

# **AĞAÇ MALZEMENİN KATALİTİK ISIL İŞLEMİ**

**2015**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Erkan Sami KÖKTEN**

# **AĞAÇ MALZEMENİN KATALİTİK ISIL İŞLEMİ**

**Erkan Sami KÖKTEN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2015**

Erkan Sami KÖKTEN tarafından hazırlanan "AĞAÇ MALZEMENİN KATALİTİK ISIL İŞLEMİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ

Tez Danışmanı, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ (KÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN (KBÜ)

İmzası



...../...../ 2015

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Erkan Sami KÖKTEN

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AĞAÇ MALZEMENİN KATALİTİK ISIL İŞLEMİ**

**Erkan Sami KÖKTEN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ**

**Haziran 2015, 50 sayfa**

Ağaç malzeme kullanımının artmasıyla, ağaç malzemeye ısıl işlem uygulaması da giderek yaygınlaşmaktadır. Isıl işlem ile ağaç malzemenin boyutsal kararlılık ve biyolojik direnci arttırılabilmektedir. Ancak ısıl işlem; malzemenin mekanik dayanımında azalmalara neden olmaktadır. Bu nedenle ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kolon, kiriş, ahşap köprü gibi yüke maruz kalacak alanlarda kullanımı tercih edilmemektedir. Bu çalışmada, uygun bir katalizör seçimi ile ısıl işlemin ağaç malzemedeki meydana getirdiği olumsuz etkileri azaltmak amaçlanmaktadır. Bu kapsamda sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununa azot gazı (N<sub>2</sub>) ortamında, 212 °C’de 2 saat süreyle ısıl işlem uygulanmış olup, ısıl işlem sürecinde üç farklı katalizör (% 50’lik NaOH çözeltisi, % 47’lik KOH çözeltisi ve KOH), ısıl işlemi gerçekleştirecek malzemenin kütlece % 15 ve % 30’u oranlarında kullanılmıştır. Sonuç olarak; katalizör ortamında gerçekleştirilen ısıl işlem deneylerinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Isıl işlemi gerçekleştirilecek örneklerin kütlelerine % 15 oranında KOH kullanılan deney

numunelerinde, katalizör kullanılmadan gerçekleştirilen ısıtıl işlemeye göre denge rutubet miktarının % 8,7; boyutsal değışimin % 24,30 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir.

Eğilme direncinin ise katalizörsüz ısıtıl işlemeye göre % 8,2 oranında arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** : Isıtıl işlem, katalizör, ağaç malzeme, mekanik özellikler.

**Bilim Kodu** : 1204.5.064

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **CATALYTIC HEAT TREATMENT OF WOOD**

**Erkan Sami KÖKTEN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Forest Industrial Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFCİ**

**June 2015, 50 pages**

Associated with the use of wood, heat treatment is becoming increasingly common. Heat treatment improves wood dimensional stability and enhances resistance to biological attack. However heat treatment reduces the mechanical strength of wood. Therefore, the use of heat treated wood is not recommended in load bearing constructions. In this study, it is intended to reduce the unfavorable effects caused by the heat treatment of wood by choosing a suitable catalyst. At this point, heat treatment experiments were performed under nitrogen (N<sub>2</sub>) atmosphere for 2 hours at the temperature of 212 °C. Also three different catalysts; % 50 NaOH solution, % 47 KOH solution and KOH (15 and 30 percentage of heat treated wood) and scotch pine samples were used. After the heat treatment experiments, the effects of catalyst on some physical and mechanical properties of wood were investigated. As a result, favorable results are determined in experiments carried out the presence of catalysts. By comparing the values obtained for the % 15 KOH catalytic heat treated vs. noncatalytic heat treated samples, one can notice that the catalytic heat treated wood

samples swelled less: by % 24,30. Another can notice that the catalitic heat treated wood samples have % 8,7 less equilibrium moisture content values. Moreover, it was determined that bending strength of samples have % 8,2 higher values than noncatalitic heat treatment samples.

**Key Words** : Heat treatment, catalyst, wood, mechanical properties

**Science Code** : 1204.5.064



## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ'ye, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Günay ÖZBAY'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN ve Arş. Gör. Sema AYSAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca, TÜBİTAK tarafından 114O036 numaralı, "3001 Başlangıç AR-GE Projeleri Destekleme Programı" kapsamında sağlanan maddi destekler için teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi açıdan her türlü desteklerini esirgemeyen anne ve babama tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Manevi hiçbir yardımını esirgmeden yanımda olduğu ve bu tezin başarıya ulaşmasında büyük katkı sağlayan sevgili eşim Selin'e tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Arş. Gör. Erkan Sami KÖKTEN  
KARABÜK, 2015

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. ISIL İŞLEM.....	3
1.2.1. Isıl İşlemin Ağaç Malzeme Üzerindeki Kimyasal Etkileri.....	3
1.2.1.1. Karbonhidratlardaki Değişim.....	3
1.2.1.2. Lignindeki Değişim .....	4
1.2.1.3. Ekstraktiflerdeki Değişim .....	4
1.2.2. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri .....	5
1.2.2.1. Kütle kaybı ve Yoğunluk .....	5
1.2.2.2. Denge Rutubet Miktarı .....	5
1.2.2.3. Boyutsal Kararlılık.....	6
1.2.2.4. Renk Değişimi .....	6
1.2.2.5. Koku Oluşumu .....	7
1.2.2.6. Isı İletkenliği .....	7
1.2.3. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri.....	7
1.2.3.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü .....	7
1.2.4. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri... 10	
1.3. LİTERATÜR ÖZETİ .....	11

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 2 .....	16
MALZEME VE YÖNTEM .....	16
2.1. MALZEME .....	16
2.1.1. Ağaç Malzeme .....	16
2.1.2. Katalizör .....	16
2.2. YÖNTEM .....	18
BÖLÜM 3 .....	234
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	24
3.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER .....	24
3.1.1. Kütle Kaybı.....	24
3.1.2. Hava Kurusu Yoğunluk .....	27
3.1.3. Denge Rutubet Miktarı .....	29
3.1.4. Boyutsal Değişim .....	33
3.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	35
3.2.1. Eğilme Direnci.....	35
3.2.2. Elastikiyet Modülü.....	39
BÖLÜM 4 .....	43
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	43
KAYNAKLAR .....	45
ÖZGEÇMİŞ .....	50

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1. Isıl işlem fırını.....	19
Şekil 2.2. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini .....	22
Şekil 3.1. Isıl işlem gruplarının kütle değişim değerleri (%).....	25
Şekil 3.2. Isıl işlem gruplarının hava kuru yoğunluk değişimi (%).....	28
Şekil 3.3. Isıl işlem gruplarının denge rutubet miktarı değişimi (%).....	31
Şekil 3.4. Isıl işlem gruplarının hacimsel genişleme miktarı değişimi (%).....	34
Şekil 3.5. Isıl işlem gruplarının eğilme direnci değişimi (%).....	37
Şekil 3.6. N2 Deney grubu numunesi .....	40
Şekil 3.7. Isıl işlem gruplarının elastikiyet modülü değişimi (%).....	41

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. NaOH çözeltisi, KOH çözeltisi ve KOH katalizörlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	17
Çizelge 3.1. Kütle kaybı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler .....	24
Çizelge 3.2. Kütle kaybı değerlerine ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları .....	26
Çizelge 3.3. Hava kurusu yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler .....	27
Çizelge 3.4. Hava kurusu yoğunluğuna ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları .....	29
Çizelge 3.5. Denge rutubet miktarı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler .....	30
Çizelge 3.6. Denge rutubet miktarına ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları .....	32
Çizelge 3.7. Hacimsel genişleme değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler .....	33
Çizelge 3.8. Hacimsel genişleme miktarına ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları .....	35
Çizelge 3.9. Eğilme direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler .....	36
Çizelge 3.10. Eğilme direnci değerlerine ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları .....	38
Çizelge 3.11. Elastikiyet modülü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler .....	39
Çizelge 3.12. Elastikiyet modülü değerlerine ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları .....	42

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

KOH	: Potasyum Hidroksit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
N <sub>2</sub>	: Azot Gazı
m	: metre
cm	: santimetre
mm	: milimetre
ph	: asitlik veya bazlık derecesi
F	: Kuvvet
$\alpha$	: Alfa
°C	: Santigrat derece
g	: gram
H <sub>2</sub> O	: Su
Lt	: Litre

### KISALTMALAR

DRM	: Denge Rutubet Miktarı
OHT	: Oil Heat Treatment
TS	: Türk Standardı

## BÖLÜM 1

### GENEL BİLGİLER

#### 1.1. GİRİŞ

Ahşap yaşayan ve nefes alabilen yapısından dolayı insan doğasına en yakın malzemedir. Bu yapısından dolayı eski çağlardan günümüze kadar çeşitli araç ve gereçlerin yapımında kullanılmış olup, hala yaygın olarak tercih edilmektedir. Doğal bir hammadde olmasının sonucu olarak ahşap, mantarlar ve böcekler tarafından gerçekleştirilen biyolojik saldırılara maruz kalmaktadır. Ayrıca ağaç malzemede meydana gelen rutubet değişimleri anizotropik daralma veya genişlemelere neden olmaktadır. Bu da ağaç malzemenin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Günümüzde ağaç malzemenin kullanımından kaynaklanan problemleri azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak amacıyla ağaç malzemeye odun modifikasyon yöntemleri adı verilen çeşitli işlemler uygulanmaktadır (Korkut, 2009).

Odun modifikasyon yöntemi olan ısıl işlem; ağaç malzemenin olumlu özelliklerini daha da iyileştirip, olumsuz özelliklerini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak amacıyla 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Günümüzde uygulanmakta olan birçok ısıl işlem yöntemi vardır. Bu yöntemler arasındaki temel farklılıklar; ısıl işlemin azot veya buhar gibi koruyucu bir gaz ortamında gerçekleştirilmesi, işlem öncesi ağaç malzemenin rutubet içeriği ve yağ kullanımı gibi ısıl işlem koşullarıdır. Endüstride kullanılan ısıl işlem yöntemleri; Finlandiya'da Thermowood, Hollanda'da Plato, Almanya'da OHT (Oil Heat Treatment) ve Fransa'da Bois Perdure ile Retification yöntemleridir (Boonstra, 2008; Candelier vd. 2013; Militz, 2002).

Isıl işlem ile ağaç malzemenin; ağaç türü, uygulanan sıcaklık, uygulama süresi, rutubet içeriği ve ısıl işlem ortamına bağlı olarak boyutsal kararlılığı ve biyolojik direnci arttırılabilmektedir. Ancak bunun yanı sıra ısıl işlemin, ağaç malzemede eğilme direnci başta olmak üzere mekanik özellikler üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu konuyla ilgili çalışmalarda rapor edilmiştir (Bengtsson vd. 2002; Epmeier vd. 2004; Johansson and Moren, 2006; Kim vd. 1998; Kubojima vd. 2000; Reiterer and Sinn, 2002; Ünsal and Ayrılmış, 2005).

Özçifçi vd. (2009), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu ile gerçekleştirdikleri ısıl işlem çalışmalarında, uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak eğilme direnci değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. 190 °C'de 6 saat boyunca gerçekleştirilen ısıl işlem deneyi sonrasında eğilme direncinde % 36,6 oranında azalma tespit etmişlerdir. Korkut (2008), 180 °C'de 10 saat süre ile göknar odunu üzerinde gerçekleştirdiği ısıl işlem çalışmasında, eğilme direncinde % 29 gibi oldukça yüksek oranda azalma meydana geldiğini belirtmiştir. Literatürde de farklı ağaç türleri ve ısıl işlem şartlarına bağlı olarak eğilme direncinde % 49'a varan oranlarda azalmalar olduğu bildirilmiştir.

Isıl işlem sonucu ağaç malzemenin mekanik özelliklerinde gözlemlenen bu azalmaların yüksek sıcaklıklarda olduğu bilinen formik ve asetik asit formasyonunun; hemiselülozlar başta olmak üzere odun bileşenlerini tahrip etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Aydemir ve Gündüz, 2009; Esteves and Pereira, 2009; Sundqvist vd. 2006). Bu çalışmada, ısıl işlem sürecinde oluşan asit hidrolizinin ağaç malzemede neden olduğu eğilme direncindeki azalmaları kontrol altına almak amacıyla süreç; bazik özellik gösteren katalizör ortamında gerçekleştirilmiş olup, katalizör ortamında gerçekleştirilen ısıl işlemin ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.



## **1.2. ISIL İŞLEM**

Bir odun modifikasyon yöntemi olan ısı işlem; ağaç malzemenin boyutsal kararlılığını ve biyolojik dayanıklılığını iyileştirmek amacıyla hava, su buharı, inert gaz ya da herhangi başka bir koruyucu ortamda, çeşitli basınç, süre ve sıcaklıklarda gerçekleştirilen, ağaç malzemeye ısı uygulama işlemidir (Yıldız, 2002a).

Isıl işlem uygulanması, fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyolojik olmak üzere ağaç malzemenin özelliklerinde genellikle olumlu değişimler sağlamanın yanı sıra istenmeyen değişimlere de neden olmaktadır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalar da farklı koşullarda gerçekleştirilen ısı işlem yöntemlerinin ağaç malzeme üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalardır.

### **1.2.1. Isıl İşlemin Ağaç Malzeme Üzerindeki Kimyasal Etkileri**

Isıl işlem, odunun temel bileşenleri olan selüloz, lignin ve hemiselülozlarda uygulama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak yapısal bozulmalara neden olmaktadır. 150 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda serbest suyun buharlaşmasına bağlı olarak odunda kuruma meydana gelirken, 150-250 °C sıcaklıklarda odunda önemli kimyasal değişimlere neden olan ısı işlem gerçekleştirilmektedir. 205 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise odunda, genellikle karbondioksit ve diğer piroliz ürünlerinin oluşumu gerçekleşmektedir (Bourgois vd. 1989; Esteves and Pereira, 2009).

#### **1.2.1.1. Karbonhidratlardaki Değişim**

Isıl işlem, odunda başta hemiselülozlar olmak üzere karbonhidratların bozulmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak da odunda su absorbe eden hidroksil gruplarının konsantrasyonunda azalma meydana gelmektedir (Kocafe vd. 2008).

Isıl işlem sonrasında hidroksil gruplarının konsantrasyonundaki azalmaya bağlı olarak, odunun boyutsal kararlılığında normale göre artış gözlenir. Isıl işlemde hemiselülozların bozulması, sıcaklık ve uygulama süresine bağlı olarak artar. Genel olarak hemiselülozların bozulma sıcaklığı 200 ile 260 °C arasındadır. Isıl işlemin ağaç

malzeme üzerindeki etkisi ağaç türünün hemiselüloz türü ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, ısıtılma işleminin etkisi yapraklı bir ağaç türü olan kayında çam türlerine göre daha yoğun olarak gözlenmektedir. Çam türlerinde ise ladine göre daha yoğun etkiler gözlemlenmektedir. Yani hemiselüloz türü ve miktarından dolayı kayının ısıtılma işleminde çam türlerine göre daha fazla oranda kütle kaybı ve boyutsal kararlılık gözlemlenmektedir (Giebeler, 1983).

Odunun tam kuru ağırlığına oranla % 40 ila 45'ini oluşturan selüloz dayanıklı bir polimerdir. Selüloz kristalin yapısından dolayı hemiselülozlara oranla ısıya daha dayanıklıdır. Isıtılma işleminde selülozun parçalanması 210-220 °C'de başlar, 270 °C'de yoğunlaşır. Selülozun amorf kısımları termal degradasyondan en fazla etkilenen kısımlardır. Bu bölgeler hemiselülozun heksozan bileşiklerine benzemektedir. Selülozun kristalin bölgeleri ise 300-340 °C sıcaklıklarda bozulmaktadır (Kim vd. 2001).

#### **1.2.1.2. Lignindeki Değişim**

Odunun tam kuru ağırlığının % 20-40'ını oluşturan lignin odun bileşenleri içerisinde ısıya en dayanıklı olanıdır. Ligninde kütle kaybı ve bozulma reaksiyonları 200 °C'de başlar. Daha yüksek sıcaklıklarda ligninin fenil propan üniteleri arasındaki bağlar parçalanarak ayrılır. Siringil üniteleri arasındaki aril eter bağları ise guayasil ünitelerinin arasındaki bağlardan daha kolay kırılırlar. Yüksek sıcaklıkta ligninin metoksil içeriği düşer ve ligninde bazı ünitelerin difenilmetan tipi ünitelere dönüştüğü göze çarpar. Buna göre difenilmetan tip çökelti 120-200 °C sıcaklıklarda en çok görülen bir durumdur. Bu reaksiyonun odunun renginin, reaktifitesinin ve bozulma gibi değişimlerin meydana gelmesinde önemli etkisi vardır (Karakaş, 2008; Mayes and Oksanen, 2002).

#### **1.2.1.3. Ekstraktiflerdeki Değişim**

Ekstraktif maddelerin çoğu ısıtılma işlem süresince yüksek sıcaklık ile buharlaşarak odundan uzaklaşırlar. Yüksek sıcaklık uygulamaları ilk olarak yağların ve vaksların termal bozulmasına ve devamında buharlaşmalarına neden olmaktadır. Reçine asitleri

miktarında oluşan azalmalar ise ısıtma işlemi sırasında 200 °C gibi sıcaklıklarda başlamaktadır (Hill, 2006; Nuopponen vd. 2003).

## **1.2.2. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri**

### **1.2.2.1. Kütle Kaybı ve Yoğunluk**

Isıl işlem uygulaması ağaç türü, rutubet miktarı, uygulanan sıcaklık, ortamın ısı ve işlem süresine bağlı olarak malzemede kütle kaybına ve bunun sonucunda da yoğunlukta azalmalara neden olmaktadır. Isıl işlemde en çok ağaç malzemenin bünyesinde bulunan hemiselülozlar etkilenmektedir. Selüloz ve özellikle lignin hemiselülozlara göre daha yavaş ve daha yüksek sıcaklıklarda bozulmaya başlamaktadır. Isıl işlem sonucu ağaç malzemede gözlemlenen kütle kayıplarının; odun bileşenlerinin (temel olarak hemiselülozların) bozulması, ekstraktiflerin buharlaşması ve odunun daha düşük rutubet içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Boonstra vd. 2007; Esteves and Pereira, 2009).

### **1.2.2.2. Denge Rutubet Miktarı**

Isıl işlem sonucu odun hidroksil gruplarının azalmasına bağlı olarak odunun denge rutubet miktarında önemli derecede azalma meydana gelmektedir (Aydemir ve Gündüz, 2009; Esteves vd. 2007; Jamsa and Viitaniemi, 2001).

Her ne kadar ısıtma yöntemleri arasında uygulama farklılıkları olsa da hepsinin ortak amacı ağaç malzemenin denge rutubet miktarını azaltarak, anizotropik olarak gerçekleşen odunun daralma ve genişlemesinden doğan olumsuzlukları önlemektir.

Esteves vd. (2007), Sahil Çamı (*Pinus pinaster*) ve Okaliptüs (*Eucalyptus globulus*) odun örneklerini hava ortamında buharla birlikte otoklav içerisinde 2-12 saat ve 190-210 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak odunun su alışı-verişinde önemli iyileşmeler meydana geldiği tespit edilmiş olup, denge rutubet miktarının çamda % 46 ve okaliptüste % 61 oranlarında düştüğünü rapor etmişlerdir.

### 1.2.2.3. Boyutsal Kararlılık

Dış ortam koşullarından dolayı ağaç malzemede meydana gelen anizotropik boyut değişimleri ağaç malzemenin dış mekân uygulamalarında ve rutubetli ortamlarda kullanımını kısıtlamaktadır. Boyutsal değişimler, ağaç malzeme yüzeyinde gerilmelere neden olarak ciddi deformasyonlara, direnç kayıplarına ve çatlamalara neden olmaktadır. Bu da yapı elemanı olarak kullanılan ahşabın güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemekte ve kullanım alanlarında dezavantaj sağlamaktadır (Feist and Sell, 1987).

Yıldız (2002a), araştırmasında Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis*) odunlarını atmosferik şartlarda 2, 6 ve 10 saat sürelerle 130, 150, 180 ve 200 °C'de ısıtılma tabi tutmuştur. Sonuç olarak boyutsal dengede ısıtılmanın olumlu sonuç verdiğini bildirmiştir. Mekanik özelliklerde ısıtılma şartlarına bağlı olarak azalma olduğunu; kimyasal özelliklerde ise ısıtılma süresince en çok holoselülozların bozulduğunu belirtmiştir. Boyutsal dengede artışın kayında % 50, ladinde ise % 40 olduğu belirtilmiştir.

Živković vd. (2008), dişbudak ve kayın odunları üzerinde 190 °C'de gerçekleştirdikleri ısıtılma işlem çalışmalarında, örneklerin boyutsal değişimlerinde sırasıyla % 27 ve % 35 olmak üzere iyileşme tespit etmişlerdir.

### 1.2.2.4. Renk Değişimi

Isıtılma işlemi ağaç malzemede renk değişimi meydana getirerek genellikle daha estetik bir görünüm kazandırmaktadır. Renk; ağaç malzemeye uygulanan sıcaklık ve ısıtılma süresine bağlı olarak daha da koyulaşmaktadır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda meydana gelen bu koyulaşmanın ana nedeninin hemiselüloz, lignin ve odunda bulunan bazı ekstraktif maddelerin bozulmasının neden olduğu belirtilmektedir (Ayadi vd. 2003).

Bekhta and Niemz (2003), Ladin odununun renk değişimi üzerine yüksek sıcaklığın etkisini araştırdıkları çalışmalarında; ısıtılma işlem sonrası renkte koyulaşma artışı

olduğunu belirlemişlerdir. Isıl işlem sıcaklığı 200 °C'ye yaklaştıkça renk değişiminin arttığı ve bu renkteki koyulaşmanın 4 saat muameleden sonra daha da arttığını belirtmişlerdir.

#### **1.2.2.5. Koku Oluşumu**

Isıl işlem süresince açığa çıkan organik asit ve furfural gibi aldehitler ısıl işlem sonucunda ağaç malzemedede hoş olmayan güçlü bir kokuya neden olabilmektedirler. Ancak ortaya çıkan bu koku birkaç hafta içerisinde kaybolmakla birlikte, ağaç malzemenin makinede işlenmesi ile hafif bir şekilde tekrar hissedilebilmektedir (Militz, 2002; Sundqvist, 2004).

#### **1.2.2.6. Isı İletkenliği**

Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin ısı iletkenliği azalmaktadır. Mayes and Oksanen (2002), çalışmalarında ısıl işlem uygulanmış iğne yapraklı ağaç malzeme numunelerinin ısı iletkenliğinin kontrol numunelerine oranla yaklaşık % 20 ila 25 civarında azaldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin ısı yalıtımının ön planda olduğu uygulamalarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

### **1.2.3. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri**

#### **1.2.3.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü**

Isıl işlem ağaç malzemenin biyolojik direnç ve boyutsal kararlılığını arttırırken özellikle 200 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda ağaç türü, anatomik özellikler ve uygulanan ısıl işlem yöntemine bağlı olarak mekanik özelliklerinde ciddi kayıplara neden olmaktadır. Isıl işlem sonucu ağaç malzemedede meydana gelen kütle kaybı arttıkça mekanik özelliklerde gözlemlenen kaybın artması mekanik özelliklerin ısıl işlem sonrası kütle kaybı ile bağlantılı olduğunu göstermektedir (Mburu vd. 2007).

Literatürde alınan sonuçlara göre ısı işlem ağaç malzemenin eğilme direncinde % 75'e varan oranlarda azalmalara neden olmaktadır. Isıl işlem sonrası tespit edilen eğilme direnci kayıplarının temel nedeni olarak; ağaç malzemenin mekanik özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olan hemiselülozların düşük ısı dayanımından dolayı uğradığı termal bozulma olarak tanımlanmaktadır. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça hemiselülozların bozulması da artmaktadır. Buna bağlı olarak da ağaç malzemenin eğilme direnci azalmaktadır. Eğilme direnci kayıplarının bir diğer nedeni olarak ise amorf selülozun kristalize olması olarak tanımlanmaktadır (Esteves and Perreira, 2009; Mburu vd. 2007; Özçifçi vd, 2009).

Bengtsson vd. (2002), 220 °C'de gerçekleştirdikleri ısı işlem çalışmalarında eğilme direncinde; ladin odunu için % 50, sarıçam odunu için % 47 oranlarında azalma bildirmişlerdir.

Shi vd. (2007), Thermowood yöntemi ile gerçekleştirdikleri ısı işlem çalışmalarında eğilme direncinde ladin, çam, göknar ve kavak numuneleri için % 49'a varan oranlarda azalma tespit etmişlerdir. Elastikiyet modülünde ise ladin ve çam numunelerinde % 4 ila % 28 arasında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Mburu vd. (2007), meşe odunu üzerinde gerçekleştirdikleri ısı işlem çalışmalarında kütle kaybının mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir. Kütle kaybının % 16'nın altında olduğu örneklerde, elastikiyet modülünde önemli bir azalma tespit edilemezken, daha yüksek kütle kaybı değerlerinde meydana gelen azalmaların kayda değer olduğunu belirtmişlerdir.

Yıldız (2002a), kayın ve ladin numuneleri üzerinde gerçekleştirdiği ısı işlem çalışmasında en düşük eğilme direncini 200 °C'de 6 ve 10 saat sürelerle yapılan deneylerde elde etmiştir. 200 °C'de 6 ve 10 saat sürelerle gerçekleştirilen deneylerde eğilme direncinin, kayında sırasıyla % 63,9 ve % 63,6; ladinde % 63,8 ve % 72,7 oranlarında azaldığını tespit etmiştir.

Yapılan akademik çalışmalardan elde edilen sonuçlar elastikiyet modülü değişiminin her zaman ısı işlem sıcaklığına bağlı olmadığını göstermektedir. Birçok çalışmada

odun numuneleri düşük sıcaklıklarda ya da kısa sürelerde ısıtılma tabii tutulmuş ve elastikiyet modülünde % 2-9 oranlarında artış olduğu belirlenmiştir. Bu artışa, ısıtılma sonrasında ağaç malzemenin hücre çeperinin daha az bağı su içermesinden dolayı daha az esnek hale gelmesi neden olmaktadır. Ayrıca ısıtılma sonrası kristalimsi selüloz molekülündeki artışın da elastikiyet modülündeki artışa katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Korkut ve Kocaefe, 2009). 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ve daha uzun ısıtılma sürelerinde ise numunelerin kütle kaybı değerlerine bağı olarak elastikiyet modülünde % 40'lara varan azalmalar tespit edilmiştir.

Inoue vd. (1993), japon çamı üzerinde gerçekleştirdikleri ısıtılma çalışmaları elastikiyet modülünde kısa sürelerde 180 ve 200 °C'de az miktarda artış tespit etmişlerdir. ısıtılma süresi uzadıkça, 20 saat 180 °C'de ve 8 saat 200 °C 'de elastikiyet modülünde % 10'a varan azalmalar tespit etmişlerdir. 220 °C'de 7 saat boyunca gerçekleştirdikleri deneylerde ise elastikiyet modülünde % 60'a ulaşan belirgin azalmalar tespit etmişlerdir.

Esteves vd. (2007), sahil çamı ve okalıptüs türleri üzerinde gerçekleştirdikleri ısıtılma çalışmaları, ısıtılma sonrası kütle kaybı % 4'e kadar olan çam odunu numunelerinin elastikiyet modülünde % 7 civarında artış tespit etmişlerdir. % 8 ve daha fazla kütle kaybı değerlerinde ise elastikiyet modülünün % 2'den başlayan oranlarda azaldığını belirtmişlerdir. Okalıptüs numuneleri için ise % 8 kütle kaybı değerlerine kadar, % 5'den başlayan küçük oranlarda azalma tespit etmişlerdir. Ancak kütle kaybı değeri % 13'e ulaşan ısıtılma numunelerinde elastikiyet modülünde yaklaşık % 15 oranlarında azalma tespit etmişlerdir. Deney sonucunda ise ısıtılma uygulanmış çam ve okalıptüs numunelerinin elastikiyet modülü değerlerindeki değişimin, aynı kütle kaybında benzer olduğunu belirtmişlerdir.

Yıldız (2002a), kayın ve ladin numunelerine uyguladığı ısıtılma çalışmasında elastikiyet modülündeki en yüksek azalmayı 200 °C ve 6 saatte ladinde % 41,5 olarak tespit etmiştir. Ancak 130 °C ve 10 süreyle gerçekleştirdiği deneyde ise elastikiyet modülünde % 8,4 oranında artış tespit etmiştir.

#### 1.2.4. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri

Odunda, mikroorganizmaların biyolojik saldırısı sonucu çürümeler meydana gelebilir. Mikroorganizmaların odunda gelişebilmeleri için odunun ana bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve lignin, hücre lümeni yüzeylerindeki serbest su, gelişmelerine uygun pH, sıcaklık, oksijen ve çeşitli diğer kimyasal büyüme faktörlerinin varlığı gerekmektedir. Isıl işlem, böcek ve mantarların büyümesi için gerekli olan bazı gereksinimlerini engelleyerek odunun mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen biyolojik ataklara karşı direncini arttırmaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2009).

Yapılan çalışmalar, ısı ile işlemle birlikte odun içerisindeki su miktarının azalmasından ve odun hücre çeperi bileşenlerinin bozulmasından dolayı mikroorganizmalar için uygun yaşam koşullarının ortadan kalktığını ve böylece ısı ile işlemin odunun biyolojik dayanımını arttırdığını vurgulamaktadır.

Mazela vd. (2003), sarıçam odununu 160, 190 ve 220°C sıcaklık ve 6-24 saat süreyle ısı ile işleme tabi tuttıkları çalışmalarında; esmer çürüklük mantarı olan *Coniophora puteana* mantarının odunda neden olduğu kütle kayıplarını incelemişlerdir. Isıl işlem uygulanmamış kontrol örneklerinde % 39,8 oranında kütle kaybı tespit edilirken, 220°C sıcaklıkta 24 saat süreyle ısı ile işlem uygulanan örneklerde kütle kaybı % 3 olarak tespit edilmiştir.



### 1.3. LİTERATÜR ÖZETİ

Aytin vd. (2015), Thermowood yöntemiyle yabani kiraz (*Cerasus avium Moench*) odunu örneklerine 190 ve 212 °C’ de, 1 ve 2 saat sürelerle ısıtım işlem uygulamışlardır. Sonuç olarak denge rutubet miktarının uygulanan sıcaklık ve süreye bağılı olarak iyileştiniğini belirtmişlerdir. % 65 bağılı nem ve 20 °C şartlarında ölçülen denge rutubet miktarındaki en fazla azalma oranı % 48 ile 212 °C’de 2 saat boyunca uygulanan ısıtım işlem sonrası tespit edilmiştir.

Korkut and Hızıroğlu (2014), kıvıl meşe (*Quercus falcate Michx.*) ve güney çamı (*Pinus taeda L.*) odunlarını 200 °C’de 8 saat boyunca ısıtım işleme tabi tuttıkları çalışmalarında teğet yönde genişlemenin meşe örneklerinde % 39,8; çam örneklerinde % 28,7 oranlarında azaldığını rapor etmişlerdir.

Tankut vd. (2014), ısıtım işlemin ağaç malzeme üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmalarında; ısıtım işlem örneklerinde kontrol örneklerine göre elastikiyet modülünde ortalama % 19, eğilme direncinde ortalama % 24 azalma tespit etmişlerdir.

Candelier vd. (2013), ağaç malzeme olarak kayın kullandıkları çalışmalarında vakum ve azot ortamlarında ısıtım işlem gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucu olarak; azot ve vakum ortamlarında olmak üzere sırasıyla eğilme direncinde % 45 ve % 25, elastikiyet modülünde % 12 ve % 8 oranlarında azalma tespit etmişlerdir.

Tumen vd. (2010), gürgen ve uludağ göknarı odunu kullanarak 170, 190 ve 210 °C’de 4, 8 ve 12 saat süreyle gerçekleştirdikleri ısıtım işlem çalışmalarında rutubet oranının gürgende % 7,6 ila % 35; uludağ göknarı için ise % 9,4 ila % 32,01 oranlarında azaldığını tespit etmişlerdir. Bunun nedeni olarak ise odunda su absorbe eden ve alfa selüloz ve hemiselülozlarda bulunan hidroksil gruplarının bozulması olarak belirtmişlerdir.

Sefil (2010), doğu kayını ve uludağ göknarını Thermowood yöntemiyle 170, 180, 190, 205 ve 212 °C’de ısıtım işleme tabi tutmuştur. Sonuç olarak; ısıtım işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte denge rutubet miktarı azalmış, boyutsal dengede kayda değer

miktarda iyileşme tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerde ise sıcaklığın artmasıyla birlikte eğilme direncinde azalma gözlemlenmiştir.

Özçifçi vd. (2009), Karabük Yenice bölgesinden temin edilen sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununa, 150, 170 ve 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat süreyle ısıtım işlemi uygulanmıştır. Deney sonuçlarında sıcaklık ve süre arttıkça boyutsal kararlılığın da paralel olarak arttığını belirtmişlerdir. Yapılan testlerin sonuçları değerlendirildiğinde, ısıtım işleminin sarıçamın elastikiyet modülü ve eğilme direncini azaltırken, basınç direncini arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca mekanik dirençler arasında ısıtım işlemi uygulamasının en fazla eğilme direncini etkilediğini belirtmişlerdir.

Kol (2010), Çam (*Pinus nigra*) ve göknar (*Abies bornmüllerina*) odunlarını 190 ve 212 °C’ de 2 saat süre ile Thermowood yöntemi ile ısıtım işlemine tabi tutmuştur. Sonuç olarak, ısıtım işleminin ağaç malzemenin fiziksel özelliklerini kayda değer miktarda iyileştirdiği tespit edilirken, eğilme direnci ve elastikiyet modülünü azalttığı tespit edilmiştir.

Korkut and Hızıroğlu (2009), fındık ağacı (*Corylus colurna* L.) odunu üzerinde, 120, 150 ve 180 °C’de, 2 ve 10 saat sürelerle gerçekleştirdikleri ısıtım işlemi çalışmalarında ısıtım işlemi uygulanmış örneklerin mekanik özelliklerini kontrol örnekleri ile mukayese etmişlerdir. Sonuç olarak; en yüksek direnç kayıpları 180 °C’de 10 saat süreyle gerçekleştirilen deneylerde gözlenmiş olup, eğilme direncinde kontrol örneklerine göre % 31,86, elastikiyet modülünde % 27,67’lik azalma tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ısıtım işleminin ağaç malzemenin mekanik özelliklerinde azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir.

Korkut and Güller (2008), ısıtım işleminin akçaağaç odununun boyutsal değişimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 180 °C’de 10 saat ısıtım işlemine tabi tutulan örneklerde, genişlemede sırasıyla radyal, teğet ve boyuna olmak üzere % 23.43, % 34.64 ve % 20.04 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

Akyıldız and Ateş (2008), sapsız meşe (*Quercus petraea* Lieb.), anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.), kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) odunlarının ısıtım işlemini gerçekleştirdikleri çalışmalarında ısıtım işlemi süresi ve sıcaklığı

arttıkça denge rutubet miktarının azaldığını belirtmişlerdir. Deney sonuçlarına göre en düşük denge rutubet miktarı değeri % 7 ile 230 °C’de 2 saat gerçekleştirilen sapsız meşenin ısıtılmasında tespit edilirken; en yüksek % 14,2 ile 130 °C’de 8 saat gerçekleştirilen kızılçamın ısıtılmasında tespit edilmiştir.

Korkut (2008), uludağ göknarı örneklerinin ısıtılmasını gerçekleştirdiği çalışmada, 180 °C’de 10 saat sürede, enine kesit janka sertliğinin % 22; eğilme direncinin % 29; elastikiyet modülünün % 40; liflere dik çekme direncinin % 28 azaldığını bildirmiştir.

Ünsal and Ayrılmış (2005), ısıtılmanın okaliptüs odununun hava kurusu yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü (ortalama pürüzlük) ve liflere paralel basınç direnci üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak ısıtılma sıcaklığı ve uygulama süresi arttırıldıkça; basınç direnci, yoğunluk ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğünü belirtmişlerdir.

Bekhta and Niemz (2003), ladin odununun mekanik özellikleri, renk değişimi ve boyutsal kararlılığı üzerine yüksek sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak mekanik özelliklerde azalma gerçekleştiği, renkte koyulaşma ve boyutsal kararlılıkta artışın olduğunu belirlemişlerdir. Isıtılma sıcaklığı 200 °C’ye yaklaştıkça renk değişiminin arttığı ve bu renkteki koyulaşmanın 4 saat muameleden sonra daha da koyulaştığı belirlenmiştir. Eğilme direncindeki düşüşün % 44-50 arasında olduğu, elastikiyet modülünde bu değerlerin % 4-9 oranlarında olduğunu belirtmişlerdir.

Alén vd. (2002), ladin odununun 180 °C ve 225 °C olmak üzere 4 ve 8 saat boyunca ısıtılmasına tabi tutmuşlardır. 180 °C’de 4 saat boyunca gerçekleştirilen ısıtılma işlemi sonucunda % 1,5 ve 225 °C’de 8 saat boyunca gerçekleştirilen ısıtılma işlemi sonucunda ise % 12,5 kütle kaybı belirtmişlerdir.

Yıldız (2002a), ağaç malzeme olarak Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis*) kullanarak 2, 6 ve 10 saat olmak üzere 130, 150, 180 ve 200 °C’de gerçekleştirdiği ısıtılma çalışmada yoğunluğun ısıtılma süresi ve sıcaklığı arttıkça ters orantılı olarak azaldığını belirtmiştir. Yoğunluktaki en yüksek azalmanın

200 °C'de 10 saat süreyle gerçekleştirilen (kayın, % 18,37 azalma; ladin, % 10,53 azalma) denemede olduğu belirtilmiştir.

Kandem vd. (2002), ladin (*Picea spruce*) ve kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) odunlarını Rectification yöntemi ile 200 °C ve 260 °C'de ısıtılma tabii tutmuşlardır. Sonuç olarak malzemelerin; elastik özelliğinde % 11-20, eğilme direncinde % 8-40'lık bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Jamsa and Viitaniemi (2001), odunda ısıtılma sonucu denge rutubet miktarının azalmasının nedenini ısıtılma sonucu odunun kimyasal yapısındaki hidroksil gruplarının azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Zaman vd. (2000), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve adi huş (*Betula pendula*) örneklerini 200 °C ile 230 °C arasında 4 ve 8 saat süreyle ısıtılma tabii tutmuşlardır. Sarıçam örneklerinin kütle kaybını, 200 °C'de 4 saat ısıtılma tabii tutulduğunda % 5,7; 8 saat ısıtılma tabii tutulduğunda % 7 olarak tespit etmişlerdir. Sarıçam örnekleri 230 °C'de ısıtılma tabii tutulduğunda 4 saatte % 11; 8 saatte % 15,2 kütle kaybı olduğunu belirlemişlerdir. Huş örneklerinde ise 200°C'de 4 saatte % 6,4; 8 saatte % 10,2 kütle kaybı tespit etmişlerdir. Yine huş örnekleri 220 °C'de 4 saat ısıtılma tabii tutulduğunda % 13,5; 8 saat ısıtılma tabii tutulduğunda % 15,2 kütle kaybı tespit etmişlerdir.

Bourgeois and Guyonnet (1988), yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen ısıtılma işleminin ağaç malzemesinde oldukça yüksek seviyede kütle kaybına neden olduğunu belirtmişlerdir. Sahil çamı üzerinde 260 °C'de 15 dakika gerçekleştirdikleri ısıtılma işlemi sonucunda % 18,5 ve yine 260 °C'de 1 saat süresince gerçekleştirdikleri ısıtılma işlemi sonucunda kütle kaybının % 30'a ulaştığını belirtmişlerdir.

Feist and Sell (1987), ladin ve kayın odunlarını azot ortamında ısıtılma tabii tuttukları çalışmalarında, ladinde 175 °C'de gerçekleştirilen deneyde kütlede % 5, denge rutubet miktarında % 30; 195 °C'de gerçekleştirilen deneyde kütlede % 10, denge rutubet miktarında % 45 azalma tespit etmişlerdir. Kayında ise azalma değerleri

175 °C'de küttele % 20, denge rutubet miktarında % 30; 195 °C'de küttele % 15, denge rutubet miktarında % 59 olarak tespit edilmiştir.

Giebeler (1983), 1,8 m<sup>3</sup> hacminde otoklav kullanarak gerçekleştirdiği ısı işlem çalışmasında boyutsal kararlılıkta % 50 dolaylarında artış olduğunu belirtmiştir. Ayrıca ısı işlemin pencere doğrama gibi yüksek boyutsal kararlılık gerektiren ve % 10'luk mekanik direnç kaybının tolere edilebileceği işler için ekonomik olduğunu belirtmiştir.

## BÖLÜM 2

### MALZEME VE YÖNTEM

#### 2.1. MALZEME

##### 2.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada ağaç malzeme olarak, ülkemizde yaygın kullanım alanı bulunan ve Karabük Çiftçiler A.Ş.'den temin edilen sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) keresteleri seçilmiştir. Ağaç malzeme seçimi TS 4176 standardındaki genel esaslara göre belirlenmiştir (TS 4176, 1984). Seçilen kerestede gövde oluşumu bakımından fazla dallı, budaklı, lif kıvrıklığı, anormal tepe formu göstermemesine, kerestelerin normal ve çürüksüz olmasına özen gösterilmiştir.

Sarıçam (*Pinus silvestris* L.) narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı bir orman ağacıdır. Eskişehir Yeşildağ'dan başlayıp doğuya doğru Kuzey Anadolu'yu kaplayarak Sarıkamış üzerinden Kafkas'lara geçen sarıçam; yurdumuzda, iğne yapraklı ormanlar içerisinde 1.239.578 hektar kapladığı alanla üçüncü sırada yer almaktadır. Sarıçam (*Pinus silvestris* L.) odunu genel olarak yumuşak, budaksız, iyi kalite özelliklerine sahip ve kolay işlenebildiği için ülkemiz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yetişkin bireylerinin boyu 20-40 m. arasında değişmektedir (Merev, 2003).

##### 2.1.2. Katalizör

Bu çalışmada katalizör olarak Merck marka sodyum hidroksit çözeltisi (NaOH solution, % 50) ve potasyum hidroksit çözeltisi (KOH solution, % 47) ile Sigma-Aldrich marka potasyum hidroksit (KOH) kimyasalları kullanılmıştır. Bu üç kimyasalın kullanılma amacı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı ısıtma işlemi

sürecinde ağaç malzemede direnç kayıplarına neden olan asidik ortamın pH derecesini dengeleyebilir nitelikte olmasıdır. Kullanılan katalizörlerin bazı özellikleri

Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. NaOH çözeltisi, KOH çözeltisi ve KOH katalizörlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

	<b>NaOH Çözeltisi</b>	<b>KOH Çözeltisi</b>	<b>KOH</b>
<b>Çözünürlük</b>	20 °C	20 °C	1130 g/Lt (20 °C)
<b>Erime Noktası</b>	12 °C	20 °C	406 °C
<b>Yoğunluk</b>	1.53 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)	1.475 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)	2.044 g/cm <sup>3</sup>
<b>pH Değeri</b>	>14 (100 g/l,H <sub>2</sub> O, 20 °C)	>13.5 (H <sub>2</sub> O, 20 °C)	>14
<b>Kaynama Noktası</b>	143 °C	135 °C	1320 °C

## 2.2. YÖNTEM

Bu çalışmada, ısıl işlemde kullanılan katalizörlerin etkisini belirlemek amacıyla numuneler; ısıl işleme tabi tutulmamış kontrol grubu, katalizörsüz ısıl işlem grubu ve katalitik ısıl işlem grubu olmak üzere 3 farklı deney grubuna ayrılmış olup, deney sonrasında numunelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Deney şartları olarak ısıl işlem; bir inert gaz olan azot gazı (N<sub>2</sub>) ortamında, 212 °C’de ve 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Katalitik ısıl işlem deneyleri ise üç farklı katalizör (% 50’lik NaOH çözeltisi, % 47’lik KOH çözeltisi ve KOH) ortamında ve ısıl işlemi gerçekleştirilecek numunelerin tam kuru kütle değerine % 15 ve % 30 oranlarında kullanılmıştır.

Isıl işlem sürecinde 20x20x300 mm ölçülerinde hazırlanan numuneler, 103 ±2 °C’de değişmez kütle değerine ulaşmaya kadar kurutulmuş, ısıl işlem öncesi tam kuru değerlerine getirilmiştir. Numuneler ±1 °C duyarlılıkta çalışan vakumlu etüvde, aralarında boşluk kalacak şekilde ısıl işlem fırınına (vakumlu etüv) yerleştirilmiştir (Şekil 2.1). Katalizör kullanılarak gerçekleştirilen ısıl işlem deneylerinde; tartımı yapılan kimyasal, camdan ve ısıya dayanıklı bir kaba konmak suretiyle ısıl işlem ortamına eklenerek etüvün kapağı sıkıştırılmıştır. Sistemin oksijen ile temas etmesinden kaçınılmış olup, vakum pompası aracılığı ile vakum uygulanarak ortam basıncı 100 mbar seviyesine kadar düşürülmüştür. Daha sonra etüv, ortam basıncı 1000 mbar seviyesine ulaşana kadar azot gazı ile doldurulmuştur. Sistem; belirlenen sıcaklık olan 212 °C’ye ulaştıktan sonra iki saat süre ile bu sıcaklıkta bekletilerek numunelerin ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonrasında fırın sıcaklığı 103±2 °C sıcaklığa düştüğünde numuneler etüvden çıkarılıp tekrar tartılarak ısıl işlem sonrası kütleleri belirlenmiştir.





Şekil 2.1. Isıl işlem fırını.

### *Kütle kaybı*

Kütle kaybının tespitinde 0,001 duyarlılıkta terazi kullanılmıştır. Deney sonrası 20x20x300 mm ölçülerindeki numunelerler tekrar tam kuru kütle değerlerine gelinceye kadar 103±2 °C sıcaklıktaki kurutma dolabında bekletilerek kütle kayıpları % olarak aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır;

$$Kk = [(M_o - M_{1s})/M_o] \times 100 \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

Kk: Kütle kaybı (%),

M<sub>o</sub>: Numunelerin tam kuru kütlesi (g),

M<sub>1s</sub>: Isıl işlem sonrası numunelerin tam kuru kütlesi (g), değerlerini ifade etmektedir.

### *Denge rutubet miktarı*

Denge rutubet miktarı değerleri TS 2471 (Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini) standardına göre belirlenmiştir. Her bir deney grubu için 20 adet olarak 20x20x30 mm boyutlarında kesilen numuneler, 20±2 °C sıcaklık ve % 65±3 bağıl nem şartlarında değişmez kütle değerine gelinceye kadar bekletilerek denge rutubet miktarları aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir;

$$DRM = [(M_r - M_o)/M_o] \times 100 \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte;

DRM: Denge rutubet miktarı (%),

Mr: Numunelerin % 65 bağıl nem ve 20 °C’de ulaşılan değişmeyen rutubetli kütlesi (g),

Mo: Numunelerin tam kuru kütlesi (g), değerlerini ifade etmektedir (TS 2471, 1976).

#### *Hava kurusu yoğunluk*

Numunelerin hava kurusu yoğunlukları TS 2472 esaslarına göre belirlenmiştir. Buna göre; 20x20x30 mm boyutlarında kesilen deney numuneleri 20±2 °C sıcaklık ve % 65±3 bağıl nem şartlarındaki kabinde bekletilerek değişmez kütleye ve hacme ulaşması sağlanmıştır. Numunelerin kütlesi 0,001 g duyarlıklı terazide tartılarak; hacmi ise 0,01 mm duyarlıklı komparatör saati ile ölçülerek belirlenmiştir. Hava kurusu yoğunluğunun hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır;

$$d_r = m_r/V_r \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte;

dr: Numunelerin yoğunluk değerleri (g/cm<sup>3</sup>),

mr: Numunelerin kütle değerleri (g),

Vr: Numunelerin hacim değerlerini (cm<sup>3</sup>) ifade etmektedir (TS 2472, 1976).

#### *Hacimsel genişleme miktarı*

Hacimsel genişleme miktarının belirlenmesinde TS 4086 esaslarına uyulmuş olup, 20x20x30 mm (teğet x radyal x boyuna) boyutlarındaki deney numuneleri 103±2 °C sıcaklıktaki kurutma dolabında değişmez kütle değerine ulaşınca kadar kurutulmuştur. Daha önceden karşılıklı iki kesitinden işaretlenen numunelerin noktalar arasındaki mesafeleri 0,01 mm duyarlıklı komparatör saati ile ölçülerek tam kuru hacim değerleri belirlenmiştir. Aynı numuneler, % 65±5 bağıl nem ve 20±2 °C’de denge rutubetine gelinceye kadar iklimlendirme dolabında bekletilmiştir. Denge rutubetine gelen numuneler 20 °C sıcaklıktaki distile su içerisinde sabit boyutlara ulaşınca kadar bekletilmiştir. Değişmez boyut değerlerine ulaşan numuneler ilk ölçüm yerlerinden tekrar ölçüm yapılarak hacimsel genişleme miktarları ( $\alpha$ ) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$\alpha = [(Rh - Kh) / Kh] \times 100 \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte;

$\alpha$ : Hacimsel genişleme miktarı (%),

Rh: Rutubetli hacim ( $\text{mm}^3$ ),

Kh: Kuru hacim ( $\text{mm}^3$ ), değerlerini ifade etmektedir (TS 4086, 1983).

### *Eğilme direnci*

Eğilme direnci deneyleri TS 2474 esaslarına göre gerçekleştirilmiştir. 20x20x300 mm boyutlarındaki numuneler  $20 \pm 2$  °C ve %  $65 \pm 3$  bağıl nem koşullarında denge rutubetine kadar iklimlendirme dolabında kondisyonlanıp, 0,01 mm duyarlılığa sahip olan dijital bir kumpasla genişliği, kalınlığı ve uzunlukları ölçülmüştür. Numuneler üniversal test makinesine, dayanak noktaları arası 240 mm olacak şekilde ve yıllık halkalara teğet yönde yerleştirilmiştir. Eğilme direncinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır;

$$\sigma_e = (3 * F * l_s) / (2 * b * h^2) \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte;

$\sigma_e$ : Eğilme direnci ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),

F: Kırılma yükü (N),

$l_s$ : Silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık (mm),

b: Numune genişliği (mm),

h: Numune yüksekliği (mm), değerlerini ifade etmektedir (TS 2474, 1977).

### *Elastikiyet modülü*

Elastikiyet modülü deneylerinde TS 2478 esaslarına uyulmuştur. 20x20x300 mm boyutlarındaki numuneler  $20 \pm 2$  °C ve %  $65 \pm 3$  bağıl nem koşullarında denge rutubetine kadar iklimlendirme dolabında kondisyonlanıp, 0,01 mm duyarlılığa sahip olan dijital bir kumpasla genişliği, kalınlığı ve uzunlukları ölçülmüştür. Numuneler üniversal test makinesine, dayanak noktaları arası 240 mm olacak şekilde yerleştirilmiş olup, kuvvetin deney numunesinin liflerine dik yönde ve tam ortadan uygulanmasına dikkat

edilmiştir. Test makinesinin yükleme hızı, kırılmanın yükleme anından itibaren 1,5-2 dakika içerisinde meydana gelecek şekilde ayarlanmıştır. Elastikiyet modülünün hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır;

$$E = (F * Ls^3)/(4 * f * b * h^3) \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte;

E: Elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>),

F: Elastik bölgedeki kuvvet (N),

Ls: Silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık (mm),

f: Eğilme miktarı (mm),

b: Numune genişliği (mm),

h: Numune yüksekliği (mm), değerlerini ifade etmektedir (TS 2478, 1976).



Şekil 2.2. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini.

Bu çalışmada yapılan deneylerde, katalizörlü ve katalizörsüz olarak ısıtılma tabii tutulmuş deney numunelerinden elde edilen değerlerin, kontrol numunelerine kıyasla artma ya da azalma oranları (%) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$Ao = [(Kn - Dn)/Kn] \times 100 \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte;

Ao : Artma veya azalma oranı (%),

$K_n$  : Kontrol numunesi değerini,

$D_n$  : Deney numunesi değerini, ifade etmektedir.

Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde Minitab 16.0 paket programı kullanılmıştır. Isıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler bağımsız örneklem t-testi ile (% 95 güven düzeyinde) analiz edilmiştir. İlk olarak katalizörlü ve katalizörsüz ısıl işlem numuneleri, kontrol grubu numuneleri ile karşılaştırılarak ısıl işlemin etkisi araştırılmıştır. Sonrasında ise ısıl işlemde katalizör kullanımının etkisini araştırmak amacıyla; katalizörsüz ısıl işlem numuneleri ile katalitik ısıl işlem numuneleri karşılaştırılarak aralarındaki farklılıklar % 95 güven düzeyinde bağımsız örneklem t-testi ile denetlenmiştir.

## BÖLÜM 3

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

##### 3.1.1. Kütle Kaybı

Sarıçam odununa 212 °C’de katalizörlü ve katalizörsüz olmak üzere 2 saat süreyle uygulanan ısı işlem sonucunda deney gruplarında meydana gelen kütle kaybına ait istatistiksel değerler çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kütle kaybı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.

Deney Grubu	Deney Grubu Kodu	Katalizör Miktarı (%)	Numune Sayısı (N)	Kütle Kaybı (%)	
				Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
<b>Kontrol</b>	K	0	18	-	-
<b>Isıl İşlem</b>	T	0	18	4,77	0,77
<b>Katalitik Isıl İşlem</b>	N1	15	18	5,02	0,85
	N2	30	18	4,37	1,56
	P1	15	18	4,33	0,66
	P2	30	18	5,34	1,05
	KP1	15	18	4,06	0,84
	KP2	30	18	4,00	0,63

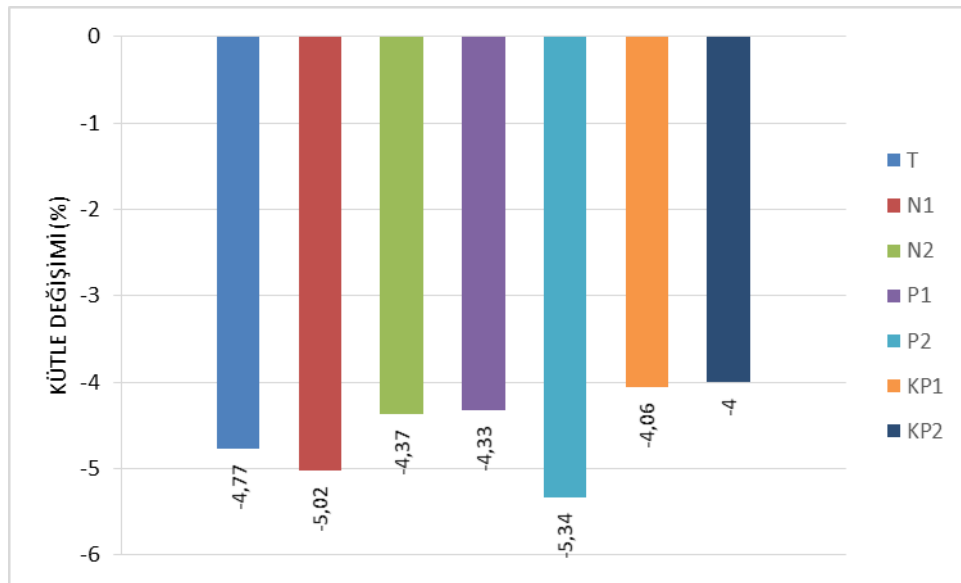
K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (katalizörsüz) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısı işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısı işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısı işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısı işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısı işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısı işlem grubu

Kütlerde; ısı işlem sonrası katalizörlü ve katalizörsüz olmak üzere her bir deney grubunda kayıp gözlemlenmiştir. Çizelge 3.1 ve şekil 3.1’e göre ısı işlem sonrası en

fazla kütle kaybı % 5,34 ile katalitik ısı işlem grubu “P2”de elde edilirken, en az % 4,06 ve % 4 ile “KP1 ve KP2”de elde edilmiştir. Katalizörsüz ısı işlem (T) grubunda ise % 4,77 oranında kütle kaybı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara ilişkin benzer veriler literatürde de tespit edilmiştir. Sefil (2010), uludağ göknarının ısı işlemini gerçekleştirdiği çalışmasında 212 °C’de örneklerin kütle kaybı değerlerini % 5,4 olarak tespit etmiştir. Zaman vd. (2000), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu numunelerini ısı işleme tabi tuttıkları çalışmalarında kütle kaybını 200 °C’de ve 4 saatte % 5,7 olarak belirlemişlerdir.

Isıl işlem sonrası deney gruplarında gözlemlenen kütle değişim değerleri şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Isıl işlem gruplarının kütle değişim değerleri (%).

Isıl işlemde katalizör kullanımının, numunelerin kütle kaybı değerleri üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler t-testi ile kontrol edilmiştir. Bu nedenle ısı işlem grubu (T) ile katalitik ısı işlem grupları karşılaştırılarak aralarındaki farklılıklar % 95 güven düzeyinde bağımsız örneklem t-testi ile analiz edilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Kütle kaybı değerlerine ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

<b>Bağımsız Örneklem T-Testi (Kütle Kaybı)</b>						
<b>Isıl İşlem Grupları</b>	<b>Numune Sayısı (N)</b>	<b>Aritmetik Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>	<b>Serbestlik Derecesi (df)</b>	<b>T-değeri</b>	<b>Önem Düzeyi (P-değeri)</b>
<b>T (Kontrol)</b>	18	4,77	0,77	-	-	-
<b>N1</b>	18	5,02	0,85	34	-0,89	0,19
<b>N2</b>	18	4,37	1,56	25	1,01	0,162
<b>P1</b>	18	4,33	0,66	34	1,63	0,056
<b>P2</b>	18	5,34	1,05	34	-1,97	0,057
<b>KP1</b>	18	4,06	0,84	34	2,58	0,007
<b>KP2</b>	18	4,00	0,63	34	3,2	0,001

T: Isıl işlem (kontrol) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.2'deki bağımsız örneklem t-testine göre (%95 güven düzeyinde) diğer katalitik ısıl işlem gruplarında, katalizörsüz ısıl işlem (T) grubuna kıyasla kayda değer farklılıklar elde edilmezken, potasyum hidroksit varlığında gerçekleştirilen (KP1 ve KP2) katalitik ısıl işlem gruplarında örneklerin kütle kaybı değerlerinde istatistiksel olarak (% 95 güven düzeyinde) önemli derecede farklılık tespit edilmiştir ( $P=0,007 < 0,05$  ve  $P=0,001 < 0,05$ ). Buna göre "KP1" ve "KP2" grubu numuneleri katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) ile kıyaslandığında; sırasıyla % 14,88 ve % 16,14 oranlarında daha az kütle kaybına uğramıştır.

Yapılan deneylerin sonucunda ısıl işlemin ağaç malzemede, odun bileşenlerinin bozulması ve ekstraktiflerin buharlaşmasına bağlı olarak kütle kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Katalitik ısıl işlem deneylerinde; kullanılan bazik özellikteki potasyum hidroksitin etkisi ile ısıl işlem sırasında yüksek sıcaklıklarda oluşan ve odun bileşenlerinin tahrip olmasına neden olan asit hidrolizinin azaldığı düşünülmektedir. Buna bağlı olarak ısıl işlem sonrasında odunda meydana gelen kütle kaybının azaldığı belirlenmiştir.



### 3.1.2. Hava Kuruşu Yoğunluk

Isıl işlem deney gruplarında gözlemlenen hava kuruşu yoğunluk değerlerine ait istatistiksel değerler çizelge 3.3’de verilmiştir.

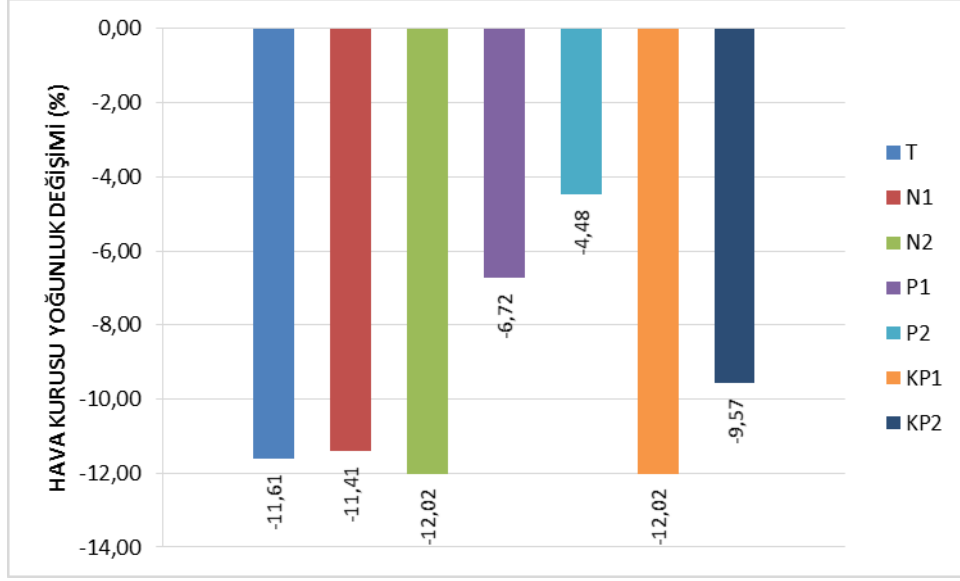
Çizelge 3.3. Hava kuruşu yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.

Deney Grubu	Deney Grubu Kodu	Katalizör Miktarı (%)	Numune Sayısı (N)	Hava Kuruşu Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	
				Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
<b>Kontrol</b>	K	0	20	0,491	0,06
<b>Isıl İşlem</b>	T	0	20	0,434	0,03
<b>Katalitik Isıl İşlem</b>	N1	15	20	0,435	0,02
	N2	30	20	0,432	0,03
	P1	15	20	0,458	0,05
	P2	30	20	0,469	0,05
	KP1	15	20	0,432	0,02
	KP2	30	20	0,444	0,03

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (katalizörsüz) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.3 ve şekil 3.2’de görüldüğü gibi katalizörlü ve katalizörsüz ısıl işlem deneyleri sonrasında numunelerin hava kuruşu yoğunluklarında azalma gözlemlenmiştir. Çizelge 3.3’e göre en yüksek hava kuruşu yoğunluk değeri 0,469 gr/cm<sup>3</sup> ile potasyum hidroksit çözeltisi kullanılan katalitik ısıl işlem grubu “P2”de tespit edilirken, en düşük 0,432 gr/cm<sup>3</sup> ile potasyum hidroksit kullanılan “KP1” ve sodyum hidroksit çözeltisi kullanılan “N2” katalitik ısıl işlem gruplarında tespit edilmiştir. Sarıçam odununa 212 °C’de 2 saat süreyle uygulanan ısıl işlem sonrasında (T) hava kuruşu yoğunluk değeri % 11,6 oranında azalarak 0,434 gr/cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

Isıl işlem deneyleri sonrasında deney gruplarının hava kuruşu yoğunluklarında gözlemlenen değişim değerleri şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Isıl işlem gruplarının hava kuruşu yoğunluk değışimi (%).

Isıl işlem sonrası hava kuruşu yoğunluk değeriindeki değışim oranı verilen şekil 3.2'ye göre, en az değışim oranı % 6,72 ve % 4,48 ile katalizör olarak potasyum hidroksit çözeltilisinin kullanıldığı deney numunelerinde (P1 ve P2) tespit edilmiştir. En yüksek değışim oranı ise % 12,02 ile katalitik ısıl işlem grupları “KP1” ve “N2”de gözlemlenmiştir.

Buna göre; ısıl işlemin odunun hava kuruşu yoğunluğunda azalmaya neden olduğu söylenebilir. Bu azalmanın temel nedeni olarak; başta hemizelülozlar olmak üzere odun bileşenlerinde meydana gelen kayıplar, odundaki ekstraktiflerin buharlaşması ve ısıl işlem sonrası daha düşük denge rutubet miktarı değeriinden dolayı yapısında daha az suyu ihtiva etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Boonstra vd. 2007; Winandy and Lebow, 2001).

Isıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin hava kuruşu yoğunlukları üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler t-testi ile kontrol edilmiştir. Önce; katalizörsüz ısıl işlem (T) grubu, kontrol (K) grubu ile karşılaştırılarak ısıl işlemin numunelerin hava kuruşu yoğunluğuna etkisi araştırılmıştır. Daha sonra; ısıl işlemde katalizör kullanımının hava kuruşu yoğunluğuna etkisini araştırmak amacıyla; katalizörsüz ısıl işlem (T) grubu ile katalitik ısıl işlem grupları aralarındaki farklılıklar % 95 güven düzeyinde bağımsız örneklem t-testi ile analiz edilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Hava kuruğu yoğunluğuna ait bağımsız örnekleme t-testi sonuçları.

<b>Bağımsız Örnekleme T-Testi (Hava Kuruğu Yoğunluğu)</b>						
<b>Isıl İşlem Grupları</b>	<b>Numune Sayısı (N)</b>	<b>Aritmetik Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>	<b>Serbestlik Derecesi (df)</b>	<b>T-değeri</b>	<b>Önem Düzeyi (P-değeri)</b>
<b>K (Kontrol)</b>	20	0,491	0,06	-	-	-
<b>T (Kontrol)</b>	20	0,434	0,03	27	3,26	0,001
<b>N1</b>	20	0,435	0,02	38	-0,17	0,434
<b>N2</b>	20	0,432	0,03	38	0,05	0,479
<b>P1</b>	20	0,458	0,05	38	-1,8	0,04
<b>P2</b>	20	0,469	0,05	38	-2,55	0,007
<b>KP1</b>	20	0,432	0,02	38	-0,02	0,51
<b>KP2</b>	20	0,444	0,03	38	-0,93	0,179

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (kontrol) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.4'deki bağımsız örnekleme t-testine göre katalizörsüz ısıl işlem sonrasında numunelerinin hava kuruğu yoğunluğ değerlerinde gözlemlenen % 11,6 oranındaki azalmanın istatistiksel olarak (% 95 güven düzeyinde) önemli olduğu tespit edilmiştir ( $P=0,001 < 0,05$ ).

Katalizörsüz ısıl işlem (T) ile katalitik ısıl işlem numunelerinin karşılaştırılmasında (% 95 güven düzeyinde) ise; "P1" ve "P2" numunelerinin hava kuruğu yoğunluğlarının katalizörsüz ısıl işleme (T) göre % 5,5 ve % 8 oranlarında daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir ( $P=0,04 < 0,05$  ve  $P=0,007 < 0,05$ ).

### 3.1.3. Denge Rutubet Miktarı

Katalizörlü ve katalizörsüz ısıl işlem deney gruplarında gözlemlenen denge rutubet miktarı değerlerine ait istatistiksel değerler çizelge 3.5'de verilmiştir.

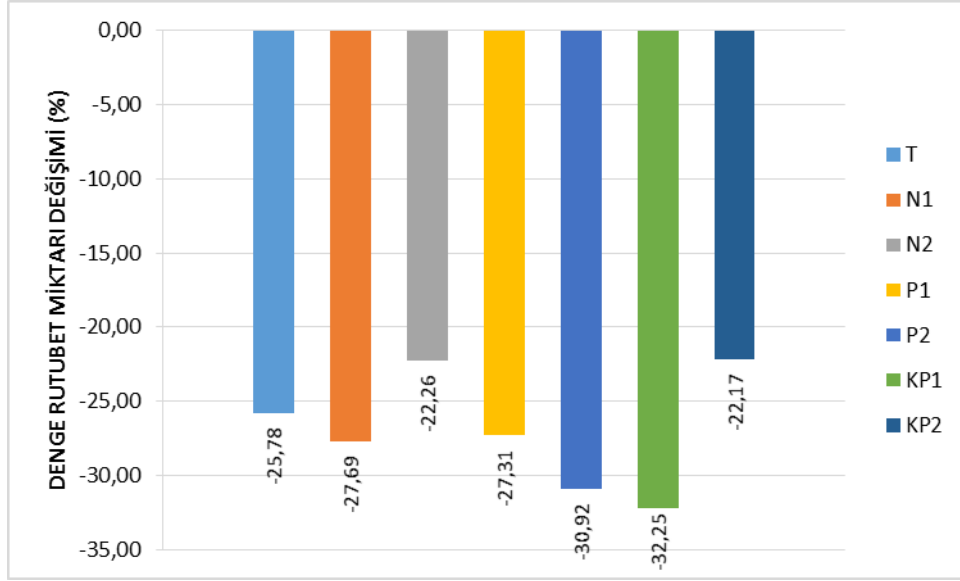
Çizelge 3.5. Denge rutubet miktarı değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.

Deney Grubu	Deney Grubu Kodu	Katalizör Miktarı (%)	Numune Sayısı (N)	Denge Rutubet Miktarı (%)	
				Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
<b>Kontrol</b>	K	0	20	10,51	0,25
<b>Isıl İşlem</b>	T	0	20	7,80	0,31
<b>Katalitik Isıl İşlem</b>	N1	15	20	7,60	0,33
	N2	30	20	8,17	0,71
	P1	15	20	7,64	0,69
	P2	30	20	7,26	0,42
	KP1	15	20	7,12	0,77
	KP2	30	20	8,18	0,36

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (katalizörsüz) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.5 ve şekil 3.3'e göre katalizörlü ve katalizörsüz ısıl işlem sonrasında numunelerin denge rutubet miktarlarında azalma tespit edilmiştir. Kontrol numunelerinde % 10,51 olan denge rutubet miktarı ısıl işlem deneyleri sonrasında, en yüksek % 8,18 ile katalitik ısıl işlem grubu "KP2"de gözlemlenirken, en düşük % 7,12 ile "KP1"de gözlemlenmiştir.

Katalizörlü ve katalizörsüz ısıl işlem deneyleri sonrasında deney gruplarının denge rutubet miktarlarında gözlemlenen değişim değerleri şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Isıl işlem gruplarının denge rutubet miktarı değişimi (%).

Kontrol (K) grubuna göre denge rutubet miktarı ısıl işlem sonrası; “T” grubunda % 25,78 oranında; “KP2”de % 22,17; “KP1”de % 32,25 oranında azalmıştır. Literatürde de benzer sonuçların bulunduğu belirlenmiştir. Buna göre; Akyıldız and Ateş (2008), 230 °C’de 2 saat süreyle sapsız meşenin ısıl işleminde denge rutubet miktarını % 7 olarak tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise Feist and Sell (1987), 175 °C’de ladin ve kayın odununun denge rutubet miktarında yaklaşık % 30 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Isıl işlem deneyleri sonucunda numunelerin denge rutubet miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir. Buna temel olarak ısıl işlemde hemiselülozların dehidrasyon reaksiyonlarına uğraması sonucu odunda su absorbe eden hidroksil gruplarının azalmasının neden olduğu düşünülmektedir (Boonstra vd. 2007; Esteves vd. 2007).

Isıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin denge rutubet miktarları üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler bağımsız örneklem t-testi ile kontrol edilmiştir. Önce; katalizörsüz ısıl işlem (T) grubu, kontrol (K) grubu ile karşılaştırılarak ısıl işlemin, numunelerin denge rutubet miktarına etkisi araştırılmıştır. Daha sonra; katalizör kullanımının numunelerin denge rutubet miktarına etkisini araştırmak amacıyla; katalizörsüz ısıl işlem (T) grubu ile katalitik ısıl işlem grupları

aralarındaki farklılıklar % 95 güven düzeyinde bağımsız örneklem t-testi ile analiz edilmiştir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Denge rutubet miktarına ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

<b>Bağımsız Örneklem T-Testi (Denge Rutubet Miktarı)</b>						
<b>Isıl İşlem Grupları</b>	<b>Numune Sayısı (N)</b>	<b>Aritmetik Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>	<b>Serbestlik Derecesi (df)</b>	<b>T-değeri</b>	<b>Önem Düzeyi (P-değeri)</b>
<b>K (Kontrol)</b>	20	10,51	0,25	-	-	-
<b>T (Kontrol)</b>	20	7,8	0,31	38	29,26	0,00
<b>N1</b>	20	7,6	0,33	38	1,88	0,034
<b>N2</b>	20	8,17	0,71	23	-2,08	0,024
<b>P1</b>	20	7,64	0,69	38	0,9	0,187
<b>P2</b>	20	7,26	0,42	38	4,46	0,00
<b>KP1</b>	20	7,12	0,77	23	3,04	0,003
<b>KP2</b>	20	8,18	0,36	38	-3,43	0,001

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (kontrol) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.6'daki bağımsız örneklem t-testine göre (% 95 güven düzeyinde) kontrol numuneleri ile kıyaslandığında; katalizörsüz ısıl işlem (T) numunelerinin denge rutubet miktarlarında istatistiksel olarak % 25,78 oranında azalma tespit edilmiştir ( $P=0,00 < 0,05$ ). Katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) ile katalitik ısıl işlem grupları arasında % 95 güven düzeyinde yapılan kıyaslamada ise; denge rutubet miktarlarının "N1" numunelerinde % 2,56 ( $P=0,034 < 0,05$ ), "P2" numunelerinde % 6,92 ( $P=0,00 < 0,05$ ), "KP1" numunelerinde % 8,7 ( $P=0,003 < 0,05$ ) oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Diğer katalitik ısıl işlem gruplarına bakıldığında; katalizörsüz ısıl işlem grubuna (T) göre denge rutubet miktarının "N2" numunelerinde % 4,7 ( $P=0,024 < 0,05$ ); "KP2" numunelerinde % 4,87 ( $P=0,001 < 0,05$ ) oranlarında arttığı tespit edilmiştir.

### 3.1.4. Boyutsal Değişim

Boyutsal değişimde; ısıtım işlem deneyleri sonrası numunelerin hacimsel genişleme değerleri incelenmiştir.

Isıtım işlem deney gruplarında gözlemlenen hacimsel genişleme değerlerine ait istatistiksel değerler çizelge 3.7’de verilmiştir.

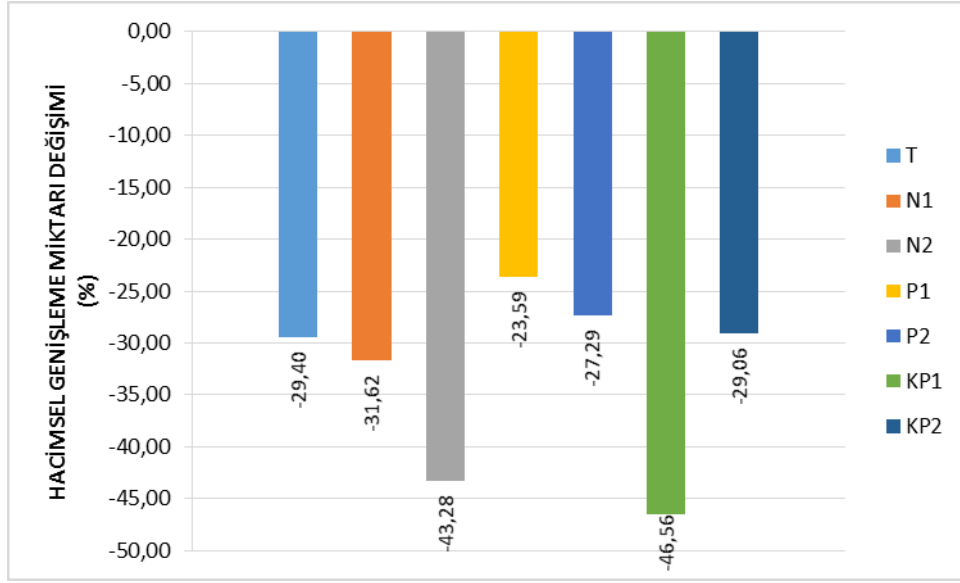
Çizelge 3.7. Hacimsel genişleme değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.

Deney Grubu	Deney Grubu Kodu	Katalizör Miktarı (%)	Numune Sayısı (N)	Aritmetik Ortalama			Standart Sapma
				Teğet Genişleme (%)	Radyal Genişleme (%)	Hacimsel genişleme (%)	
Kontrol	K	0	20	6,99	4,58	12,75	1,24
Isıtım İşlem	T	0	20	5,69	2,77	9,00	0,95
Katalitik Isıtım İşlem	N1	15	20	5,17	3,14	8,72	0,97
	N2	30	20	4,77	2,11	7,23	1,30
	P1	15	20	5,89	3,09	9,74	1,32
	P2	30	20	5,72	2,90	9,27	1,28
	KP1	15	20	4,79	1,98	6,81	1,32
	KP2	30	20	5,94	2,52	9,05	1,30

K: Isıtım işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıtım işlem (katalizörsüz) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıtım işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıtım işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıtım işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıtım işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıtım işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıtım işlem grubu

Çizelge 3.7 ve şekil 3.4’e göre katalizörlü ve katalizörsüz ısıtım işlem deneyleri sonrasında yapılan boyutsal değişim testinde numunelerin hacimsel genişleme miktarlarında azalma tespit edilmiştir. Kontrol numunelerinde (K) % 12,75 olan hacimsel genişleme miktarı, ısıtım işlem sonrası (T) % 9 olarak tespit edilmiştir. Isıtım işlem deneyleri sonrası en yüksek hacimsel genişleme oranı % 9,74 ile katalitik ısıtım işlem grubu “P1”de gözlemlenirken, en düşük % 6,81 ile “KP1”de tespit edilmiştir.

Isıtım işlem deneyleri sonrasında deney gruplarının hacimsel genişleme miktarlarında gözlemlenen değişim değerleri şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Isıl işlem gruplarının hacimsel genişleme miktarı değişimi (%).

Kontrol (K) grubuna göre hacimsel genişleme miktarı ısıl işlem sonrası odunun higroskopisitesinin azalmasından dolayı; “T” grubunda % 29,4 ; “P1” grubunda % 23,5; “KP1” grubunda % 46,5 oranlarında azalmıştır. Literatürde diğer ısıl işlem çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Özçifçi vd. (2009), sarıçam (*Pinus sylvestris*) odununa, 150, 170 ve 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat sürelerle ısıl işlem uyguladıkları çalışmalarında numunelerin hacimsel genişleme miktarlarında % 6 ile % 55 arasında değişen oranlarda azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca Korkut ve Güller (2008), 180 °C’de 10 saat ısıl işleme tabi tuttıkları akçaağaç örneklerinin genişlemelerinde sırasıyla radyal ve teğet olmak üzere % 23,43 ile % 34,64 azalma tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada Zivković vd. (2008), 190 °C’de gerçekleştirdikleri ısıl işlem çalışmalarında kayın örneklerinin boyutsal kararlılığında % 35; dişbudak örneklerinin boyutsal kararlılığında % 27 artış tespit etmişlerdir.

Isıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin boyutsal kararlılığı üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler t-testi ile kontrol edilmiştir. Önce; katalizörsüz ısıl işlem (T) grubu kontrol (K) grubu ile kıyaslanarak ısıl işlemin numunelerin hacimsel genişleme miktarlarına etkisi araştırılmıştır. Daha sonra; ısıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin hacimsel genişleme miktarına etkisini araştırmak amacıyla; katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) katalitik ısıl işlem grupları ile kıyaslanarak,



aralarındaki farklılıklar % 95 güven düzeyinde bağımsız örneklem t-testi ile analiz edilmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Hacimsel genişleme miktarına ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

<b>Bağımsız Örneklem T-Testi (Hacimsel Genişleme Miktarı)</b>						
<b>Isıl İşlem Grupları</b>	<b>Numune Sayısı (N)</b>	<b>Aritmetik Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>	<b>Serbestlik Derecesi (df)</b>	<b>T-değeri</b>	<b>Önem Düzeyi (P-değeri)</b>
<b>K (Kontrol)</b>	20	12,758	1,241	-	-	-
<b>T (Kontrol)</b>	20	9,007	0,954	21	5,3	0,00
<b>N1</b>	20	8,724	0,972	38	0,9	0,186
<b>N2</b>	20	7,236	1,304	24	2,87	0,004
<b>P1</b>	20	9,749	1,323	38	-1,2	0,119
<b>P2</b>	20	9,276	1,287	25	-1,56	0,13
<b>KP1</b>	20	6,818	1,324	27	3,68	0,001
<b>KP2</b>	20	9,05	1,303	38	-0,12	0,907

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (kontrol) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.8'deki bağımsız örneklem t-testine göre (%95 güven düzeyinde) ısıl işlem sonrası "T" numunelerinin hacimsel genişleme miktarlarında kontrol numunelerine göre % 29,4 azalma tespit edilmiştir ( $P=0,00 < 0,05$ ). Katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) ile katalitik ısıl işlem grupları arasında yapılan (% 95 güven düzeyinde) kıyaslamada ise numunelerin boyutsal değişimlerinde; "N2"de % 19,66 ( $P=0,004 < 0,05$ ), "KP1"de % 24,3 ( $P=0,001 < 0,05$ ) oralarında azalma tespit edilmiştir.

## **3.2. MEKANİK ÖZELLİKLER**

### **3.2.1. Eğilme Direnci**

Katalizörlü ve katalizörsüz ısıl işlem deney gruplarında gözlemlenen eğilme direnci değerlerine ait istatistiksel değerler çizelge 3.9'da verilmiştir.

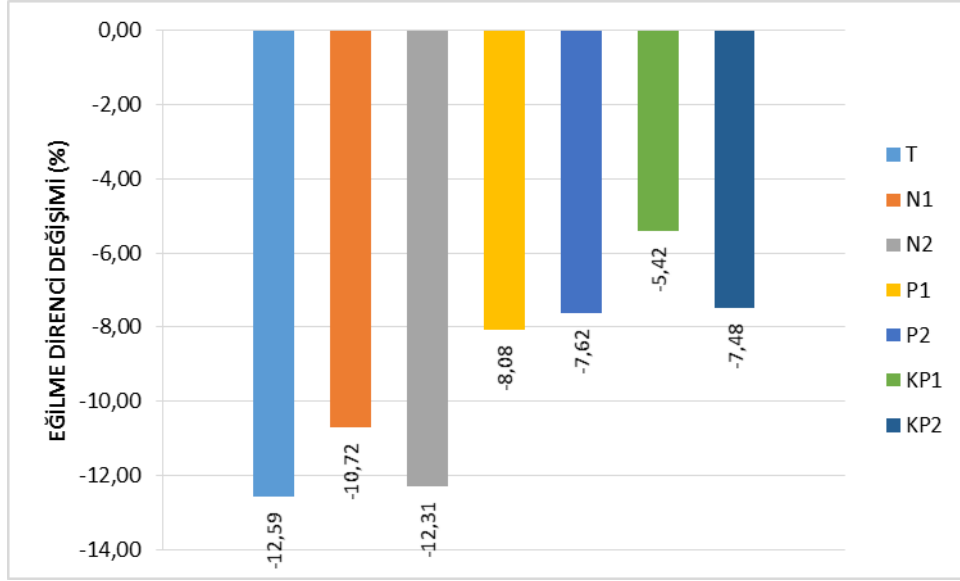
Çizelge 3.9. Eğilme direnci değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.

Deney Grubu	Deney Grubu Kodu	Katalizör Miktarı (%)	Numune Sayısı (N)	Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	
				Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
<b>Kontrol</b>	K	0	48	62,97	8,70
<b>Isıl İşlem</b>	T	0	46	55,04	7,37
<b>Katalitik Isıl İşlem</b>	N1	15	36	56,22	11,01
	N2	30	45	55,22	12,28
	P1	15	43	57,88	8,50
	P2	30	34	58,17	7,57
	KP1	15	46	59,56	9,64
	KP2	30	28	58,26	6,72

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (katalizörsüz) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.9 ve şekil 3.5'e göre katalizörlü ve katalizörsüz ısıl işlem deneyleri sonrasında numunelerin eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Kontrol numunelerinde (K) 62,97 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilen eğilme direnci değerleri ısıl işlem sonrası (T) % 12,59 oranında azalarak 55,04 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem deneyleri sonrası en düşük eğilme direnci katalizörsüz ısıl işlem grubunda (T) tespit edilirken, katalitik ısıl işlem gruplarında daha yüksek eğilme direnci değerleri göze çarpmaktadır. Katalitik ısıl işlem gruplarında en yüksek eğilme direnci değeri 59,56 N/mm<sup>2</sup> ile katalizör olarak kütlece % 15 oranında potasyum hidroksit kullanılan "KP1" numunelerinde tespit edilmiştir.

Isıl işlem deneyleri sonrasında deney gruplarının eğilme direncinde gözlemlenen değişim değerleri şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Isıl işlem gruplarının eğilme direnci değişimi (%).

Isıl işlem deneyleri sonrası numunelerin eğilme direncinde meydana gelen değişim değerlerinde; en fazla azalma % 12,59 oranı ile katalizörsüz ısıl işlem grubu “T”de, en az ise % 5,42 azalma oranı ile katalitik ısıl işlem grubu “KP1”de tespit edilmiştir. Isıl işlem deneylerinden elde edilen eğilme direncine ait bulgular literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Viitaniemi (1997), çam odunu örneklerini 180–250 °C sıcaklıklarda kısa sürelerle ısıl işleme tabi tutmuştur. Sonuç olarak, eğilme direncinin kontrol örneklerine göre % 14 oranında azaldığını belirtmiştir. Başka bir çalışmada Kamdem vd. (2002), ladin ve kayın odunlarını Rectification yöntemi ile 200 °C ve 260 °C’de ısıl işleme tabi tutmuşlardır. Deney sonucunda, eğilme direncinde % 8 ile % 40 arasında azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Diğer bir çalışmada Shi vd. (2007), ladin, çam, göknar ve kavak türleri üzerinde ısıl işlem gerçekleştirdikleri çalışmalarında, eğilme direncinde % 49’a varan oranlarda azalma tespit etmişlerdir.

Isıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin eğilme direnci üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler bağımsız örneklem t-testi ile kontrol edilmiştir. Önce; katalizörsüz ısıl işlem grubu (T), kontrol grubu (K) numuneleri ile kıyaslanarak ısıl işlemin numunelerin eğilme direncine etkisi analiz edilmiştir. Daha sonra; ısıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin eğilme direncine etkisini analiz etmek amacıyla; katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) ile katalitik ısıl işlem grupları aralarındaki

farklılıklar % 95 güven düzeyinde bağımsız örneklem t-testi ile incelenmiştir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Eğilme direnci değerlerine ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

Bağımsız Örneklem T-Testi (Eğilme Direnci)						
Isıl İşlem Grupları	Numune Sayısı (N)	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Serbestlik Derecesi (df)	T-değeri	Önem Düzeyi (P-değeri)
<b>K (Kontrol)</b>	48	62,97	8,7	-	-	-
<b>T (Kontrol)</b>	46	55,04	7,37	92	4,71	0,00
<b>N1</b>	36	56,22	11,01	80	-0,57	0,284
<b>N2</b>	45	55,22	12,28	89	-0,09	0,466
<b>P1</b>	43	57,88	8,5	87	-1,67	0,049
<b>P2</b>	34	58,17	7,57	78	-1,84	0,035
<b>KP1</b>	46	59,56	9,64	90	-2,50	0,007
<b>KP2</b>	28	58,26	6,72	72	-1,86	0,033

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (kontrol) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.10'daki bağımsız örneklem t-testine göre ısıl işlem sonrası "T" numunelerinin % 12,59 oranında azalma tespit edilmiştir ( $P=0,00 < 0,05$ ). Katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) ile katalitik ısıl işlem grupları arasında yapılan (% 95 güven düzeyinde) kıyaslamada ise; katalizör olarak potasyum hidroksit çözeltisi ile potasyum hidroksit kullanılan deney gruplarında, katalizörün etkisiyle önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Katalitik ısıl işlem grupları "P1" ve "P2"nin eğilme direnci değerlerinin katalizörsüz ısıl işlem grubuna (T) kıyasla sırasıyla % 5,1 ve % 5,6 oranlarında arttığı tespit edilmiştir ( $P=0,049 < 0,05$ ;  $P=0,035 < 0,05$ ). Diğer katalitik ısıl işlem grupları "KP1" ve "KP2"nin eğilme direnci değerlerinin ise katalizörsüz ısıl işleme (T) göre sırasıyla % 8,2 ve % 5,8 oranlarında arttığı tespit edilmiştir ( $P=0,007 < 0,05$ ;  $P=0,033 < 0,05$ ).

Yapılan çalışmada ısıl işlem sonrası numunelerin eğilme direnci değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Isıl işlem sonrası odunda meydana gelen eğilme direnci kayıplarının temel nedeni; odunun mekanik özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olan

hemiselülozların düşük ısı dayanımından dolayı uğradığı termal bozulma olarak tanımlanmaktadır (Candelier vd. 2013; Esteves and Perreira, 2009). Gerçekleştirilen ısı işlem deneyleri sonrasında, katalitik ısı işlem numunelerinin eğilme direnci değerlerinin genel olarak katalizörsüz ısı işlemden daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Buna; ısı işlem sırasında oluşan ve başta hemiselülozlar olmak üzere odun bileşenlerinde bozulmalara neden olan asit hidrolizinin, kullanılan bazik özellikteki katalizör yardımı ile yavaşlatılarak, kütle kaybının da azalmasıyla birlikte eğilme direnci kaybını da azalttığı düşünülmektedir.

### 3.2.2. Elastikiyet Modülü

Katalizörlü ve katalizörsüz ısı işlem deney gruplarında gözlemlenen elastikiyet modülü değerlerine ait istatistiksel değerler çizelge 3.11’de verilmiştir.

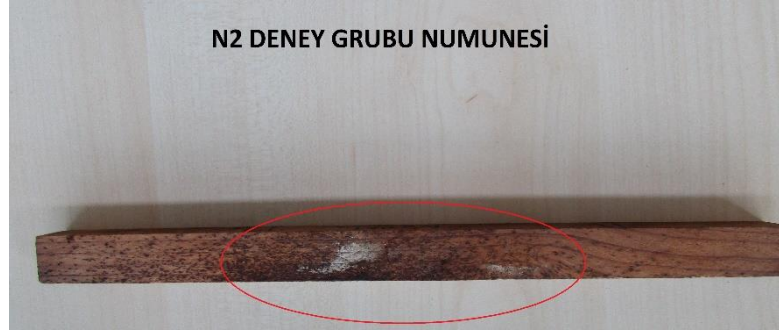
Çizelge 3.11. Elastikiyet modülü değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.

Deney Grubu	Deney Grubu Kodu	Katalizör Miktarı (%)	Numune Sayısı (N)	Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	
				Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
<b>Kontrol</b>	K	0	40	6248	742
<b>Isıl İşlem</b>	T	0	40	6474	1009
<b>Katalitik Isıl İşlem</b>	N1	15	30	6854	1175
	N2	30	40	5080	1105
	P1	15	40	6979	834
	P2	30	40	6599	1437
	KP1	15	40	7326	1089
	KP2	30	40	6752	980

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (katalizörsüz) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısı işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısı işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısı işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısı işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısı işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısı işlem grubu

Çizelge 3.11’e göre ısı işlem deneyleri sonrasında numunelerin elastikiyet modülü değerlerinde değişen oranlarda artış gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonrasında elastikiyet modülünde azalma yalnızca; % 18,69 ile katalitik ısı işlem grubu “N2”de

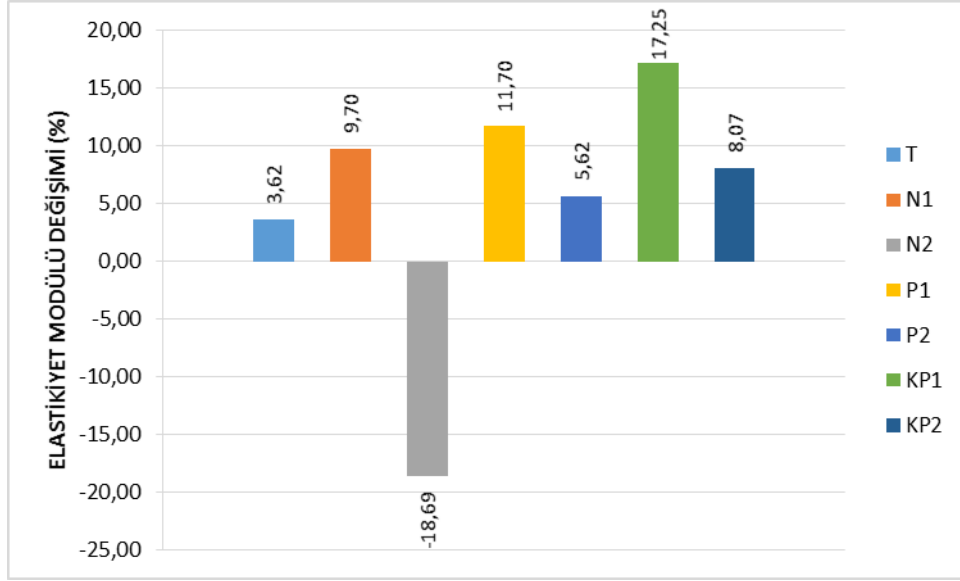
tespit edilmiştir. Bu azalmaya; % 30 oranında kullanılan katalizörün sıcaklık ve basıncın etkisiyle ısı işlem ortamına yayılarak, kuvvetli bazlara karşı düşük dayanımda olan hemiselülozlarda ve diğer odun bileşenlerinde bozulmaya neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. N2 Deney grubu numunesi.

Kontrol numunelerinde (K) 6248 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilen elastikiyet modülü değeri katalizörsüz ısı işlem sonrası (T) % 3,6 oranında artarak 6474 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem sonrası en az elastikiyet modülü artışı % 3,6 ile “T” deney grubu numunelerinde gözlemlenirken, en fazla % 17,2 artış ile “KP1” deney grubu numunelerinde gözlemlenmiştir (Şekil 3.7).

Isıl işlem deneyleri sonrasında deney gruplarının elastikiyet modülünde gözlemlenen değişim değerleri şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Isıl işlem gruplarının elastikiyet modülü değişimi (%).

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi ısıl işlem sonrası gözlemlenen kütle kaybı ile elastikiyet modülünün yakından ilgili olduğu bilinmektedir. Kısa süreli veya düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen ısıl işlem çalışmalarında gözlemlenen düşük kütle kaybı değerlerine bağlı olarak, elastikiyet modülünde az miktarda artış elde edilebilmektedir. Buna; ısıl işlem sonrası odunun hücre çeperinde daha az bağlı su bulunmasından dolayı odunun daha rijit bir hale gelerek elastikiyet modülünde artışa neden olduğu düşünülmektedir (Kocaefe vd. 2008). Bu çalışmada da katalizörsüz ısıl işlem grubunun (T) kütle kaybı değeri % 4,77 olarak belirlenirken, elastikiyet modülünde % 3,6 oranında artış gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuca benzer olarak; Esteves vd. (2007), sahil çamı üzerinde gerçekleştirdikleri ısıl işlem çalışmalarında, ısıl işlem sonrası kütle kaybı % 4'e kadar olan çam odunu numunelerinde elastikiyet modülünde % 7 civarında artış tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada Yıldız (2002b), 130 °C ve 10 süreyle gerçekleştirdiği ısıl işlem deneyinde elastikiyet modülünde % 8,4 oranında artış tespit etmiştir.

Isıl işlemde katalizör kullanımının numunelerin elastikiyet modülü üzerine etkisini araştırmak amacıyla elde edilen veriler bağımsız örneklem t-testi ile kontrol edilmiştir. Yapılan bağımsız örneklem t-testinde katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) katalitik ısıl işlem grupları ile kıyaslanarak aralarındaki farklılıklar % 95 güven düzeyinde analiz edilmiştir (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12. Elastikiyet modülü değerlerine ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.

<b>Bağımsız Örneklem T-Testi (Elastikiyet Modülü)</b>						
<b>Isıl İşlem Grupları</b>	<b>Numune Sayısı (N)</b>	<b>Aritmetik Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>	<b>Serbestlik Derecesi (df)</b>	<b>T-değeri</b>	<b>Önem Düzeyi (P-değeri)</b>
<b>K (Kontrol)</b>	40	6248	0,742	-	-	-
<b>T (Kontrol)</b>	40	6474	1,009	78	-1,13	0,132
<b>N1</b>	30	6854	1,175	68	-1,43	0,078
<b>N2</b>	40	5080	1,105	78	5,81	0,00
<b>P1</b>	40	6979	0,834	78	-2,41	0,009
<b>P2</b>	40	6599	1,437	78	-0,45	0,328
<b>KP1</b>	40	7326	1,089	78	-3,58	0,00
<b>KP2</b>	40	6752	0,98	78	-1,23	0,11

K: Isıl işlem uygulanmamış kontrol grubu, T: Isıl işlem (kontrol) grubu, N1: Katalizörlü (%15 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, N2: Katalizörlü (%30 NaOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P1: Katalizörlü (%15 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, P2: Katalizörlü (%30 KOH çözeltisi) ısıl işlem grubu, KP1: Katalizörlü (%15 Katı KOH) ısıl işlem grubu, KP2: Katalizörlü (%30 Katı KOH) ısıl işlem grubu

Çizelge 3.12'deki bağımsız örneklem t-testine göre katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) ile katalitik ısıl işlem grupları arasında yapılan (% 95 güven düzeyinde) kıyaslamada; katalitik ısıl işlem gruplarından "P1" ve "KP1" deney grupları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Katalitik ısıl işlem grubu "P1"nin katalizörsüz ısıl işlem grubuna (T) göre elastikiyet modülü % 7,8 oranında arttığı tespit edilmiştir ( $P=0,009 < 0,05$ ). Katalitik ısıl işlem grubu "KP1"nin elastikiyet modülünün ise katalizörsüz ısıl işlem grubu (T) numunelerine göre % 13,16 oranında arttığı tespit edilmiştir ( $P=0,00 < 0,05$ ). Katalitik ısıl işlem grubu "N2"nin elastikiyet modülü ise ısıl işlem grubuna (T) kıyasla % 21,5 oranında azalmıştır ( $P=0,00 < 0,05$ ).



## BÖLÜM 4

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ısıtılma işleminin ağaç malzemesinde neden olduğu eğilme direncindeki % 75'lere ulaşan oranlardaki azalmaları kontrol altına almak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ısıtılma işlem sürecinde üç farklı katalizör (% 50'lik NaOH çözeltisi, % 47'lik KOH çözeltisi ve KOH); ısıtılma işlemi gerçekleştirilecek malzemenin kütlesine % 15 ve % 30 oranlarında kullanılmıştır. Isıtılma işlem deneyleri sonrasında tespit edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Isıtılma işlem deneyleri sonrasında sodyum hidroksit çözeltisi kullanılan katalitik ısıtılma işlem grubu numunelerinde (N1 ve N2); katalizörsüz ısıtılma işlemine göre eğilme direncinde kayda değer bir farklılık bulunamamıştır. % 30 oranında NaOH çözeltisi kullanılan "N2" deney grubu numunelerinde; yüksek miktarda katalizör kullanımı sonucu katalizörün, sıcaklık ve basıncın etkisiyle ortama yayılarak kuvvetli bazlara karşı düşük dayanımda olan hemiselülozlarda bozulmaya neden olduğu düşünülmektedir. Bunun sonucunda diğer ısıtılma işlem gruplarının elastikiyet modülünde artış tespit edilirken "N2" deney grubunda % 18,69 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Hemiselülozlardaki bozulmaya bağlı olarak, mevcut hidroksil gruplarında daha yüksek oranda azalma meydana geldiği için, boyutsal kararlılık katalizörsüz ısıtılma işlemde % 29,4 oranında artarken, "N2" deney grubunda % 43,28 oranında artmıştır.

Potasyum hidroksit çözeltisi kullanılan katalitik ısıtılma işlem grubu numunelerinde (P1 ve P2); kullanılan katalizörün etkisiyle, eğilme direncinin katalizörsüz ısıtılma işlemine göre % 5,16 ve % 5,69 oranlarında arttığı gözlemlenmiştir. Katalizörsüz ısıtılma işlemde % 12,59 olarak tespit edilen eğilme direncindeki azalma, "P1"de % 8,08; "P2"de % 7,62 olarak tespit edilmiştir. Potasyum hidroksit çözeltisi kullanımı; kontrol numuneleri ile kıyaslandığında eğilme direncinde sadece % 8,08 ve % 7,62 oranlarında azalmaya neden olduğu ve boyutsal kararlılığı % 23,59 ve % 27,29

oranlarında arttırdığı için ısıtma işleminin yanı sıra mekanik dayanımın da gerekli görüldüğü alanlarda tercih edilebilir.

Yapılan ısıtma işlemi deneyleri sonrasında elde edilen bulgular incelendiğinde en iyi etki, katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılan deneylerde gözlemlenmiştir. Potasyum hidroksit kullanılan deneylerde ısıtma işlemi sürecinde oluşan ve birçok odun bileşeninde bozulmaya neden olan asit hidrolizi, kullanılan katalizör sayesinde daha dengeli bir konuma getirilmiştir. Bunun sonucunda, katalizörsüz ısıtma işlemde eğilme direnci % 12,6 oranında azalırken, % 15 oranında potasyum hidroksitin kullanıldığı KP1 örneklerinde sadece % 5,41 oranında azalmıştır. Elastikiyet modülü değerlerinde ise % 17,25 oranında artış tespit edilmiştir. Buna göre, ısıtma işlemde potasyum hidroksit kullanımı, boyutsal kararlılığı % 46,56; elastikiyet modülünü % 17,25 oranlarında arttırmaktan ve eğilme direncinde sadece % 5,41 oranında azalmaya neden olmasından dolayı ısıtma işleminin yanı sıra mekanik dayanımın da gerekli görüldüğü alanlarda tercih edilebilir.

Bu çalışmada ısıtma işlemi sonucu ağaç malzemenin eğilme direncinde meydana gelen yüksek oranlardaki azalmaların, uygun bir katalizör kullanımı ile daha dengeli bir hale getirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Buna göre, gerçekleştirilen bu çalışmanın hem bilimsel hem de endüstriyel alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

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

Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B. and Merlin, A., “Color stability of heat-treated wood during artificial weathering”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 61 (3): 221–226 (2003).

Aydemir, D. ve Gündüz, G., “Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi”, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11 (15): 71-81 (2009).

Aytin, A., Korkut, S., Ünsal, O. and Çakıcıer, N., “The Effects of Heat Treatment with the ThermoWood Method on the Equilibrium Moisture Content and Dimensional Stability of Wild Cherry Wood” *BioResources*, 10 (2): 2083-2093 (2015).

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

Bengtsson, C., Jermer, J. and Brem, F., “Bending strength of heat-treated spruce and pine timber”, *Int. Res. Group Wood Pre.*, Document no: IRG/WP 02-40242 (2002).

Boonstra, M. J., Acker, J. V., Tjeerdsma, B. F. and Kegel, E. V., “Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents”, *Annals of Forest Science*, 64 (7): 679-690 (2007).

Boonstra, M. J., “A two-stage thermal modification of wood”, Doktora Tezi, *Ghent University*, Belçika, 44-45 (2008).

Bourgois, J. and Guyonnet, R., “Characterization and analysis of torrefied wood”, *Wood Science and Technology*, 22: 143-155 (1988).

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

Candelier, K., Dumarçay, S., Petrisans, A., Desharnais, L., Gerardin, P. and Petrisans, M., “Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: Nitrogen or vacuum”, *Polymer Degradation and Stability*, 98: 677-681 (2013).

- Epmeier, H., Westin, M. and Rapp, A., “Differently modified wood: comparison of some selected properties”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19: 31-37 (2004).
- Esteves, B., Velez, M. A., Domingos, I. and Pereira, H., “Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood”, *Wood Science Technology*, 41 (3): 193-207 (2007).
- Esteves, B. and Pereira, H. M., “Wood modification by heat treatment: A Review”, *BioResources*, 4 (1): 370-404 (2009).
- Feist, W. C. and Sell, J., “Weathering behavior of dimensionally stabilized wood treated by heating under pressure of nitrogen gas”, *Wood and Fiber Science*, 19 (2): 183-195 (1987).
- Giebeler, E., “Dimensional stabilization of wood by moisture-heat-pressure treatment”, *Holz Roh-Werkst.* 41: 87-94 (1983).
- Hill, C. A. S., “Wood modification”, *John Wiley & Sons, Ltd.*, England, 99-126 (2006).
- Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M. and Rowell, R., “Steam or heat fixation of compressed wood” *Wood and Fiber Science*, 25 (3): 224–235 (1993).
- Jamsa, S. and Viitaniemi, P., “Heat treatment of wood – Better durability without chemicals”, *Proceedings of special seminar held in Antibes*, Fransa (2001).
- Johansson, D. and Morén, T. “The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood”, *Holz Roh-Werkst.*, 64: 104-110 (2006).
- Kamdern, D., Pizzi, A. and Jermannaud, A., “Durability of heat-treated wood,” *Holz Roh-Werkst.*, 60: 1-6 (2002).
- Karakaş, G., “Ahlât (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde ısı işlemin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 70-71 (2008).
- Kim, D. Y., Nishiyama, Y., Wada, M., Kuga, S. and Okano, T., “Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood”, *Holzforschung*, 55 (5): 521-524 (2001).
- Kim, G., Yun, K. and Kim, J., “Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood”, *Material and Organism.*, 32 (2): 101-108 (1998).
- Kocaeffe, D., Poncsak, S. and Boluk, Y., “Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen”, *BioResources*, 3 (2): 517-537 (2008).

Korkut, D. S. and Guller, B., “The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw .) wood”, *Bioresource Technol.*, 99 (8): 2846–51 (2008).

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

Korkut, S. ve Kocaefe, D., “Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi”, *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5 (2): 11-34 (2009).

Korkut, S., “Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıl işlem sıcaklık ve süresinin etkisi”, *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5 (1): 121-130 (2009).

Korkut, S. and Hızıroğlu, S., “Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.)”, *Materials and Design*, 30: 1853-1858 (2009).

Korkut, D. S. and Hızıroğlu, S., “Experimental Test of Heat Treatment Effect on Physical Properties of Red Oak (*Quercus falcate* Michx.) and Southern Pine (*Pinus taeda* L.)”, *Materials*, 7: 7314-732 (2014).

Kubojima, Y., Okano, T. and Ohta, M., “Bending strength of heat-treated wood”, *Journal of Wood Science*, 46: 8-15 (2000).

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

Mazela, B., Zakrzewski, R., Grzeskowiak, W., Cofta, G. and Bartkowiak, M., “Preliminary research on the biological resistance of thermally modified wood” *The First European Conference on Wood Modification*, Ghent, Belçika (2003).

Mburu, F., Dumarçay, S., Bocquet, J. F., Petrissans, M. and Gerardin, P., “Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood”, *Polymer Degradation and Stability*, 93: 401-405 (2007).

Merev, N., “Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı”, *KTÜ Orman Fakültesi*, Genel Yayın No: 210, Fakülte Yayın No: 32, Trabzon (2003)

Militz, H., “Thermal treatment of wood: European processes and their background”, *International Research Group on Wood Preservation*, Cardiff-Wales, 1-17 (2002).

Nuopponen, M., Vuorinen, T., Jamsa, S. and Viitaniemi, P., “The effects of a heat treatment on the behaviour of extractives in softwood studied by FTIR spectroscopic methods”, *Wood Sci Technol.* 37: 109–115 (2003).

Özçifçi, A., Altun, S., ve Yapıcı, F., 2009. “Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Türkiye 13-15 Mayıs (2009).

Reiterer, A. and Sinn, G., “Fracture behaviour of modified spruce wood: a study using linear and non linear fracture mechanics”, *Holzforschung*, 56: 191-198 (2002).

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

Shi, J., Kocaefe, D. and Zhang, J., “Mechanical behaviour of Quebec wood species heat-treated using ThermoWood process”, *Holz Roh-Werkst*, 65: 255-259 (2007).

Sundqvist, B., “Colour changes and acid formation in wood during heating” Doktora Tezi, *Lulea University of Technology*, İsveç, 119-120 (2004).

Sundqvist, B., Karlsson, O. and Westermarck, U., “Determination of formic-acid and acetic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness”, *Wood Sci. Techno.*, 40: 549–561 (2006).

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

Tankut, N., Tankut, A. N. and Zor, M., “Mechanical properties of heat-treated wooden material utilized in the construction of outdoor sitting furniture”, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 148-158 (2014).

TS 2471: “Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini”, *I. Baskı, TSE*, Ankara, Kasım (1976).

TS 2472: “Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini”, *TSE*, Ankara, Kasım (1976).

TS 2474: “Odunda statik eğilme dayanımının tayini”, *TSE*, Ankara, Kasım (1977).

TS 2478: “Odunda statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini”, *TSE*, Ankara, Kasım (1978).

TS 4086: “Odunda hacimsel şişmenin tayini”, *TSE*, Ankara, Aralık (1983).

TS 4176: “Odunun fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini için homojen meşçerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması”, *I. Baskı, TSE*, Ankara, Eylül (1984).

Tumen, İ., Aydemir, D., Gündüz, G., Üner, B. and Çetin, H., “Changes in the chemical Structure of thermally treated wood”, *BioResources*, 5 (3): 1936-1944 (2010).

Ünsal, O. and Ayrılmış, N., “Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum”, *Holz Roh-Werkst*, 51: 405-409 (2005).

Viitaniemi, P., “Decay-resistant Wood Created in a Heating Process”, *Industrial Horizons*, 23: 77- 85 (1997).

Winandy, J. and Lebow, P., “Modeling strength loss in wood by chemical composition. Part I. An individual component model for southern pine”, *Wood Fiber Sci.*, 33 (2): 239-254 (2001).

Yıldız, S., “Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri”, Doktora Tezi, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 240-249 (2002a).

Yıldız, S. “Effects of heat treatment on water repellence and anti-swelling efficiency of beech wood”, *International Research Group Wood Pre*, Document No: IRG/WP 02-40223 (2002b).

Zaman, A., Alen, R. and Kotilainen, R., “Heat behavior of *Pinus sylvestris* and *Betula pendula* at 200-230 °C”, *Wood Fiber Sci.*, 32 (2): 138-143 (2000).

Zivkovic, V., Prsa, I., Turkulin, H., Sinkovic, T. and Jirous-Rajkovic, V., “Dimensional stability of heat treated wood floorings”, *Drvna Ind.*, 59: 69-73 (2008).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Erkan Sami KÖKTEN 1987'de Muğla'nın Fethiye ilçesinde doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Fethiye Lisesi, Fen Bilimleri Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2006 yılında SDÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2010'da "iyi" derece ile mezun olduktan sonra Karabük Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen; 2013 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Karabük Üniversitesi Orman Fakültesi.  
Demir Çelik Kampüsü,  
Merkez / KARABÜK

Tel: (555) 558 6258

E-posta: erkansamikokten@karabuk.edu.tr



