 °C'de 2 saat ısı işlem uyguladığı göknar da %10, Yıldız vd. (2006), 200 °C'de 6 saat ısı işlem ile kayın ile ladin odunlarında yaklaşık %36 'lık basınç direnci azalışı bildirmişlerdir. Basınç direnci değerlerindeki bu değişiklikler ısı işlemin yöntemine, uygulama parametrelerine ve bunlara bağlı olarak değişen kimyasal yapıyla ilişkili gibi görünmektedir. Isıl işlem görmüş ağaç malzeme normal malzemeye göre daha fazla lignin oranına ve daha düşük asit miktarına sahiptir ki bu durum hemiselülözlerin ve bazı ekstraktiflerin bozunduğunu göstermektedir (Kamdem vd., 2002; Nuopponen, 2005; Yıldız vd., 2006; Korkut, 2008;).

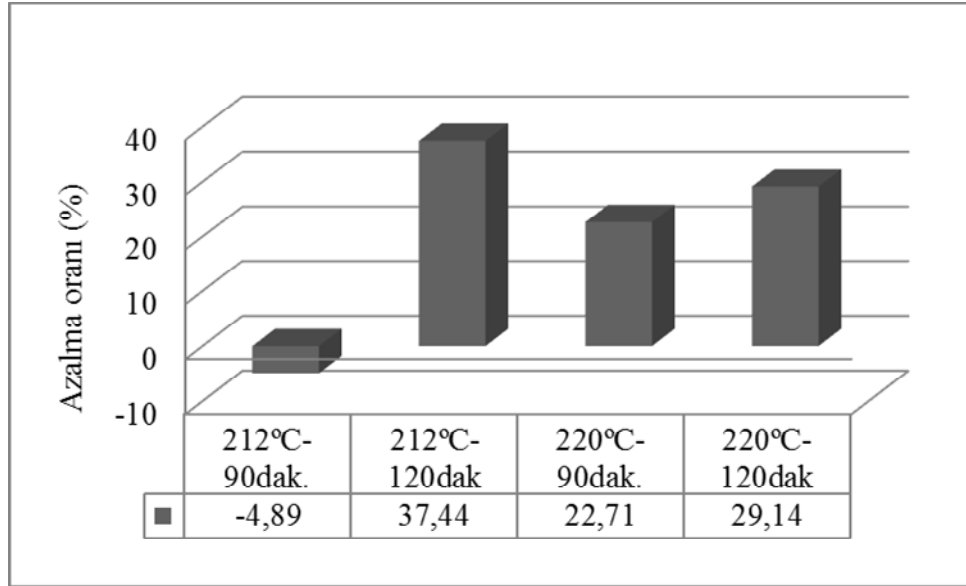
Vital vd. (1983), *Eucalyptus saligna* ile yaptıkları çalışmada, 100- 155 °C'de 10- 160 saat süre ile uyguladıkları ısı işlem muamelesinde sıcaklığın ve sürenin artışına paralel olarak liflere paralel basınç direncinin azaldığını belirtmişlerdir (Vital vd., 1983).

Ancak bu sonuçlar literatürdeki bazı çalışmalara zıtlık göstermektedir. Özçifçi vd. (2009), 150- 190 °C’de 4- 8 saat ısıtma işlem uyguladığı *Pinus sylvestris* odununda %2,3 ile %10,4 arasında bir artış tespit etmişlerdir (Özçifçi ve Altun, 2009).

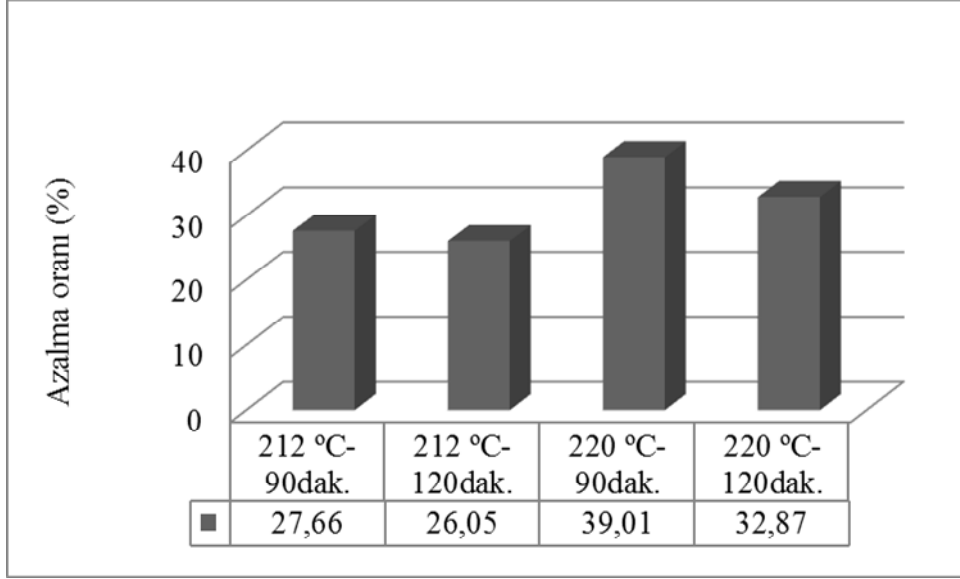
Ghalehno (2011), yaptığı çalışmada ısıtma işlem süresinin ve sıcaklığının artışına paralel olarak LPBD değerlerinin düşüş gösterdiğini ve en fazla düşüşün %43,75 ile 190 °C’de 9 saat süre ile uygulanan ısıtma işlem sonrası elde edildiğini belirtmiştir (Ghalehno, 2011).

4.2.3. Kayın, Kavak, Karaçam ve Ladin Odunlarında Vida Tutma Direnci

Isıtma işlem sonrası vida tutma gücünün araştırıldığı iğne yapraklı ağaçlara ait azalma oranı değerleri Şekil 30- 31’de gösterilmektedir.



Şekil 30. Ladin odun test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları

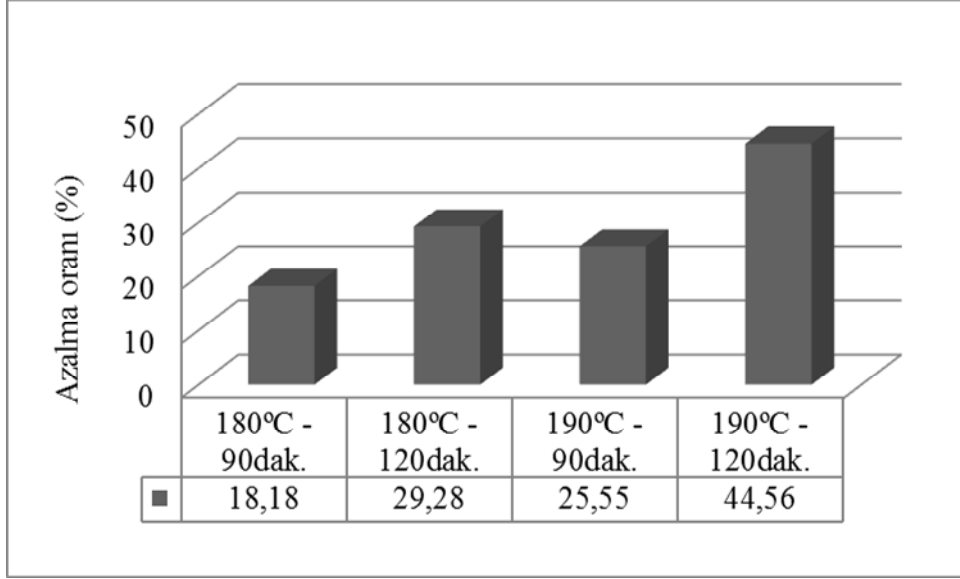


Şekil 31. Karaçam odun test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları

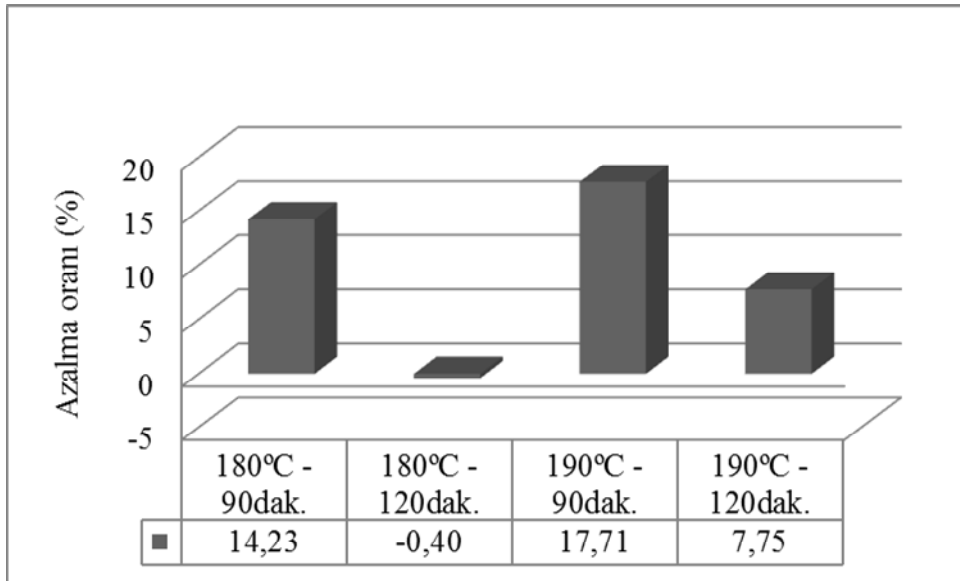
Ladin odunu örneklerinde artan ısı işlemin sıcaklığı ve süresiyle birlikte vida tutma direncinin azalma eğilimine girdiği görülmektedir. Şekil 30'deki verilere göre; 220 °C'de yapılan ısı işlem ladin odununda vida tutma direncini, 212 °C'deki ısı işleme göre daha belirgin bir biçimde etkilemiştir. Bu durumda, vida tutma direncinin önem kazandığı kullanım yerleri için 212 °C'lik bir ısı işlem uygulaması daha uygun olacaktır. En fazla azalma 220 °C'de 120 dakika süreli ısı işlem uygulamasında meydana gelmiştir (%29,14).

Karaçam odununda meydana gelen vida tutma direnci kaybı ladin odununa göre daha belirgindir. 212 °C'de ladin örneklerinin vida tutma direnci %7-14 oranında azalmasına rağmen, karaçam örneklerinde %26- 27 oranında bir kayıp olmuştur. Vida tutma direncinin en düşük olduğu varyasyon 220 °C'de 90 dak. süre ısı işlem uygulaması sonucu elde edilmiştir. 212 °C'de 90 dakikalık uygulama %26,05 oranında bir azalma ile en az etkilenen varyasyon olmuştur.

Isıl işlem sonrası vida tutma gücünün araştırıldığı yapraklı ağaçlara ait azalma oranı değerleri şekil 32- 33'de gösterilmektedir.



Şekil 32. Kayın odun test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları



Şekil 33. Kavak odun test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla elde edilen vida tutma direnci değerlerine ait azalma oranları

Yapraklı ağaç türlerinde de ısıl işlem sonrasında vida tutma direncinde azalmalar meydana gelmiştir. Şekil 34'deki değerlere göre; Sıcaklık ve sürenin en yüksek olduğu 190 °C'de 120 dakikalık ısıl işlem uygulaması sonrası vida tutma direnci %44,56 oranında azalma göstermiştir. Bu değer aynı zamanda bütün ağaç türleri içerisindeki en yüksek kayıp miktarını ifade etmektedir.

Kavak odununda, vida tutma direncindeki azalma kayındaki kadar belirgin değildir. Ayrıca, ısı işlem sıcaklık ve süresinin vida tutma direncine doğrusal bir etkisinin olmadığı belirtilebilir. 180 °C’de 90 dakikalık uygulamada %14,23’lük bir kayıp söz konusu iken aynı sıcaklığın daha uzun süreyle uygulandığı 180 °C’de 120 dakikalık uygulamada hiçbir kaybın meydana gelmemesi enteresan bulunmuştur. Daha önceki çalışmalarda, düşük özgül ağırlığa sahip türlerde ısı işlemin vida tutma direncine olan etkisinin daha az olduğu belirtilmiştir (URL-10, 2011). Kavak ağacı yoğunluğu (0,45 gr/cm³) kayın ağacı yoğunluğundan (0,669 gr/cm³) düşük olduğu için yaptığımız çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde belirtilen yapıya uyumluluk göstermektedir (Malkoçoğlu, 2011).

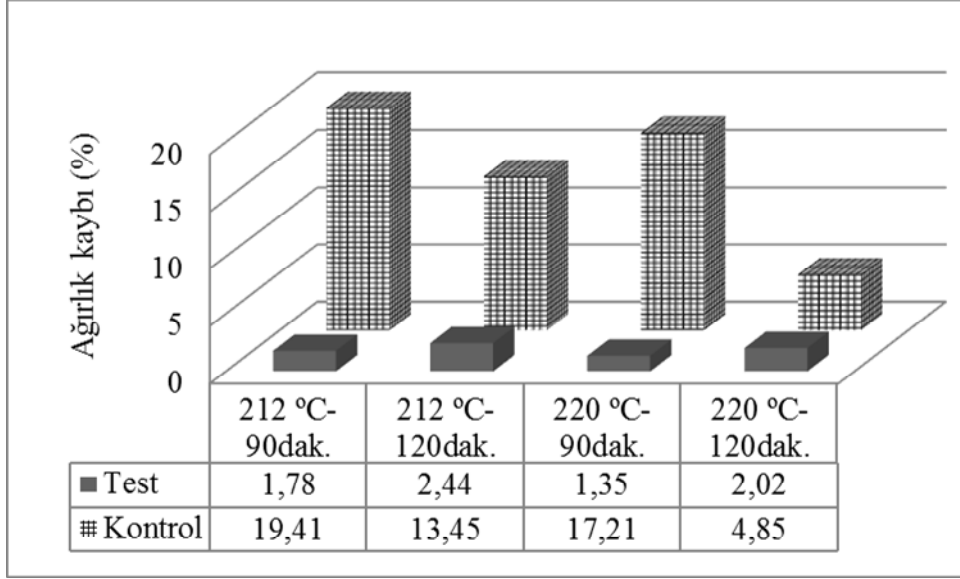
ÇVA sonuçlarına göre; yapraklı ağaç türünün, ısı işlem sıcaklığının ve her ikisinin etkileşiminin istatistiksel açıdan vida tutma direnci üzerine etkisinin önemli olduğu gözlenmiştir. En yüksek fark 190 °C - 120 dakika ile 180 °C – 90 dakika varyasyonları arasında tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda doğu kayını kontrol örneklerinin teğet kesitteki vida tutma direnci ortalama olarak 433 kp ve kavak kontrol örneklerinin ise ortalama 122 kp olarak bulunmuştur (Akyıldız ve Malkoçoğlu, 2001; Efe vd., 2009).

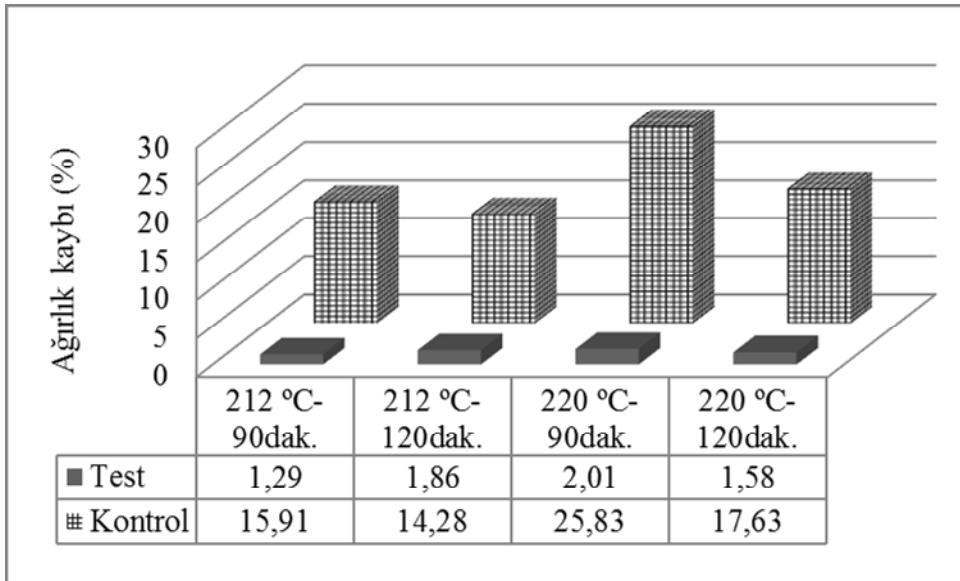
4.3. Biyolojik Özellikler

4.3.1. Isı İşlemin Mantar Çürüklük Direncine Etkisi

Mantar çürüklük testi (MÇT) sonrası ısı işlemli örneklere ait ağırlık kaybı değerleri % olarak Şekil 34-37’de verilmiştir.



Şekil 34. MÇT'ye tabi tutulan Ladin odunu örneklerinde ısı işleminin ağırlık kaybı üzerine etkisi



Şekil 35. MÇT'ye tabi tutulan Karaçam odunu örneklerinde ısı işleminin ağırlık kaybı üzerine etkisi

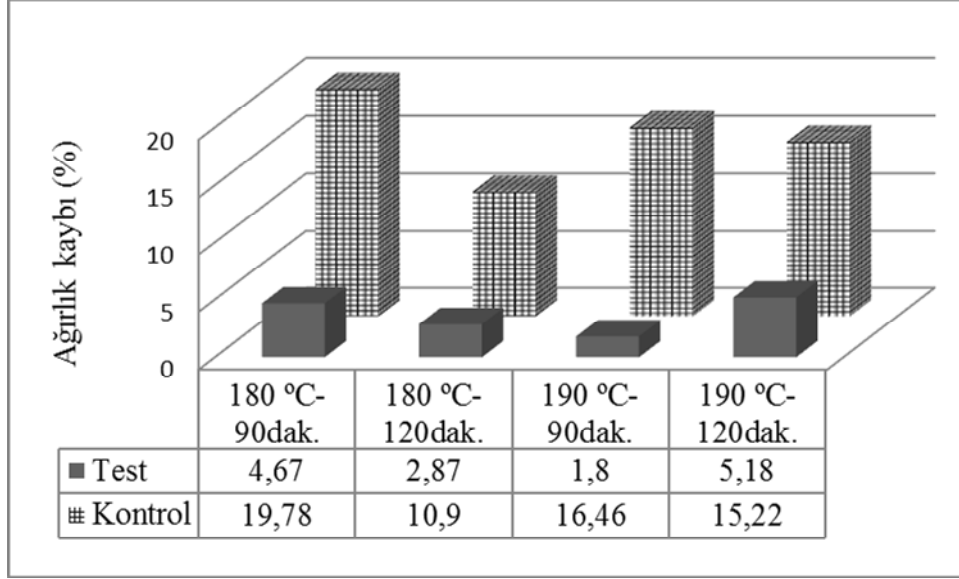
Şekil 34 ve şekil 35'e göre, doğu ladini test örneklerinde ağırlık kaybı değerleri 212 °C için %1,78-2,44 arasında; 220 °C için %1,35-2,02 arasında gerçekleşmiştir. Buna göre; ladin örneklerinde ısı işlemi sonucunda, empenye maddeleri için kabul sınırı olan %3 ağırlık kaybı değerleri sağlanmaktadır. Yani, ısı işlemi ladin odununa bir empenye maddesi kadar mantar çürüklük dayanımı sağlamaktadır. Burada, süre artışından ziyade

sıcaklık artışının daha etkili olduğu ifade edilebilir. Karaçam odununda elde edilen değerler ladin odununa göre daha olumludur. Söz konusu değerler 212 °C'deki ısı işlem uygulaması için %1,29- 1,86 arasında; 220 °C'deki ısı işlem uygulaması için %1,58-2,01 arasında değişmektedir. Buna göre; karaçamda bütün varyasyonlarda elde edilen değerler, ısı işlemli karaçam odununun mantar çürüklük testinden başarıyla çıktığını göstermektedir. Dolayısıyla, karaçam odununda hangi sıcaklık veya süre varyasyonu uygulanırsa uygulansın iyi bir mantar çürüklük dayanımı elde edileceği belirtilebilir. Her iki ağaç türünde mantar çürüklük testinde kullanılan mantar türü, binalarda değerlendirilen İYA odunlarında önemli derecede zarar yapan kiler mantarı (*Coniophora puteana*)'dır. Bu mantarın agresif yapıda bir mantar olup, kısa sürede çok önemli ağırlık ve direnç kayıplarına yol açan esmer çürüklük yaptığı bilinmektedir. Isıl işlemin bu mantar türüne karşı laboratuvar koşullarında başarılı sonuçlar vermesi, ısı işlemli İYA odunlarının mantar çürüme riski yüksek olan kullanım yerlerinde ve coğrafi bölgelerde kullanılmasını olanaklı kılacaktır.

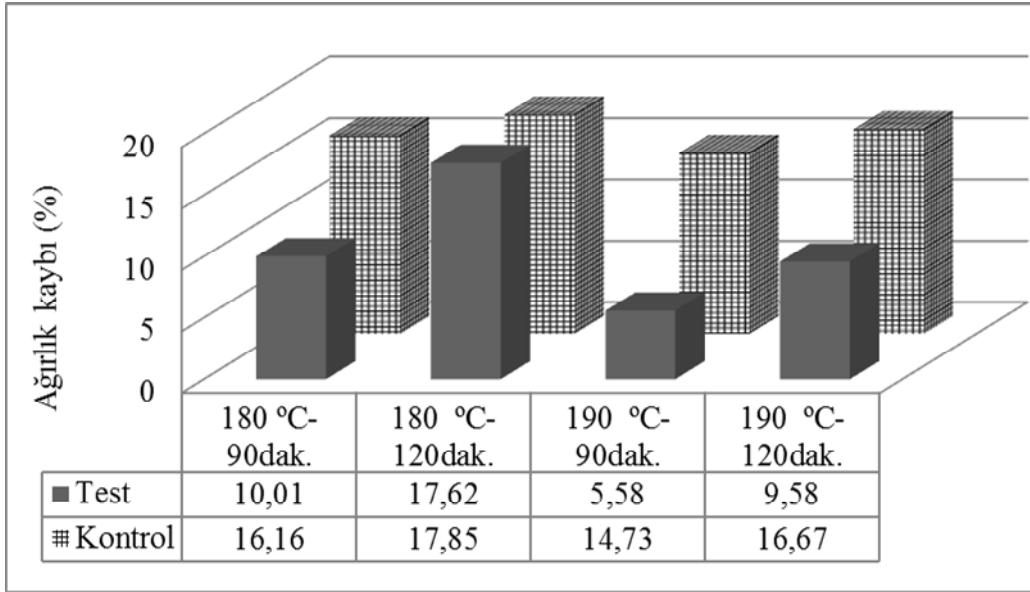
Koenigs (1974), *Gloeophyllum trabeum*'un (esmer çürüklük mantarı) yüksek ağırlık kaybı meydana getirdiğinde pH değerini düşürdüğü, buna karşın düşük ağırlık kayıplarında yüksek pH değeri oluşturduğunu tespit etmiştir. Fakat yaptığımız çalışmada tam tersi bir durum söz konusudur. Karaçam ve ladin örneklerinde pH düşmesine paralel olarak ağırlık kaybının da düştüğü gözlenmiştir.

Isıl işlemin biyolojik dayanıklılığı arttırdığı birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. Örneğin; Dirol ve Guyonnet (1993), 200- 260 °C arasında yaptıkları ısı işlem sonrasında kontrol örneklerinde %40'a varan ağırlık kaybı olmasına rağmen test örneklerinde %1 lik bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Mazela vd. (2003), 220 °C'de 24 saat süre ile ısı işlem uyguladıkları çalışmada test ve kontrol örneklerinin *Coniophora puteana* mantarına maruz bırakılması sonrası kontrol örneklerinde %39'luk bir ağırlık kaybı meydana gelmiş iken test örneklerinde %1'lik bir ağırlık kaybı meydana geldiğini belirtmişlerdir (Dirol ve Guyonnet, 1993; Militz, 2002; Mazela vd., 2003; Schmidt, 2006; URL-2, 2010).

Sailer vd. (2000), 180, 200 ve 220 °C'de ısı işlem uygulanan çam ve ladin örneklerinin *Coniophora puteana* mantarına karşı direnç gösterdiğini açıklamışlardır. Çam kontrol örneklerinde %48, ladin kontrol örneklerinde %40 ağırlık kaybına karşın, test örneklerinde 180 °C için %11, %5, 200 °C için %2 ve 220 °C için %0 lık ağırlık kaybı tespit etmişlerdir.



Şekil 36. MÇT'ye tabi tutulan Kayın odunu örneklerinde ısı işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisi



Şekil 37. MÇT'ye tabi tutulan Kavak odunu örneklerinde ısı işlemin ağırlık kaybı üzerine etkisi

Şekil 36-37'ye göre; YA odunlarında ve özellikle kavak odunu örneklerinde mantar çürüklük testi sonucunda meydana gelen ağırlık kayıplarının kayın odun örneklerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda ısı işlemin yoğunluğu düşük odunlarda mantar çürüklük dayanımı bakımından daha az etkili olduğu söylenilebilir. Doğu kayını odunu örneklerinde ağırlık kaybı değerleri 180 °C'deki ısı işlem uygulaması için %2,87-

4,67 arasında; 190 °C'deki ısıtma uygulaması için %1,8– 5,18 arasında gerçekleşmiştir. 190 °C'de 120 dakika varyasyonunda test örneklerinde yüksek oranda ağırlık kaybı olması mantar gelişiminin bu varyasyonda yoğun olmasına bağlanabilir. Aynı varyasyonun kontrol grubunda %15,22 oranında bir ağırlık kaybı söz konusu olmuştur. 190 °C'de uzayan sürenin ağırlık kaybına olumlu bir katkı sağlamadığı sonucuna varılmıştır.

Kavak odunu test örneklerindeki ağırlık kaybı değerleri 180 °C'deki uygulama için %10,01–17,62 arasında; 190 °C'deki uygulama için ise %5,58- 9,58 arasında olmuştur. Burada da söz konusu sıcaklıklarda uzayan ısıtma işlem süresi ağırlık kaybını azaltıcı yönde bir etki oluşturmamıştır. Kavak odunu test örneklerinde elde edilen yüksek ağırlık kayıpları, ısıtma işleminin bu ağaç türünde empenye maddeleri kadar etkili olamadığını göstermektedir. Ancak yine de, ısıtma işleminin kontrol örneklerine göre 180 °C- 120 dakika hariç önemli derecede bir koruma etkisi gösterdiği söylenebilir. Kavak odununda, ısıtma işlem sıcaklığının 10 °C artmasıyla, çürüme direncinde oldukça önemli artış ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, mantar çürüklük dayanımı için kavak odununda en yüksek sıcaklıkta ısıtma işlem yapılması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Isıtma işlem sıcaklık ve süresinin artması hücre çeperindeki hemiselülozun daha fazla bozunması ve/veya modifikasyonuna sebep olmaktadır. Hemiselülozda meydana gelen bu bozunma mantar gelişimini yavaşlatmaktadır [Yıldız, 2002; Dirol ve Guyonnet, 1993].

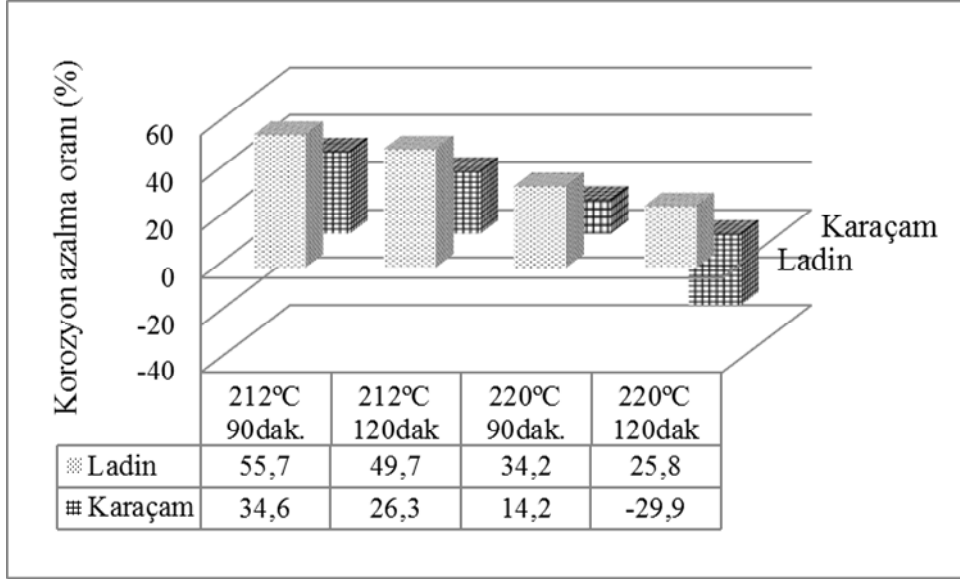
Welzbacher ve Rapp (2002), plato işlemi ile yaptıkları ısıtma işlem sonrasında, ısıtma işlemli test örneklerinde %5 ile %16 arasında bir ağırlık kaybı meydana geldiğini gözlemlemişlerdir (Welzbacher ve Rapp, 2002).

Tjeerdsma'e (2006) göre, ladin odununun 180 °C'de ısıtma işlemine tabi tutulmasının odunun biyolojik direncini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur. Kontrol örneklerinde %20,3'lük bir ağırlık kaybı meydana gelmesine rağmen test örneklerinde %3,9'lük bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Sıcaklığın 230 °C'ye çıkarılması durumunda ise test örneklerinde herhangi bir ağırlık kaybı meydana gelmemiştir (Boke, 2006).

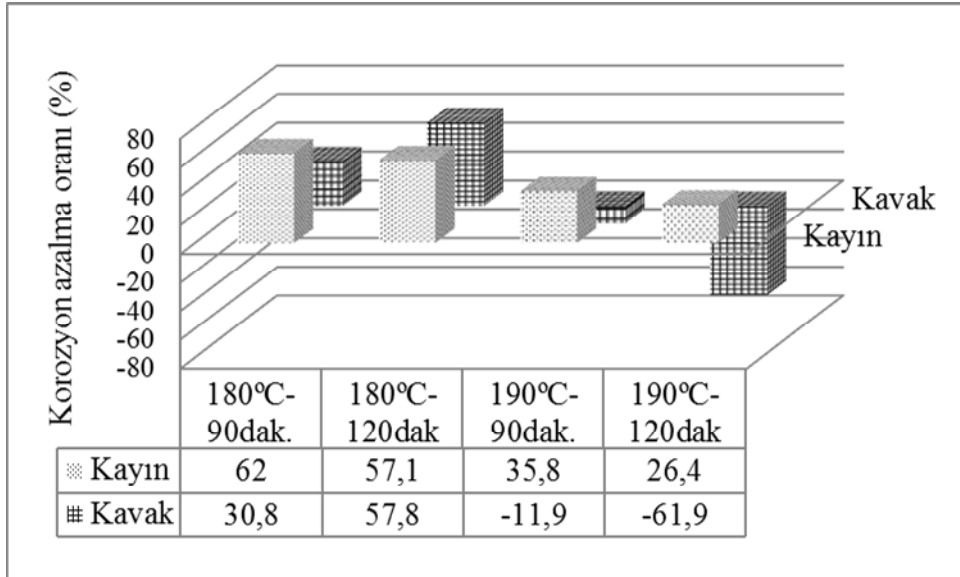
ÇVA sonuçlarına göre; iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlarda, ağırlık kaybı üzerine ısıtma işlem sıcaklığının, ağaç türü ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin istatistiksel açıdan önemli olduğu gözlenmiştir.

4.4. Isıl İşlemin Korozyon Direnci Üzerine Etkisi

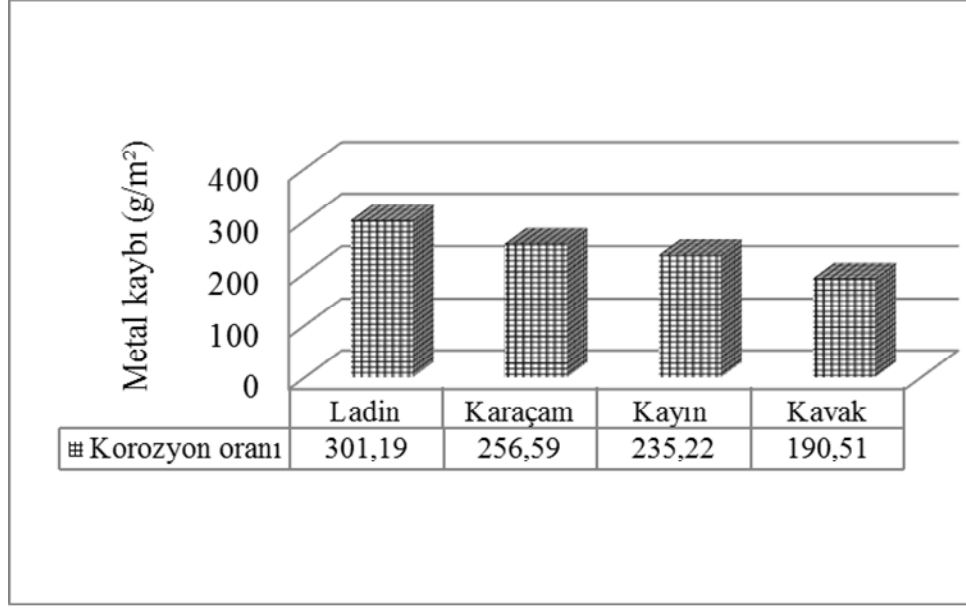
Yapılan çalışmada ısıl işlem sonrası odun örneklerinde tespit edilen korozyon azalma-artma oranları Şekil 38-39’da gösterilmektedir.



Şekil 38. Ladin ve karaçam odunları test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen korozyon azalma-artma oranları (%)



Şekil 39. Kayın ve kavak odunları test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalma-artma oranları (%)



Şekil 40. Kontrol örneklerinde oluşan metal kaybı (g/m²)

Korozyon oluşumunda odun içerisinde bulunan ekstraktif maddeler ve odun nem içeriği önemli rol oynamaktadır. Eğer odun içerisindeki nem oranı %20 'den yukarı ise korozyon oluşumu hızlanmaktadır ve rutubet artışına paralel olarak korozyon oranı artış göstermektedir (Anonim, 1999). Tam bu noktada ısıtma işleminin en önemli katkılarından biri rutubet alışverişini azaltma potansiyelidir. Isıtma işlemi sonrası hemiselüloz ve selüloza bağlı OH gruplarının parçalanması nedeniyle odunun SAO azalmakta ve böylece korozyon oluşumunu hızlandıran nem oranı aşağıya çekilebilmektedir (Yıldız, 2002).

Ladin örneklerinde en olumlu sonuç 212 °C'de 90 dakikalık ısıtma işlemi varyasyonunda gözlemlenmiştir. Söz konusu varyasyonda korozyon miktarı kontrole oranla %55,7 oranında azalırken, bunu 212 °C'de 120 dakikalık ısıtma işlemi uygulaması takip etmiştir. Sıcaklık ve sürenin maksimum olduğu varyasyonda (220 °C-120 dak.) ise korozyon azalma oranı %25,8 olarak tespit edilmiştir. Kontrole oranla ladin odunu test örneklerindeki korozyon azalma oranının yüksek çıkması, korozyon deneyi sonrası belirlenen odun örneklerinin rutubet miktarlarına bağlanabilir. Deney sonrası ladin kontrol örneklerindeki ortalama rutubet değeri %58 iken, ısıtma işlemi uygulanmış test örneklerinde bu değer %47 seviyelerinde bulunmuştur. Test örneklerindeki düşük rutubet değeri korozyon oranının düşmesine katkı sağlamıştır.

Bilindiği gibi, ısıtma işlemi süresinin ve sıcaklığının artışına paralel olarak SAO düşüş göstermektedir. Absorbe edilen su oranının düşüşüne paralel olarak korozyon oranı

değerlerinin de düşüş göstermesi beklenir. Fakat ısı işlem sıcaklığının artışı odun bileşenleri üzerinde yıkımlanmalara neden olmakta ve odun asidik bir karakter kazanmaktadır. Oluşan asetik asit ve formik asit ise korozyon oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Kamdem, 2002; Obataya ve Tomita, 2002; Yıldız, 2002; Jermer ve Anderson, 2005; Kartal, 2006; Kartal, 2007; Ghalehno, 2011).

Şekil 38'e göre; karaçam odunu test örneklerinde kontrole oranla en yüksek korozyon azalma oranı %34,6 olarak 212 °C'de 90 dakikalık ısı işlem uygulamasında elde edilmiştir. Bunu %26,3'lük azalma ile 212 °C'de 120 dakikalık varyasyon takip etmiştir. Sıcaklık artışıyla birlikte %29,9'a varan korozyon artışı tespit edilmiştir. Her iki iğne yapraklı ağaç türü kendi aralarında mukayese edildiğinde ladin daha olumlu bir performans sergilemiştir.

Kayın odunu örneklerine gelindiğinde (Şekil 39); en olumlu sonucun sıcaklık ve sürenin en düşük olduğu varyasyondan geldiği anlaşılmaktadır. Söz konusu uygulamada korozyon azalma oranı %62 olarak bulunmuştur. En düşük azalma ise 190 °C'de 120 dakikalık ısı işlem uygulamasında %26,4 oranında tespit edilmiştir.

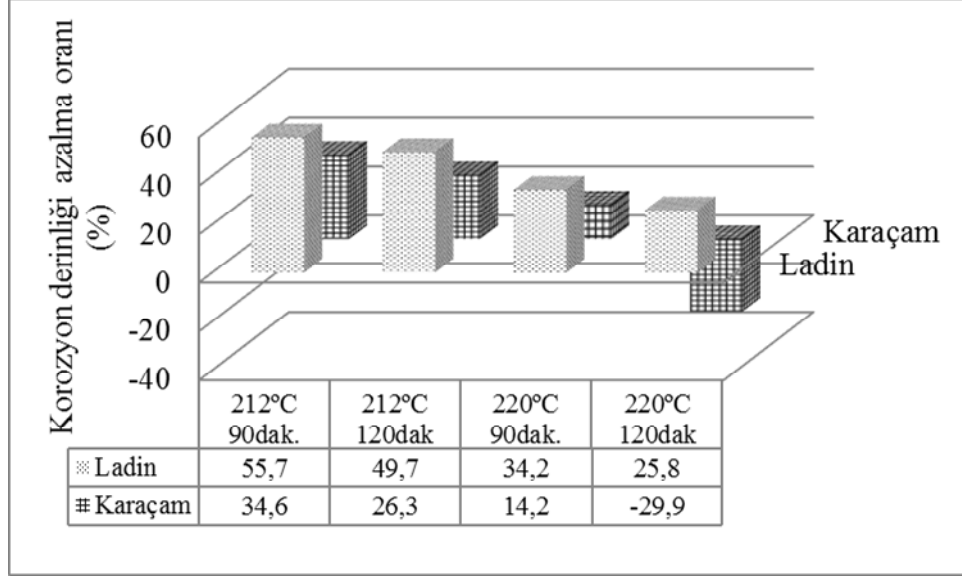
Kavak odunu örneklerinde en olumlu tablo 180 °C'de 120 dakika süreyle ısı işlem uygulanan varyasyonda gözlenmiştir. Artan sıcaklık ve süre korozyon derecesini arttırmış bütün ağaç türü ve ısı işlem varyasyonları içerisinde %61,9'luk bir korozyon artışı ile en maksimum seviyeye kavak odunu örneklerinde ulaşılmıştır.

Şekil 40'daki verilere göre, ağaç türü olarak en yüksek korozyon değeri ladin örneklerinde, en düşük değer ise kavak örneklerinde elde edilmiştir (266,7 g/m², 190,5 g/m²). Ladin odununda yüksek korozyon bulunması, ladin örneklerinin düşük pH (5.0) ve korozyon deneyi sonrası en yüksek rutubet oranına sahip olmasına bağlanabilir.

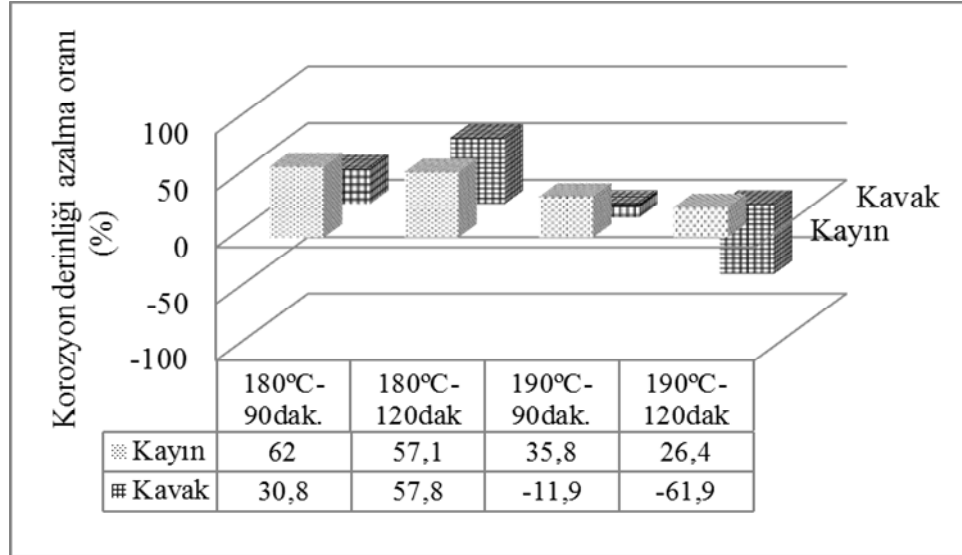
Yapılan çalışmada en yüksek korozyon değerleri en yüksek sıcaklık ve süre varyasyonlarında gözlenmiştir. Isıl işlemin korozyon üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ısı işlem sonrası korozyon değerlerinde artış gözlenmiştir. Kontrol örneklerinde 188 g/m² metal kaybı olurken, 220 °C'de 4 saat süreyle uygulanan ısı işlem sonrası test örneklerinde 456 g/m² metal kaybı oluşmuştur (Jermer, 2005).

Yapılan çalışmada ısı işlem sonrası odun örneklerinde tespit edilen korozyon oranına paralel olarak elde edilen korozyon derinliği azalma-artma oranı Şekil 41-42'de gösterilmektedir.

Korozyon derinliği, metal ağırlık kaybının kullanılan vida yoğunluğuna bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu nedenden korozyon derinliği % azalma-artma oranları korozyon oranı azalma –artma oranı değerleri ile aynıdır (Şekil 38-39).



Şekil 41. Ladin ve karaçam odunları test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen korozyon derinliğine ait azalma-artma oranları (%)



Şekil 42. Kayın ve kavak odunları test örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla meydana gelen azalma-artma oranları (%)

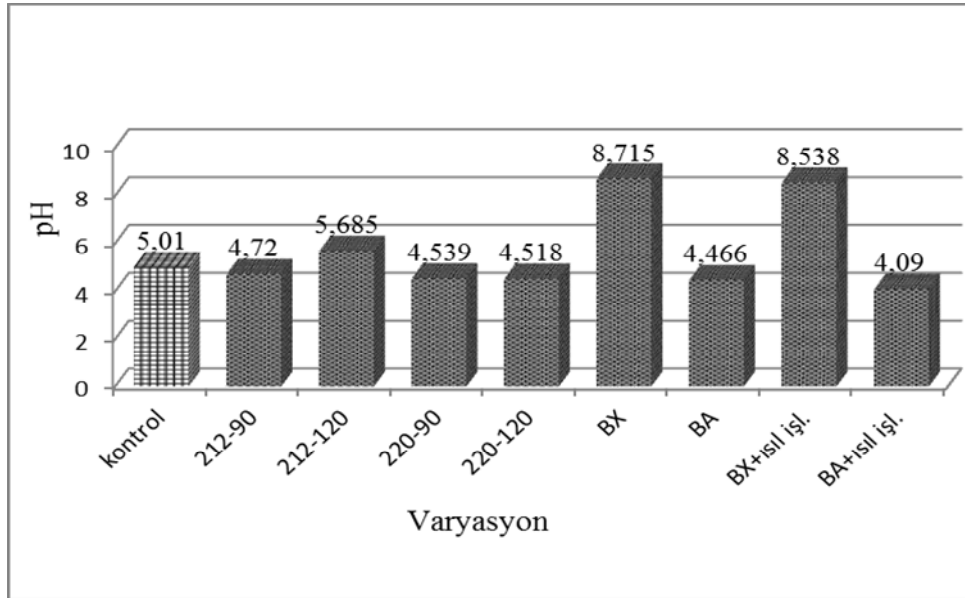
4.5. Isıl İşlemin Odunun pH Değerine Etkisi

Isıl işlem ve emprenye işlemi sonrası iğne yapraklı ağaç odun örneklerine ait pH değerleri Şekil 43- 44'de gösterilmiştir.

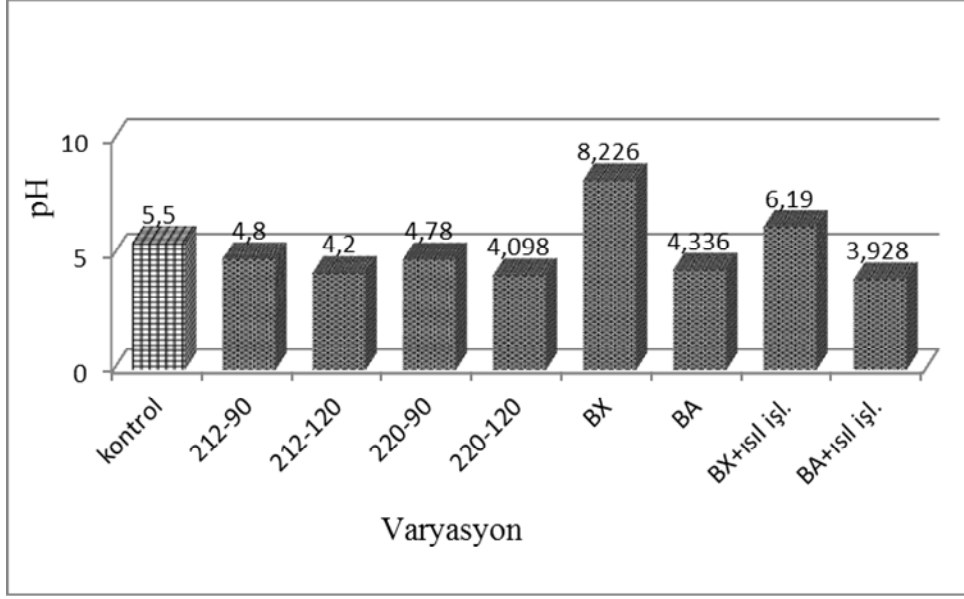
Sadece ısıl işleme maruz bırakılmış ladin ve karaçam odununa ait örneklerde ladin odununun 212 °C'de 120 dakikalık ısıl işlem uygulaması hariç pH değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. Karaçam ve ladin kontrol örneklerinin pH değeri sırasıyla 5,5 ve 5,0'iken emprenyesiz ısıl işlem sonrasında pH 4,1-4,5 değerlerine düşüş göstermiştir.

Karaçam ve ladin odunu örneklerinin BA ve BX ile emprenye işlemi sonrası BA ile emprenyeli örneklerin pH değerlerinde kontrole oranla düşüş, BX ile emprenyeli örneklerin pH değerlerinde ise kontrole oranla artış gözlenmiştir.

Sadece (emprenyesiz) ısıl işleme tabi tutulmuş ladin ve karaçam odunu örneklerinde kontrole oranla genelde (ladin odununda 212 °C'de - 120 dakikalık uygulama hariç) asiditenin artma eğilimine girdiği tespit edilmiştir. Her iki ağaç türünün sadece BX ile emprenyesinden sonra bazikliğe ve sadece BA ile emprenyesinden sonra ise asitliğe doğru bir yönelim tespit edilmiştir. BX ve BA ile emprenyeden sonra ısıl işlem gören örneklerde de benzer bir gidişat söz konusu olmuştur. İğne yapraklı ağaç türlerinde asitliğin en yüksek (pH 3.9) olduğu varyasyon karaçam odununda BA + ısıl işlem varyasyonu olmuştur.



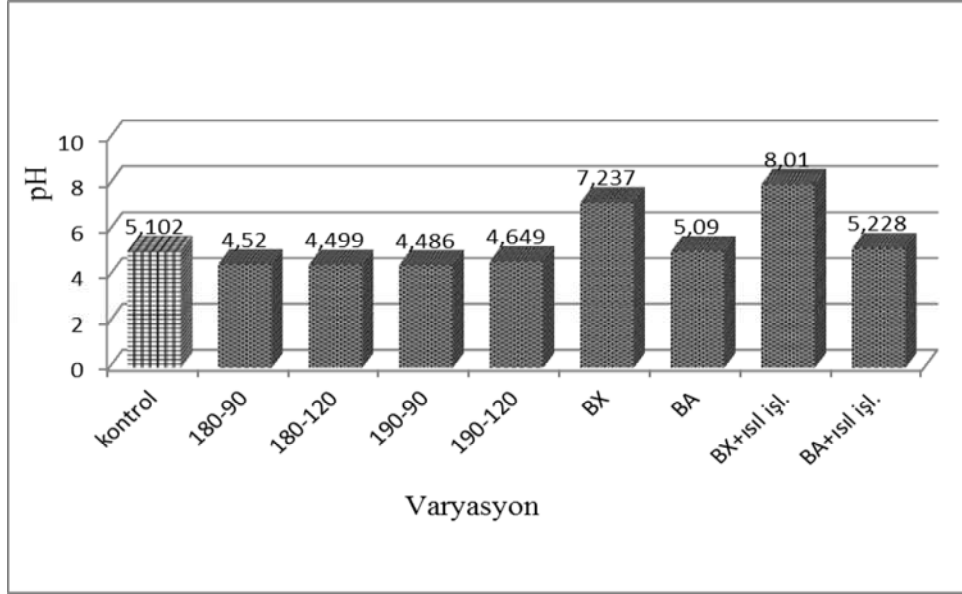
Şekil 43. Ladin odununa ait pH değerleri



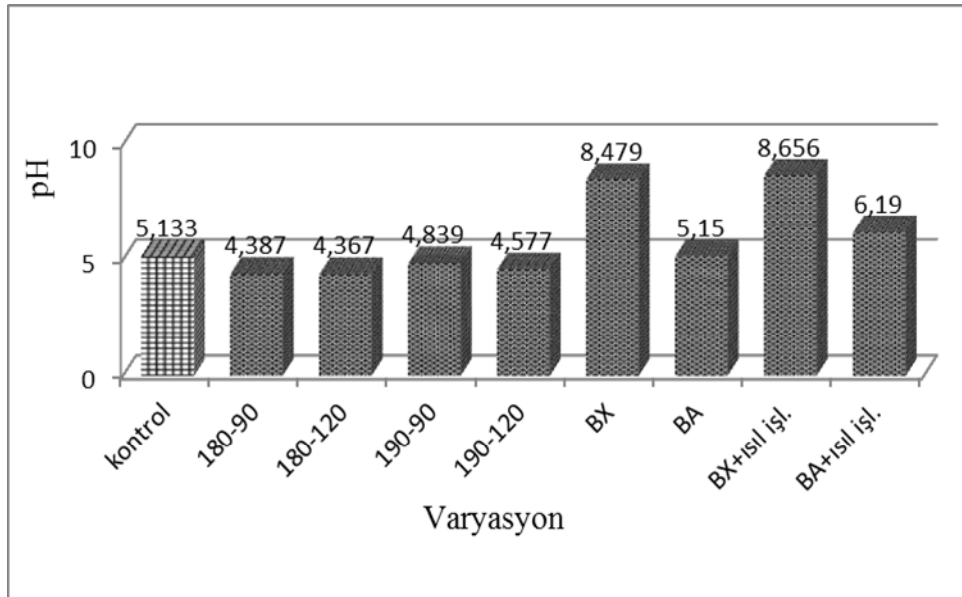
Şekil 44. Karaçam odununa ait pH değerleri

Kartal (2006), benzer sonuçlar rapor etmiştir. Isıl işlem sıcaklık ve süresinin artışına paralel olarak odun örneklerinin asidik yapılarının arttığı ve %5 konsantrasyonda BA ile emprenye edilen örneklerin ısısl işlemi sonrasında pH seviyelerinin (2,05), sadece ısısl işleme tabi tutulmuş örneklerin (2,20) pH seviyelerinden daha düşük olduğu vurgulanmıştır. Bazik bir yapıya sahip olan DOT ile yapılan bir başka çalışmada ise emprenye işlemi sonrasında ısısl işleme tabi tutulan örneklerde daha yüksek pH seviyeleri (5,92) elde edilmiştir.

Isıl işlem ve emprenye işlemi sonrası yapraklı ağaç odun örneklerine ait pH değerleri Şekil 45-46'da gösterilmiştir.



Şekil 45. Kayın odununa ait pH değerleri



Şekil 46. Kavak odununa ait pH değerleri

Sadece ısısl işleme maruz bırakılmış kayın ve kavak odununa ait örneklerin pH değerlerinde kontrole oranla azalmalar gözlenmiştir. Kayın ve kavak kontrol örneklerinin pH değeri sırasıyla 5,1 ve 5,2 iken ısısl işlem sonrasında pH değerleri 4,3'e kadar düşüş göstermiş, asitliğe doğru bir yönelim gerçekleşmiştir. ısısl işlem odun ana bileşenlerinden olan hemiselüloz üzerinde önemli yıkımlara neden olmakta ve asetil yan zincirlerinden

formik asit (HCOOH) ve asetik asidin (CH₃COOH) oluşmasıyla odunun asiditesi artış göstermektedir (Korkut ve Kocaefe, 2002).

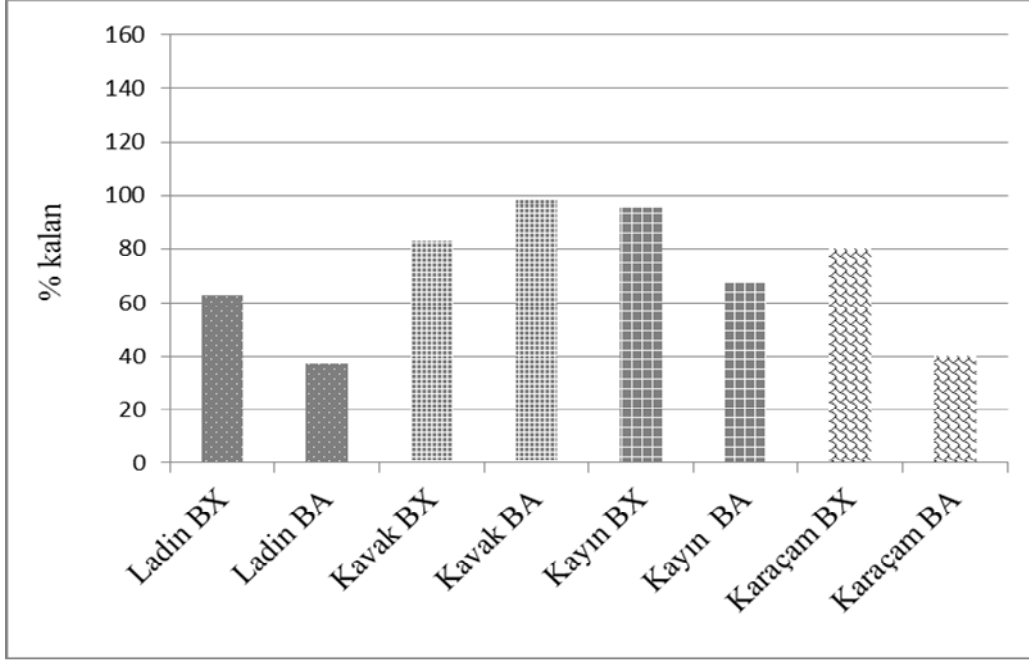
Kayın ve kavak odunu örneklerinin sadece BX ile emprenyesi sonrası pH değerleri sırasıyla 7,2 - 8,4 iken, sadece BA ile emprenye edilen örneklere ait pH değerlerinde kontrole oranla ciddi bir değişiklik kaydedilmemiştir (pH 5,0-5.1).

BX ile emprenye işlemi sonrasında ısıtılma maruz bırakılan kayın ve kavak odunu örneklerinin pH değerlerinde kontrole oranla bir artış gözlenmiştir. BA + ısıtılma varyasyonunda meydana gelen artış ise daha küçük miktarlarda kalmıştır.

Isıtılma sonrası İYA türlerine göre kayın ve kavak odun örneklerinde daha fazla kalan bor bileşiği miktarının pH değerlerini etkileyebileceği düşünülmektedir. Nitekim, ısıtılma sonrasında odun örneklerinde önemli miktarda bor bileşiği kalmıştır ve kalan bor bileşikler ısıtılma sonrasında pH değerlerinin yüksek seviyelerde kalmasına neden olabilmektedir (Tablo 45).

4.6. Isıtılma Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Bor Miktarları

Şekil 47'deki verilere göre; bütün ağaç türlerinde ısıtılma sonrasında odunda kalan bor miktarı bir hayli yüksek çıkmıştır. Bunun anlamı, borla emprenye edilip daha sonra ısıtılma (yapraklı ağaçlar için 190 °C'de 90 dak. süre ve iğne yapraklı ağaçlar için 212 °C 'de 120 dak. süre) tabii tutulan odun örneklerinde, buhar ortamına rağmen ısıtılma nedeniyle uzaklaşan bor miktarının az olmasıdır. Diğer yandan, kavak dışında kalan bütün ağaç türlerinde boraksın borik aside göre daha az uzaklaştığı gözle çarpılmaktadır. Bu durum ısıtılma sırasında odun bileşenlerinin parçalanmasıyla birlikte açığa çıkan asidik ürünlere bağlanabilir. BX'in bazik yapısı nedeniyle ısıtılma sırasında ağaç malzeme içerisinde daha fazla tutunduğu söylenebilir.



Şekil 47. Isıl işlem sonrası kalan bor miktarları (%)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, borik asit ve boraks ile emprenye edildikten sonra ısıtıl işlem uygulanan ladin, karaçam, kayın ve kavak odun örneklerinde meydana gelen değişiklikler bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik test yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Isıtıl işlem görmüş test örnekleri kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

5.1. Fiziksel Özelliklere Ait Sonuçlar

5.1.1. Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Özgül Ağırlık Değerlerine İlişkin Sonuçlar

BA ve BX ile emprenye edildikten sonra ısıtıl işleme maruz bırakılan karaçam odun örneklerinde, herhangi bir işleme tabi tutulmayan kontrol 1 örneklerine oranla sırasıyla %5,6 ve %13'lük bir azalma kaydedilmiştir. BX emprenyesinde daha az olmak üzere benzer bir azalma ladin örneklerinde de meydana gelmiştir. Boraks ile emprenye edilmiş örneklerde oluşan özgül ağırlık kaybı borik asite oranla daha fazladır.

BA ile emprenye edilmiş kavak odunu örnekleri hariç, YA odunu örneklerinde de genel olarak kontrole 1 oranla %2,2- %4,2 arasında değişen bir özgül ağırlık kaybı söz konusudur. Sadece ısıtıl işlem uygulanmış kontrol 2 grubu ile karşılaştırıldığında ise, kontrol 1'e oranla ladin'de %13,5; karaçam'da %9,3; kayın'da %4,2; kavak'ta ise %4,4 oranında azalma olmuştur. Kontrol 1'e oranla kontrol 2'deki özgül ağırlık değerleri her dört ağaç türünde de daha düşük miktarlarda bulunmuştur.

5.1.2. Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Su Alma Oranı, Teğetsel Genişleme ve Genişlemeyi Önleyici Etkinlik Değerlerine Ait Sonuçlar

Isıtıl işlem sonrası odun örneklerinin su alma oranı değerleri belirli miktarlarda azalma göstermiştir. Şekil 20-23'den anlaşılacağı üzere, 2 saatten 72 saate kadar suda bekletme süreleri için kontrol 2 SAO'ları, kontrol 1 örneklerinin SAO'larına kıyasla belirli miktarda azalma göstermiştir. En fazla azalma ladin örneklerinde gerçekleşmiştir.

Emprenye işlemi sonrası ısıtma işlemi uygulanan test örneklerinin SAO'ları ilk iki saatte bile neredeyse kontrol 1 örneklerine eşdeğer bir su alma oranına sahiptir. Ladin ve kavakta daha belirgin olmak üzere BX'in SAO, BA'ye göre daha yüksek bulunmuştur. Karaçam'ın SAO'larına bakıldığında varyasyonlar arasındaki farklılığın ısıtma işlemli kontroller dışında su alma miktarına çok fazla yansımadağı, benzer bir durumun kayın odun örnekleri için de geçerli olduğu söylenebilir. Kavakta ise artan suda bekleme süresi ile birlikte yine BX'in bu kez hem kontrol 1 hem de kontrol 2 gruplarından daha fazla miktarda su absorbladığı görölmektedir (Şekil 23).

72 saat sonrası teğetsel genişleme kayın kontrol 1 örneklerinde %10,56, karaçam örneklerinde %8,46, kavak örneklerinde %7,64 ve ladin örneklerinde %6,59 olarak gerçekleşmiştir.

Isıtma işlemi boyut stabilizasyonunu önemli ölçüde arttırmıştır. Nitekim kontrol 2'deki teğetsel genişleme değerleri kontrol 1 örneklerinden daha düşük miktarlarda bulunmuştur. Kayın, karaçam, kavak ve ladin kontrol 2 örneklerinde sırasıyla %7,71, %5,14, %5,03, %4,12'lik teğetsel genişleme değerleri elde edilmiştir.

Emprenye işlemi sonrası ısıtma işlemi uygulaması, odun örneklerinin TG değerlerinin değişik oranlarda etkilemiştir. En yüksek TG değeri BA ile emprenye edilmiş kayın örneklerinde elde edilirken (%9,65), en düşük TG değeri ise BA ile emprenyeli karaçam örneklerinde elde edilmiştir (%2,63).

Isıtma işleminin fiziksel özellikler üzerine olan olumlu etkisi GET değerlerinde daha da ön plana çıkmıştır. Ladin, karaçam, kayın ve kavağın sadece ısıtma işlemi görmüş kontrollerinde (kontrol 2) sırasıyla %38,25, %43,24, %21,19 ve %34,14 oranında GET değerleri elde edilmiştir.

Borik asit ve boraks ısıtma işlemi ile elde edilen olumlu GET değerlerini olumsuzla çevirmiştir. BX ile emprenye edilmiş örneklerin GET değerleri bütün ağaç türlerinde kontrol 2'e kıyasla daha düşük seviyededir. Fakat BA ile emprenye sonrası ladin ve karaçam türlerinde kontrol 2'ye oranla daha yüksek GET değerleri elde edilmiştir. En yüksek GET değerleri BA ile emprenye edilmiş ladin ve karaçam türlerinde elde edilmiştir (%43, %68).

5.2. Mekanik Özelliklere Ait Sonuçlar

5.2.1. Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Eğilme Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar

Sadece ısıtma işlemi uygulanan ladin, karaçam, kayın ve kavak türlerinde eğilme direnci değerleri sırasıyla %1,68, %5,15, %15,32 ve %20,14 oranında azalma göstermiştir. YA türlerinde oluşan eğilme direnci kaybı İYA türlerine oranla oldukça yüksek bulunmuştur.

Emprenye sonrası ısıtma işlemi uygulanan ladin ve kayın test örneklerinde Kontrol 1'e oranla BX ile emprenye edilen test örneklerinin eğilme direnci değerlerinde küçük bir miktar artış kaydedilmiştir. BX emprenyesinden sonra kontrol 1'e oranla meydana gelen eğilme direnci artış oranları ladinde %3, kayında %11 olarak tespit edilmiştir. Buna karşılık BA emprenyesinden sonra kontrol 1'e oranla eğilme direnci değerlerinde meydana gelen azalma miktarları; ladin'de %4,98, kayın'da %16,43, kavakta %16,41 ve en fazla karaçamda olmak üzere %23,76 olarak gerçekleşmiştir.

BA ve BX ile muamele edilen örnekler kontrol 2'ye göre kıyaslandığında; karaçam odunu örneklerinin eğilme direnci değerlerinde bir miktar azalma tespit edilmiştir. Bu azalma BA ve BX 'ta %18 kadar olmuştur. BA muamelesinde kavak odunu dışında, eğilme direnci değerleri kontrol 2'ye göre daha düşük bulunurken, BX emprenyesinde ise karaçam ve kavak dışında eğilme direnci değerleri kontrol 2'ye oranla daha yüksek bulunmuştur (Tablo 25). Kontrole oranla test örneklerinde meydana gelen bu artış ladin'de %7,59; kayın'da ise %31,02 olarak tespit edilmiştir.

5.2.2. Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Liflere Paralel Basınç Direnci Değerlerine Ait Sonuçlar

BA ile emprenye edildikten sonra ısıtma işlemi uygulanan her dört ağaç türünde de hem kontrol 1 hem de kontrol 2'ye oranla liflere paralel basınç direncinde (LPBD) azalmalar kaydedilmiştir. Kontrol 1'e göre bu azalma oranları; ladinde %41,81, karaçamda %64,01, kayında %51,66 ve kavakta %37,31 olarak kaydedilmiştir (Şekil 28-29).

BX emprenyesinde ise; kontrol 1'e oranla liflere paralel basınç direncinde meydana gelen azalmalar ladinde %31,29, karaçamda %39,07, kayında %27,86 ve kavakta %26,31 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 28-29).

Emprenye işlemi odun örneklerinin performansını ısıtma oranla daha olumsuz etkilemiştir. Boraks ile emprenyeli örneklerdeki azalma borik asit ile emprenyeli örneklere nazaran daha düşük seviyededir. Test örnekleri kontrol 2 ile kıyaslandığında boraks, liflere paralel basınç direnci değerlerinde meydana gelen kayıpları azaltmak bakımında borik asite oranla daha avantajlıdır.

Isıtma işlemi bütün odun örneklerinin LPBD değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Yapraklı ağaç türlerinde daha fazla olmak üzere LPBD %21,52-38,99 arasında azalış göstermiştir.

5.2.3. Isıtma İşlemi Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Vida Tutma Direnci Değerlerine İlişkin Sonuçlar

İğne yapraklı ağaç türlerinde ısıtma işleminin sıcaklık ve süre varyasyonlarına bağlı olarak vida tutma direncini etkilediği anlaşılmaktadır. Ladin odununda vida tutma direncinin en fazla etkilendiği varyasyon 180 °C sıcaklık 120 dakika süre varyasyonudur. Şekil 30 'deki verilere göre; 220 °C'de yapılan ısıtma işlemi ladin odununda vida tutma direncini, 212 °C'deki ısıtma işlemine göre daha belirgin bir biçimde etkilemiştir. Karaçam odununda meydana gelen vida tutma direnci kaybı ladin odununa göre daha belirgindir. 212 °C 'de ladin örneklerinin vida tutma direnci %7-14 oranında azalmasına rağmen, karaçam örneklerinde %26- 27 oranında bir kayıp olmuştur.

Yapraklı ağaç türlerinde de ısıtma işlemi sonrasında vida tutma direncinde azalmalar meydana gelmiştir. Kavak odununda, vida tutma direncindeki azalma kayındaki kadar belirgin değildir. Ayrıca, ısıtma işlemi sıcaklık ve süresinin vida tutma direncine doğrusal bir etkisinin olmadığı belirtilebilir. 180 °C'de 90 dakikalık uygulamada %14,23'lük bir kayıp söz konusu iken aynı sıcaklığın daha uzun süreyle uygulandığı 180 °C'de 120 dakikalık uygulamada hiçbir kaybın meydana gelmemesi enteresan bulunmuştur.

5.3. Biyolojik Özelliklere Ait Sonuçlar

5.3.1. Isıl İşlem Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarında Mantar Çürüklük Direnci Değerlerine Ait Sonuçları

Isıl işlem sonrası iğne yapraklı ağaç türlerinde çürüklüğe karşı önemli ölçüde dayanım gerçekleşmiştir. Isıl işlem, ladin odununda bir emprenye maddesi kadar mantar çürüklük dayanımı sağlamaktadır. Ladin odununda süre artışından ziyade sıcaklık artışının daha etkili olduğu ifade edilebilir. Ladin odunu örneklerinde sıcaklık artışına paralel olarak ağırlık kaybına azalma tespit edilmiştir. En düşük ağırlık kaybı 220 °C 'de 90 dak. süre varyasyonunda elde edilmiştir (%1,35). Karaçam odununda elde edilen değerler ladin odununa göre daha olumludur. Karaçam odununda daha düşük sıcaklıklarda düşük ağırlık kayıpları elde edilmiştir. 212 °C'de 90 dak. ısıl işlem uygulanması sonucu test örneklerinde %1,29 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

Yapraklı ağaçlarda oluşan ağırlık kaybı iğne yapraklı ağaçlara nazaran daha yüksek seviyededir. En düşük ağırlık kaybı 190 °C'de 90 dak. varyasyonunda elde edilmiştir (%1,8). Kavak odununda gözlenen ağırlık kayıpları, ısıl işlemin bu ağaç türünde emprenye maddeleri kadar etkili olamadığını göstermektedir. Ancak yine de, ısıl işlemin kontrol örneklerine göre 180 °C- 120 dak. hariç önemli derecede bir koruma etkisi gösterdiği söylenebilir. Fakat ısıl işlem kavak odununda kayın odunki kadar bir dayanım sağlamamıştır.

5.4. Emprenye ve Isıl İşlem Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarının Korozyon Değerlerine Ait Sonuçlar

Ladin örneklerinde en olumlu sonuç 212 °C'de 90 dakikalık ısıl işlem varyasyonunda gözlenmiştir. Söz konusu varyasyonda korozyon miktarı kontrole oranla %55,7 oranında azalırken, bunu 212 °C'de 120 dakikalık ısıl işlem uygulaması takip etmiştir. Sıcaklık ve sürenin maksimum olduğu varyasyonda (22 °C-120 dak.) ise korozyon azalma oranı %25,8 olarak tespit edilmiştir. Karaçam odunu test örneklerinde kontrole oranla en yüksek korozyon azalma oranı %34,6 olarak 212 °C'de 90 dakikalık ısıl işlem uygulamasında elde edilmiştir. Bunu %26,3 'lük azalma ile 212 °C'de 120 dakikalık varyasyon takip etmiştir.

Isıl işlem uygulanmış kayın ve kavak türlerinin korozyon değerleri kontrole kıyasla oldukça düşüktür. Sadece kavak türünün 190 °C'deki varyasyonlarında korozyon değerleri

kontrole kıyasla yüksek bulunmuştur. Kayın odun örneklerinde en olumlu sonucun sıcaklık ve sürenin en düşük olduğu varyasyondan geldiği anlaşılmaktadır. Söz konusu uygulamada korozyon azalma oranı %62 olarak bulunmuştur. En düşük azalma ise 190 °C'de 120 dakikalık ısı işlem uygulamasında %26,4 oranında tespit edilmiştir. Kavak odunu örneklerinde en olumlu tablo 180 °C'de 120 dakika süreyle ısı işlem uygulanan varyasyonda gözlenmiştir. Artan sıcaklık ve süre korozyon derecesini arttırmıştır.

Ağaç türü olarak en yüksek korozyon değeri ladin örneklerinde, en düşük değer ise kavak örneklerinde meydana gelmiştir (266,7 g/m², 190,5 g/m²).

5.5. Emprenye ve Isıl İşlem Uygulanan Ladin, Karaçam, Kayın ve Kavak Odunlarının pH Değerlerine Ait Sonuçlar

Sadece ısı işlemine maruz bırakılmış ladin ve karaçam odununa ait örneklerde ladin odununun 212 °C'de 120 dakikalık ısı işlem uygulaması hariç pH değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. Karaçam ve ladin odunu örneklerinin BA ve BX ile emprenye işlemi sonrası BA ile emprenyeli örneklerin pH değerlerinde kontrole oranla düşüş, BX ile emprenyeli örneklerin pH değerlerinde ise kontrole oranla artış gözlenmiştir. Sadece (emprenyesiz) ısı işlemine tabi tutulmuş ladin ve karaçam odunu örneklerinde kontrole oranla genelde (ladin odununda 212 °C'de - 120 dakikalık uygulama hariç) asiditenin artma eğilimine girdiği tespit edilmiştir. Her iki ağaç türünün sadece BX ile emprenyesinden sonra bazikliğe ve sadece BA ile emprenyesinden sonra ise asitliğe doğru bir yönelim tespit edilmiştir. BX ve BA ile emprenyeden sonra ısı işlem gören örneklerde de benzer bir gidişat söz konusu olmuştur.

Sadece ısı işlemine maruz bırakılmış kayın ve kavak odununa ait örneklerin pH değerlerinde kontrole oranla azalmalar gözlenmiştir. Kayın ve kavak kontrol örneklerinin pH değeri sırasıyla 5,1 ve 5,2 iken ısı işlem sonrasında pH değerleri 4,3'e kadar düşüş göstermiş, asitliğe doğru bir yönelim gerçekleşmiştir. Kayın ve kavak odunu örneklerinin sadece BX ile emprenyesi sonrası pH değerleri sırasıyla 7,2 - 8,4 iken sadece BA ile emprenye edilen örneklere ait pH değerlerinde kontrole oranla ciddi bir değişiklik kaydedilmemiştir. (pH 5,0-5,1). BX ile emprenye işlemi sonrasında ısı işlemine maruz bırakılan kayın ve kavak odunu örneklerinin pH değerlerinde kontrole oranla bir artış gözlenmiştir. BA + ısı işlem varyasyonunda meydana gelen artış ise daha küçük miktarlarda kalmıştır.

5.6. Isıl İşlem Sonrası Odun Örneklerinde Kalan Borik Asit ve Boraks Oranlarına Ait Sonuçlar

Bütün ağaç türlerinde ısıl işlem sonrasında odunda kalan bor miktarı bir hayli yüksek çıkmıştır. En yüksek oran (% 98) BA ile emprenye edilen kavak odunu örneklerinde tespit edilmiştir. Kavak dışında kalan bütün ağaç türlerinde boraksın borik aside göre daha az uzaklaştığı göze çarpmaktadır. Isıl işlemde en az etkilenen tür kavak, en fazla etkilenen tür ise ladin olmuştur.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de doğal olarak yetişen ve orman ürünleri sanayinde yoğun olarak kullanılan doğu kayını, doğu ladini, karaçam ve kavak odunları, endüstriyel ölçekli boyutlarda ısıt işleme tabi tutulmuş ve işleml sonrasında odun özelliklerinde meydana gelen değişiklikler bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik test yöntemleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bazı örnekler üzerinde ısıt işleml ve empenye işleminin kombine etkisinin de performans üzerine etkileri araştırılmıştır. Böylece, bu ağaç türü odunlarının ısıt işleme tabi tutulması ve empenye ile kombine etkisine ilişkin bir veri tabanı oluşturulması hedeflenmiştir. Bu veri tabanında yer alan bilgilerin, orman ürünleri sanayinde değerlendirileceği ümit edilmektedir.

Dünyanın büyük bir kısmı enerji tüketimini ve CO₂ emisyonunu azaltmak için sürdürülebilir yapı materyallerinin kullanımını teşvik etmektedir. Isıt işleml uygulanmış kereste diğer yapı materyalleri ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde çevresel fayda sağlamaktadır. Isıt işleml uygulaması boyunca kullanılan enerji miktarı ve oluşan CO₂ miktarı özellikle PVC, alüminyum, çelik gibi materyaller ile karşılaştırıldığında düşüktür. Ayrıca, Isıt işleml uygulanmış kereste kullanım suresi bittiğinde enerji istasyonlarında yakıt kaynağı olarak kullanılabilir. Böylece temiz enerji sağlanır ve fosil yakıtların kullanılması durumunda fazla olan CO₂ emisyonu azaltılmış olur.

Bu tezden edinilen bulgulara göre; ısıt işleml uygulanmış ladin, karaçam, kayın ve kavak odunlarının yüke maruz kalacak yerlerde kullanılması tavsiye edilmemekte, fakat dekorasyon ve dış cephe kaplamalarında herhangi bir sorun oluşturmayacağı düşünülebilir. Isıt işleml uygulanmış ağaç malzemelerin normal oduna göre daha düşük denge rutubetine sahip olduğundan dolayı dekorasyon, dış cephe kaplama, havuz kenarlarında, birinci dereceden suyla temas eden yerlerde rahatça kullanılabilir.

Isıt işleml boyutsal stabiliteyi arttırdığı için çalışmanın istenmediği yerlerde tavsiye edilebilir. Ladin ve karaçam odun örneklerinin empenyesinde özellikle borik asit tavsiye edilmektedir. Boraks ile empenye işleml teğetsel genişlemeyi arttırdığı için tavsiye edilmemektedir.

Yapılan çalışmada ladin, karaçam, kayın ve kavak odunlarında ısıt işleml ve borik asit ile empenye işleml uygulaması sonrası mekanik değerlerde düşüş gözlenmiştir. Bu

nedenle eğilme ve liflere paralel basınç direncinin (LPBD) önem kazandığı kullanım alanlarında bu örnek gruplarının değerlendirilmemesi gerekmektedir.

Yapılan ön deneme sonuçlarına göre; İYA türlerinde enerji tasarrufu açısından 212 °C 'nin, buna karşılık 120 dakikalık uygulamanın fiziksel özelliklerdeki performansı artırmak bakımından uygun olabileceği, YA türlerinde ise 190 °C– 90 dakika uygulamasının en optimum seçenek olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle emprenye edilen tüm örnek grupları bu ısı işlem sıcaklık ve sürelerine tabi tutulmuşlardır. Ancak, 212 °C-120 dakika uygulamasında İYA türlerinde özellikle LPBD değerlerinde önemli azalmalar kaydedilmiştir. Buna göre; İYA türlerinde direnç değerleri optimizasyonu bakımından endüstriyel ölçekte bazı yeni denemeler yapılması gerekecektir. Yani, her iki ağaç türünde, 220 °C ve 90 dakika varyasyonunun direnç kayıplarını en aza indirmek bakımından endüstriyel ölçekte denenmesi yararlı olacaktır. Benzer sonuçlar YA türlerinde de gözlenmiştir. Yani her iki YA türünde de özellikle LPBD 'inde önemli azalmalar kaydedilmiştir. Buna göre, direnç kaybı optimizasyonu bakımından kayın ve kavakta sıcaklık/süre varyasyonlarında endüstriyel ölçekte yeni denemeler yapılmasına gereksinim duyulmaktadır.

Isıl işlem sıcaklığının artışına paralel olarak vida tutma direnci azalma göstermiştir. Vida tutma direncinin önem kazandığı yerlerde düşük sıcaklıklarda ısı işlem uygulanmış örneklerin tercih edilmesi yerinde olacaktır.

Isıl işlem uygulanan İYA ve YA türlerinde önemli derecede mantar çürüklük dayanımı elde edilmiştir. bu durum özellikle İYA türlerinde ön plana çıkmaktadır. Buna göre; biyolojik dayanımın önem kazandığı, örneğin bahçe mobilyası veya kamelya/çardak gibi kullanım yerlerinde ısı işlemli İYA odunları kullanılması daha yararlı olacaktır.

Orman endüstri sektöründe, metaller yüksek dayanımlarından dolayı ahşap malzeme ile temas halinde sıkça kullanılmaktadır. Ortamda bulunan rutubet ve oksijenden dolayı ağaç malzemeye gömülmüş olan metallerde korozyon meydana gelmektedir. Meydana gelen bu korozyon ağaç malzemenin yıkımını hızlandırmaktadır. Ağaç malzemede meydana gelen yıkımlanmadan dolayı, ağaç malzeme ile bağlantı elemanları birbirinden ayrılmakta ve bunun sonucunda kazalar kaçınılmaz olmaktadır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre ısı işlem sıcaklığının artışı ile İYA ve YA türlerinde korozyon değerleri artış göstermiştir. Bu nedenle rutubet değerlerin yüksek olduğu kullanım yerlerinde düşük sıcaklıklarda ısı işlem uygulanmış örnekler tercih edilmelidir.

Isıl işlem prosesi borlu bileşiklerin odundan yıkanmasına sebep olmamaktadır. Dolayısıyla, yanma direncinin önem kazandığı, iç mekan dikmeleri, kaplamaları, vb. kullanım yerlerinde yanma direncini artırmak üzere borla muamele edilmiş ısıtılmış ahşap malzemeler kullanılabilir.

Çalışmada tek bir emprenye maddesi konsantrasyonu uygulanmıştır. Daha kapsamlı bir araştırma için farklı emprenye maddesi ve belki daha düşük bor konsantrasyonları denenmesi tavsiye edilmektedir.

Emprenye edilmiş kereste, plastikler, metaller ve beton gibi doğal döngüye karışmaları güç olan materyallerin kullanımını azaltmak bakımından ısıtılmış sürdürülebilir materyallerin kullanımı teşvik edilmelidir. Bunun için yeni yasalar hazırlanmalı ve tüketici baskısı arttırılmalıdır. Bunun yanında doğal dayanıklılığı düşük ağaçların ısıtılmış işlemi ile kullanım süreleri arttırılabilir. Böylece ısıtılmış uygulama ticari değeri düşük odun türlerine yeni kullanım alanları kazandırabilir.

7. KAYNAKLAR

- Akyıldız, M.,H. ve Malkoçoğlu, A., 2001. Dogu Karadeniz Bölgesinde Yetişen Önemli Bazı Ağaç Odunlarının Vida Tutma Dirençleri. Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1, 54-60.
- Anand, M., 2000. Electroheating: A Novel Process for Modifying Wood. A Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science with a Major in Forest Products, College of Graduate Studies University, Idaho.
- Anonim, 1999. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p. Madison, WI: U.S.
- Anşın, R., 1988. Tohumlu Bitkiler, Gymnospermae(Açık Tohumlular), Cilt I, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:112/15, Trabzon.
- ASTM- D, 2006. Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood, ASTM-D 1761.
- Awoyemi, L. ve Westermarck, U., 2005. Effects of Borate Impregnation on The Response of Wood Strength to Heat Treatment. Wood Sci Technol 39, 484–491.
- Awoyemi, L., 2007. Determination of Optimum Borate Concentration for Alleviating Strength Loss During Heat Treatment of Wood. Wood Sci Technol 42, 39, 45.
- Awoyemi, L., Jarvis, M.,C. ve Hapca, A., 2008. Changes in Hygroscopic, Mechanical and Surface Properties of Scottish-grown Sitka Spruce (*Picea sitchensis*) Wood Subjected to Dry Heat Treatment. Paper Prepared for the 39th Annual Meeting, Istanbul, Turkey
- AWPA A7, 1993, Standard for Wet Ashing Procedures for Preparing Wood for Chemical Analysis, American Wood Preservers. Association Standard.
- Batu, F., 1978. Varyans Analizi, K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 12, 234-325.
- Baysal, E., 1994. Bazı Borlu ve WR Maddelerin Kızılcam Odununun Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bazıyar, B., Parsapajouh, D. ve Khademieslam, H., 2010. An Investigation on Some Physical Properties of Oil Heat Treated Poplar Wood, Paper Prepared for the 41st Annual Meeting, Biarritz, France.

- Bekhta, P. ve Niemz, P., 2003. Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood, Holzforschung, 57,5, 539-546.
- Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi, Birinci Cilt, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:1448/147, İstanbul.
- Boke, F.,T., 2006. Heat Treatment of Wood Thermal Modification. Coford - Seminar Wood Modification, Limerick.
- Boonstra, M.,J., Acker J.,V., Tjeerdsma, B.,F. ve Kegel, E.,V., 2007. Strength Properties of Thermally Modified Softwoods and Its Relation to Polymeric Structural Wood Constituents. Annals of Forest Science, 64, 679-690.
- Bourgois, J. ve Guyonnet, R., 1988. Characterisation Analysis of Torrefied wood, Wood Sci. Technol. 22, 143-155.
- Bozkurt, A., Y., Erdin, N. ve Ünlügil, H., 1995. Odun Patolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 3878/432, 975-404-403-1, İstanbul.
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N., 2000. Odun Anatomisi Ders Kitabı, D.Ü. Orman Fakültesi Yayını, Yayın No: 4263/ 466, Düzce.
- Burmester, A., 1973. Effect of Heat Pressure Treatments of Semi- Dry Wood on its Dimensional Stability, Holz Roh-u. Werkstoff, 31,6, 237-243.
- Can, A., Yıldız, S., Yıldız, Ü.,C. ve Tomak, E.D., 2010. Effects of Boron Impregnation and Heat Treatment on the Some Physical and Mechanical Properties of Spruce and Pine Wood, 1.Uluslararası Türk-Japon Çevre ve Ormancılık Sempozyumu, Kasım, Trabzon, Bildiriler kitabı II: 753-766.
- Çolakoğlu, G., 2001. Tabakalı Ağaç Malzeme (Lisans Ders Notları), KTÜ. Orman Fakültesi, Trabzon, 29-30.
- Çolakoğlu, G., Çolak, S., Aydın, İ., Yıldız, Ü.,C. ve Yıldız, S., 2003. Effect of Boric Acid Treatment on Mechanical Properties of Laminated Beech Veneer Lumber, Silva Fennica, 37,4, 505-510.
- Dirol, D. ve Guyonnet, R., 1993. Durability by Rectification Process. In: International Research Group Wood Pre.
- Dirol, D. ve Guyonnet, R., 1993. The Improvement of Wood Durability by Retification Process, IRG/WP/ 40015, Section 4, 11.
- Dizman, E., 2005. Kimyasal Modifikasyonun Kızılağaç ve Ladin Yongalevhalarında Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Edvardsen, K., 1999. Sandland, K.M., Increased drying Temperature Its Influence on the Dimensional Stability of Wood, Holz als Roh-und werkstoff, 57, 207-209.
- Efe, H., Kasal, A., Dizel, T., Arslan, A.,R. ve Erdem, H.,E., 2009. Masif ve Lamine Ağaç Malzemelerin (LAM) Alyan Vida Tutma Mukavemeti, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 9,2, 95-105.
- EN-113, 1996. Wood Preservatives- Determination of Toxic Values of Wood Preservatives Against Wood Destroying Basidiomycetes Cultured on Agar Medium. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, Belgium.
- Ertaş, M, 2010. Bazı Artık Biyokütlelerin Yavaş Pirolyzi ve Pirolyz Ürünlerinin Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Kahraman Maraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahraman Maraş.
- Esteves B.,M., Velez, M.,A., Domingos, I. and Pereira, H., 2007b. Influence of Steam Heating On The Properties of Pine and Eucalypt Wood, Wood Science Technology, 41,3, 197-203.
- Esteves, B.,M., Domingos, I.,J. and Pereira, H.,M., 2007a. Pine Wood Modification by Heat Treatment in Air, BioResources, 3,1, 142-154.
- Feist, W.,C. ve Sell, J., 1987. Weathering Behavior of Dimensionally Stabilized Wood Treated by Heating under Pressure of Nitrogen Gas, Wood and Fiber Science, 19, 2, 185-195.
- Fengel, D. ve Wegener, G., 1989. Wood, Walter Gruyter and Co, Berlin.
- Fengel, D., 1966. On the Changes of the Wood and its Components Within the Temperature Range up to 2000 C-Part III: Thermally and Mechanically Caused Structural Changes in Spruce Wood, Holz als-Roh und Werkstoff, 24, 11, 529-536.
- Fojutowski, A., Kropacz, A. ve Noskowiak, A., 2009. The resistance of thermo-oil modified wood against decay and mould fungi. Paper prepared for the 40th Annual Meeting Beijing, Turkey.
- Ghalehno, D.,M., 2011. Changes in the Physical and Mechanical Properties of Iranian Hornbeam Wood (*Carpinus betulus*) with Heat Treatment. European Journal of Scientific Research, 51, 4, 490-498.
- Giebeler, E., 1983. Dimensional Stabilization of Wood by Moisture- Heat- Pressure Treatment, Holz Roh-u. Werkstoff, 41, 87-94.
- Göker, Y., 1977. Dursunbey ve Elekdağ Karaçamlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ve Kullanış Yerleri Hakkında Araştırmalar, Orman Genel Müdürü Yayını, 613-622s., Ankara.

- Goroyias, G.,J. ve Hale, M.,D., 2002. Heat Treatment of Wood Strands for OSB Production: Effect on the Mechanical Properties, Water Absorption and Dimensional Stability. *In: Annual Meeting International Research Group on Wood Preservation, Proceedings, Cardiff, U.K.*
- Gündüz, G. ve Aydemir, D., 2008. The Effect of Heat Treatment on Water Absorption and Dimensional Stability of Anatolian Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Wood. Paper prepared for the 39th Annual Meeting, Istanbul, Turkey.
- Gündüz, G., Aydemir, D. ve Karakas, G., 2009. The Effects of Thermal Treatment on the Mechanical Properties of Wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) Wood and Changes in Physical Properties. Materials and Design 30, 4391–4395.
- Hafizoğlu, H. ve Deniz, İ., 2011. Odun Kimyası Ders Notları, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Trabzon.
- Helvacı, C., 2004. Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Mayıs, İzmir, Türkiye
- Hill, C.,A.,S., 2006. Wood Modification:Chemical, Thermal and Other Processes,Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons Inc, Chichester, UK. 978-0-470-02172-9, 260.
- Hillis, W.E. ve Rozsa, A.N., 1978. The Softening temperatures of Wood, Holzforschung, 32,2, 68-73
- Hinterstoisser, B., Schwanninger, M., Stefke B., Stingl, R. ve Patzelt, M., 2003. Surface Analyses of Chemically And Thermally Modified Wood by FT-NIR. In: Acker, V.J. Hill, C. The 1st European Conference on Wood Modification. Proceeding of the first International Conference of the European Society for Wood Mechanics, Gent-Belgium.
- Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M. ve Rowell, R.,M., 1993. Steam or Heat Fixation of Compressed Wood, Wood and Fiber Science, 25,3,224-235.
- Jermer, J. ve Anderson, B.,L., 2005. Corrosion of Fasteners in Heat Treated Wood Progress Report After Two Years Exposure Outdoors. SP Swedish National Testing and Research Institute. PO Box 857, SE 501, 15 Boras Sweden.
- Johansson, D. ve Moren, T., 2006. The Potential of Colour Measurement for Strength Prediction of Thermally Treated Wood, Holz als-Roh und Werkstoff, 64,2, 104-110.
- Jukka, A.,V., 2008. Thermally Modified Timber (TMT) Finnish ThermoWood Association, (FTWA) COSTE 37 Aldemar Knossos Royal Village Hersonissos, Heraklion, Crete.
- Kamdern, D., Pizzi, A. ve Jermannaud, A., 2002. Durability of Heat Treated Wood. Holz Roh Werkst. 60, 1-6.

- Kartal, S.,N. ve Green, F., 2002. Development and Application of Colorimetric Microassay for Determining Boron-Containing Compounds. Forest Prod J, 52,6, 75-79.
- Kartal, S.,N., Hwang, W.,J. ve Imamura, Y., 2007. Water Absorption of Boron-Treated and Heat-Modified Wood. Wood Sci Technol, 53, 454-457.
- Kartal, S.N. ve Imamura, Y., 2004. Borlu Bileşiklerin Emprenye Maddesi Olarak Ağaç Malzeme ve Kompozitlerde Kullanımı, II. Uluslar arası Bor Sempozyumu, Eylül, Eskişehir, Bildiriler kitabı II: 333-338.
- Kartal, S.N., 2006. Combined Effect of Boron Compounds and Heat Treatments on Wood Properties: Boron Release and Decay and Termite Resistance, Holzforschung, 60, 455– 458.
- Kaya, S., 2009. Bor: Geleceğin Enerji Kaynağı, AR&GE Bülten/ Sektörel.
- Kırcı, H., 2009. Kağıt Hamuru Endüstrisi. Basılmamış Ders Notu, K.T.Ü. Trabzon.
- Kitahara, K. ve Chugenji, M., 1951. Effects of Heat Treatment on The Mechanical Properties of Wood, J.Jap. For.Soc., 33, 414-41.
- Kocafe, D., Poncsak, S. ve Boluk, Y., 2008. Effect of Thermal Treatment on The Chemical Composition and Mechanical Properties of Birch and Apsen, BioResources 3, 2, 517- 537.
- Koenigs, J.,W., 1974. Hydrogen Peroxide an Iron: A Proposed System for Decomposition of Wood by Brown-rot Basidiomycetes. Wood and Fiber, 6, 66-80.
- Korkut, S. ve Kocafe, D., 2002. Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi 5,2, 11-34.
- Korkut, S., 2008. The Effects of Heat Treatment on Some Technological Properties in Uludağ fir (*Abies bornmuelleriana Mattf.*) Wood, Building and Environment, 43,4, 422-428.
- Korkut,S., Korkut, D.,S. ve Bekar, İ., 2008. Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, I. Ulusal Okaliptüs Sempozyumu, Nisan, Tarsus, Mersin, Bildiri Kitabı: 209-214.
- Kotilainen, R., 2000. Chemical Changes in Wood During Heat Treating at 150-260 °C, Jyvaskyla University, PhD Thesis, Research Repot 80, Finland.
- Kotilainen, R., Toivannen, T. ve Alen, R., 2000. FTIR Monitoring of Chemical Changes in Softwood During Heating. J. Wood Chem. Technol, 20,3,307- 320.
- Levan, S.,L., Ross, R.,J. ve Winandy, J.,E., 1990. Effects of Fire Retardant Chemicals on Bending Properties of Wood at Elevated Temperatures, Forest Service Forest Products Laboratory, Madison, WI-USA.

- Lloyd, J.D., 1998, Borates and Their Biological Applications, The International Research Group on Wood Preservation 29 Th Annual Meeting, IRG/WP-30178,24pp
- MacLean, J.,D., 1952. Rate of Disintegration of Wood Under Different Heating Conditions, Proceeding of American Wood Preservers Association 47, 155-168.
- Malkoçoğlu, A., 2011. Mobilya Endüstrisi Ders Notu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon.
- Mazela, B., Zakızewski, R., Grzeskowiak, W., Cofta, G. ve Bartkowiak, M., 2003. Preliminary Research On The Biological Resistance of Thermal Modified Wood. In Abstracts of the First European Conference on Wood Modification. Ghent, Belgium.
- Michiel, B., 2008. A Two-Stage Thermal Modification of Wood. Ph.D. Dissertation in Cosupervision, Ghent University and Universite Henry Poincare.
- Militz, H., 2002. Thermal Treatment of Wood: European Processes and Their Background, IRG/WP 02-40241, 33rd Annual Meeting, Section 4, 1-17, Cardiff-Wales.
- Mitchell, P.,H., 1988. Irreversible Property Changes of Small Loblolly pine Specimens Heated in Air, N,trogen, or Oxygen, Wood and Fiber Science, 20,3, 320-355.
- Norashikin, K. ve Kris, S., 2010. Durability of Heat Treated Malaysian Bamboo Gigantochloa Scortechinii Strips. Paper Prepared for the 41st Annual Meeting, Biarritz, France.
- Nunes, T., Nobre, C. ve Welzbacher, A.,O., 2006. Termite Response to Oil-Heat-Treated Norway Spruce, Scots Pine and Eucalyptus Wood. Paper Prepared for the 37th Annual Meeting, Tromso, Norway.
- Nuopponen, M., 2005. FT-IR and UV Raman Spectroscopic Studies on Thermal Modification of Scots pine Wood and its Extractable Compounds, Helsinki University of Technology, Department of Forest Products Technology, Doctoral dissertation, Finland.
- Obataya, E. ve Tomita, B., 2002. Hygroscopicity of Heat-Treated Wood. II Reversible and Irreversible Reductions in the Hygroscopicity of Wood Due to Heating. Mokuza Gakkaishi 48,4, 288–295.
- Örs, Y., 1996. Odunun Mekanik Özellikleri, Basılmış Ders Notları. KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon.
- Örs, Y., Atar, M. ve Peker, H., 1999. Bazı Emprenye Maddelerinin Sarıçam ve Doğu Kayını Odunlarının Yoğunluklarına Etkileri, Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi, 23,5, 1169-1179.
- Özçifçi, A., Altun, S. ve Yapıcı, F, 2009. Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Mayıs, Karabük, Türkiye, Bildiri kitabı: 210-215.

- Rapp, A.,O. ve Sailer, M., 2000. Heat Treatment in Germany. Proceedings of Seminar Production and Development of Heat Treated Wood in Europe, Nov. Helsinki, Stockholm.
- Rapp, A.,O., 2001. Review on Heat Treatments of Wood. Proceedings of Special Seminar held in Antibes, cost action E22, France.
- Rapp, A.O., 2000. Review on Heat Treatments of Wood. In: Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France.
- Rowell, R.M., 2005. Handbook of Wood Chem. and Wood Composites, Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 487 pp.
- Rozsa, M.,E. ve Fortes, M.,A., 1989. Effects of Water Vapour Heating on Structure and Properties of Cork, Wood Sci. Technol, 23, 27-34.
- Rusche, H., 1973. Thermal Degradation of Wood at Temperatures up to 200 °C- partI; Strenght Properties of Dried Wood After Heat Treatment, Holz Roh- u. Werkstoff, 31, 273-281.
- Sailer, M., Rapp, A. ve Leithoff, H., 2000. Improved Resistance of Scots pine and Spruce by Application of an Oil Heat Treatment. In : International Research Group Wood Pre, Section 4 Processes. IRG/WP 40162.
- Santos, J.,A., 2000. Mechanical Behaviour of Eucalyptus Wood Modification by Heat, Wood Science and Technology, 34,39-43.
- Sarni F., Mountounet M., Puech J.,L. ve Rabier P.,H., 1990. Effect of Heat treatment of Oak Wood Extractable Compounds. Holzforschung, 44, 461-466.
- Schmidt, O., 2006. Wood and Tree Fungi. K.T.Ü. Kütüphane, Trabzon.
- Sefil, Y., 2010. Thermowood Yöntemiyle Isıl İşlem Uygulanmış Gökmar ve Kayın Odunlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Shi, J.,L., Kocaefe, D. ve Zhang, J., 2007. Mechanical Behaviour of Quebec Wood Species Heat-Treated Using Thermowood Process, Holz als Roh-und Werkstoff, 65,4, 255-259.
- Sidorova, K., 2008. Oil Heat Treatment of Wood. MSc Student in Wood Technology Research Engineer, Division of Wood Physics, Luea University of Technology, Skelleftea, Sweden.
- Stamm, A.,J. ve Hansen, L.A., 1937. Minimizing Wood Shrinkage and Swelling: Effect of Heating in Various Gases, Ind. Eng. Chem., 29,7, 831-833.

- Stamm, A.,J., 1956. Thermal Degradation of Wood and Cellulose, Ind. Eng. Chem, 48,3, 413-417.
- Stamm, A.,J., 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Company, 317- 320, New York-USA.
- Sustersic, T., Mohareb, A., Chaouch, M., Petrissans, M., Petric, M. ve Gerardin, P., 2010. Development of Markers to Predict Decay Durability of Heat Treated Wood. Paper Prepared for the 41st Annual Meeting Biarritz, France.
- Sweet, M.,S. ve Winandy, J.,E., 1999. The Influence of Degree of Polymerisation of Cellulose and Hemicellulose on the Strength Loss of Fire-Retardant-Treated Wood”, Holzforschung, 53,3, 311-317.
- T.S.E. 1998. Ahşap Emprenye Maddeleri Etkilerinin Muayene Metodları, TS 345, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1978. Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, TS 2478, Ankara.
- T.S.E., 2005. Odunun mekanik ve Fiziksel özellikleri tayini, TS-2472, Türk standartları enstitüsü, Ankara.
- Talei, A., Yaghoobi, K. ve Naghi, K.A., 2010. Comparative Study of Heat Treatment of Beech Wood in Hot Water and Steam Medium. Poster paper prepared for 41 st Annual Meeting, Biarritz, France.
- Teiemann, H.,D., 1920. Effect of Different Methods of Drying on The Strenght and Hygroscopicity of Wood, 3rd ed, the Kiln Drying of Lumber, Lippincott Co., Philadephia, PA.
- Tjeerdsma, B., 2005. Militz, H., Chemical Changes in Hydroheat Wood: FTIR Analysis of Combined Hydroheat and Dry Heat-Treated Wood. Holz Roh- Werkst. 63, 102-111.
- Toker, H., 2007. Borlu Bileşiklerin Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel Mekanik ve Biyolojik Özelliklerine Etkilerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tomak, E.D. ve Yıldız, Ü.C., 2010. Odunun Kimyasal Modifikasyonu, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Mayıs, Artvin, Bildiriler Kitabı IV: 1681-1690.
- Ünalı, Ü.,E., 2004. Nesli Tehlikedeki Ağaç: Ehrami Karaçam (Pinus Nigra ssp. Pallasiana var. Pyramidata), Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14, 1, 67-80.
- URL-1, <http://www.novawood.com.tr/images/Brosurler/novawoodKatalog2011.12Nisan2011>.
- URL-10, <http://www.novawood.com.tr/images/Brosurler/novaElkitabi.pdf>. 20 Ocak 2011.

- URL-2, www.vtt.fi/rte/wmt/index.htm Heat Treatment of wood. 11 Eylül 2010.
- URL-3, http://www.novawood.com.tr/ısil_işlem. 18 Aralık 2010.
- URL-4, <http://www.emprenye-basinclikaplar.com/emprenye>. 11 ocak 2011.
- URL-5, Bor Raporu, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/6358599b7afb250_ek.pdf?tipi=5&turu=R&sube=0. 25 Ocak 2010.
- URL-6, Tübitak Bor Raporu, http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2h.pdf. 25 Ocak 2010.
- URL-7, 2010 Yılı Bor Sektör Raporu, http://www.etimaden.gov.tr/tr/yat%4b1r%c4%b1m/borsekt%c3%b6rraporu_2010.pdf. 08 Mayıs 2011.
- URL-8, <http://www.tirebor.com> 20 şubat 2011.
- URL-9, www.rehber.ihya.org/yenirehber/borik-asit.html. 17 mart 2011.
- Viitanen, H. ve Kortelainen, S.,M., 2010. Testing of Decay Resistance of Sapwood and Heartwood of Thermally Modified Scots pine and Norway spruce. Paper prepared for the 41st Annual Meeting, Biarritz, France.
- Vitaniemi, P., 1997. Thermowood-Modified Wood for Improved Performance, In: Proceedings of Wood the Ecological Material the 4th Euro-wood symposium, Stockholm, 22-23.
- Vital, B., R., Lucia R.,M. ve Euclides, R.,F., 1983. Effect of Heating on Some Properties of Eucalyptus saligna wood. *Revista-Arvore*, 7,2, 136–46.
- Vmden, P. ve Romero, J., 1977. Developments in the Application of Organic Boron Compounds, The Second International Conference on Wood Protection With Diffusible Preservatives and Pesticides, Forest Products Society, 119-126, Madison.
- Welzbacher, C.,R. ve Rapp, A.,O., 2002. Comparison of Thermally Modified Wood Originating From Four Industrial Scale Processes – Durability. Paper prepared for the 33. Annual Meeting, Cardiff, Wales.
- Yaltrık, F. ve Efe, A.,2000. Dendroloji Ders Kitabı, Gymnospermae-Angiospermae, Üniversite Yayın No: 4265, Fakülte Yayın No : 465, İstanbul.
- Yaşar, S., 2009. Kızılcım (*Pinus brutia* ten.) Ekstraktif Maddelerinde Isıl İşlem Uygulanması Sonucu Oluşan Renk Değişimleri Üzerine Araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A/1, 95-100.

- Yıldız, S., 2002. Isıl işlem uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel Teknolojik ve Kimyasal Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yıldız, S., Çolakoğlu, G., Yıldız, Ü.,C., Gezer, E.,D. ve Temiz, A., 2002. Effects of Heat Treatment on Modulus of Elasticity of Beech Wood, Paper Prepared for the 33. Annual Meeting, Cardiff, U.K.
- Yıldız, S., Gezer, E.,D. ve Yıldız, Ü.,C., 2006. Mechanical and Chemical Behavior of Spruce Wood Modified by Heat. Building and Environment 41, 1762–1766.
- Yıldız, S., Yıldız, Ü.,C. ve Tomak, E.,D., 2010. The Effects of Natural Weathering on The Properties of Heat Treated Alder Wood. Paper Prepared for The 41st Annual Meeting, Biarritz, France.
- Yıldız, Ü.,C., Gerçek, Z., Serdar, B., Yıldız, S., Gezer, E.,D., Dizman, E. ve Temiz, A. 2004. The Effects of Heat Treatment on Anatomical Changes of Beech Wood. Paper Prepared for the 35th Annual Meeting Ljubljana, Slovenia.
- Yıldız, Ü.,C., 2010. Odun Koruma. Basılmamış Ders Notu, KTÜ, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

10.01.1987 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzon'da tamamladı. Lise öğrenimini 2003 yılında Bursa İnegöl lisesinde bitirdi. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdı. 2008 yılında bu bölümden Orman Endüstri Mühendisi unvanı ile mezun oldu. Aynı yıl içinde KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Orta derece İngilizce bilmektedir.