

**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ISIL İŞLEMLE MUAMELE EDİLMİŞ GÖKNAR ODUNUNUN  
BİYOLOJİK, MEKANİK, FİZİKSEL ve DIŞ ORTAM  
DAYANIMI ÖZELLİKLERİ**

**OSMAN EMRE ÖZKAN**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık 2013  
KASTAMONU**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Osman Emre ÖZKAN tarafından hazırlanan “**ISIL İŞLEMLE MUAMELE EDİLMİŞ GÖKNAR ODUNUNUN BİYOLOJİK, MEKANİK, FİZİKSEL ve DIŞ ORTAM DAYANIMI ÖZELLİKLERİ**” adlı YÜKSEK LİSANS tez çalışmasının uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan VURDU 1. Tez Danışmanı .....  
Kastamonu Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği ABD

Doç. Dr. Ali TEMİZ 2. Tez Danışmanı .....  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği ABD

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hasan VURDU .....  
Kastamonu Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği ABD

Doç. Dr. Şeref KURT .....  
Karabük Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği ABD

Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ .....  
Kastamonu Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği ABD

Tarih 30/12/2013

Bu tez ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu YÜKSEK LİSANS DERECESİNİ onamıştır.

Doç. Dr. Ömer KÜÇÜK  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİM SAYFASI**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Osman Emre ÖZKAN

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISIL İŞLEMLE MUAMELE EDİLMİŞ GÖKNAR ODUNUNUN BİYOLOJİK,  
MEKANİK, FİZİKSEL ve DIŞ ORTAM DAYANIMI ÖZELLİKLERİ

Osman Emre ÖZKAN

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanlar:

Prof. Dr. Hasan VURDU

&

Doç. Dr. Ali TEMİZ

Bu çalışmada, iki farklı ısıl işlem yöntemi, 3 farklı sıcaklık ve sürede Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) odunlarına uygulanmıştır. Isıl işlemin Uludağ göknarı odunları üzerinde meydana getirdiği yoğunluk, su alma, hacimsel şişme, statik eğilme direnci, statik eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci gibi bazı fiziksel ve mekaniksel değişimler incelenmiştir. Ayrıca, ısıl işlem görmüş Uludağ göknarı numuneleri ile emprenye edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) numuneleri 5 ay süre ile doğal yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Doğal yaşlandırma deneyi sırasında belirli dönemlerde numunelerde oluşan renk ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri incelenmiştir. Isıl işlem yöntemi olarak oksijenin eser miktarda bulunduğu azot atmosferinde kuru sıcaklık uygulaması ve bezir yağı kullanılarak yapılan yağlı ısıl işlem ile 150, 180, 200 °C sıcaklık ve 2, 4, 6 saat süreler uygulanmıştır. Isıl işlemin etkisinin karşılaştırılması amacıyla emprenye maddeleri olarak da her türlü etkiye karşı koruyucu özellikleri bilinen CCA ve CCB emprenye maddeleri kullanılmıştır.

Azot ortamı ile yağlı ortamda olmak üzere iki farklı ısıl işlem sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Buna göre ısıl işlemin dış ortamda kullanılacak Uludağ göknarı odunları için uygulanabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

Sonuç olarak en iyi performansı veren ısıl işlem yöntemi, uygulama sıcaklığı ve süresi ile ilgili yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre: a) 200 °C'de 6 saat azot atmosferinde ısıl işlem uygulaması ile, b) 150 °C'de 2 saat yağlı ısıl işlem uygulaması sonucu odunlarda su alma, hacimsel şişme, doğal yaşlandırma renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü özelliklerinin olumlu yönde olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre, özellikle yağlı ısıl işlem görmüş odunun fiziksel, mekaniksel, renk kararlılığı ve yüzey pürüzlülüğü özelliklerinin kontrol numunelerine göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

**2013, 95 sayfa**

**Bilim Kodu: 1204/5.064**

**Anahtar kelimeler:** odun, ısıl işlem, Uludağ göknarı, sarıçam, doğal yaşlandırma, renk değişimi.

# ABSTRACT

MSc. Thesis

THE PROPERTIES of HEAT TREATED FIR WOOD on BIOLOGICAL,  
MECHANICAL, PHYSICAL and OUTDOOR DURABILITY

Osman Emre ÖZKAN

Kastamonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Forest Industrial Engineering

Advisers:

Prof. Dr. Hasan VURDU

&

Assoc. Prof. Dr. Ali TEMİZ

## **Abstract:**

In this thesis, two different thermal treatment methods at three different temperature and time were applied on Turkish fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) wood. Thermal treatment has caused some physical and mechanical changes on Turkish fir wood such as weight, density, water adsorption, and dimensional changes, static bending strength, modulus of elasticity in static bending and compression parallel to grain were examined. Also, the heat treated samples Turkish fir and impregnated Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) samples had been subjected to natural aging tests for a period of 5 months. The color change and surface roughness of wood samples were analyzed during certain periods of natural aging time. Nitrogen gas and linseed oil were used for the purpose of heat transfer medium. Heat factors 150, 180 and 200 °C and time factors 2,4 and 6 hours were used for each thermal treatment methods. Impregnated chemicals selected CCA and CCB because of their strong wood protect characteristics.

Two different heat treatment methods under nitrogen gas and linseed oil are compared statistically. The heat treated Turkish fir wood can be used at the application of the outdoor conditions.

As a result, the best performance of the heat treatment methods based on the results of the application temperature and time, the related statistical analysis show: a) 6 hours application at 200 °C in nitrogen atmosphere b) 2 hours at 150°C in oil heat treatment for water adsorption, swelling, color stability and surface roughness of wood having favorable properties. Especially, oil heat-treated wood's physical, mechanical, color stability and surface roughness properties are found to be better than untreated wood.

**2013, 95 Pages**

**Science Code: 1204/5.064**

**Key Words: wood, thermal modification, Turkish fir, Scotch pine, natural weathering, color change.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın her aşamasında yardım ve tecrübelerini esirgemeyen ve kendime örnek edindiğim Sayın Hocalarım Prof. Dr. Hasan VURDU ve Doç. Dr. Ali TEMİZ 'e, ayrıca, bilgi ve tavsiyelerinden yararlandığım Sayın Hocalarım Doç. Dr. M. Hakan AKYILDIZ, Doç. Dr. Şeref KURT, Doç. Dr. Saim ATEŞ, Yrd. Doç. Dr. H. İsmail KESİK, Yrd. Doç. Dr. Mahmut GÜR, Yrd. Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI 'ya ve diğer emeği olan hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında bana yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlileri Mehmet AKÇA, Çağrı OLGUN, Mustafa ÖNCEL, Ümmü KARAGÖZ, Özkan EVCİN 'e ve diğer tüm mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman bana manevi ve maddi destek olarak çalışmalarımı teşvik eden Aileme sonsuz teşekkürlerimi tüm kalbimle sunarım.

Osman Emre ÖZKAN

Kastamonu, Aralık 2013

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1 Dış Ortam Şartlarının Ağaç Malzeme Üzerindeki Etkileri .....	5
2.1.1 Fiziksel Özellikler Üzerine Etki.....	6
2.1.2 Kimyasal Özellikler Üzerine Etki .....	9
2.1.3 Biyolojik Özellikler Üzerine Etki .....	9
2.1.3.1 Esmer Çürüklük Mantarları .....	10
2.1.3.2 Beyaz Çürüklük Mantarları .....	10
2.1.3.3 Yumuşak Çürüklük Mantarları .....	11
2.1.3.4 Deniz Zararlıları.....	11
2.2 Termal Modifikasyon: Isıl İşlem.....	11
2.2.1 Isıl İşlemlili Odunun Yaşlandırma Dayanımı ile İlgili Çalışmalar .....	13
2.2.2 Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi ile İlgili Çalışmalar .....	15
2.2.3 Mantar Çürüklükleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	18
2.3 Emprenye Maddeleri .....	19
2.3.1 CCA (Bakır Krom Arsenik).....	19

2.3.2	CCB (Bakır Krom Bor).....	21
2.4	Kullanılan Ağaç Malzeme Özellikleri.....	21
2.4.1	Uludağ Göknaarı ( <i>Abies nordmanniana</i> subsp. <i>bornmulleriana</i> Mattf.) .....	21
2.4.2	Sarıçam ( <i>Pinus sylvestris</i> L.).....	22
3.	MATERYAL ve METOT .....	25
3.1	Materyal.....	25
3.1.1	Odun Türü .....	25
3.1.2	Emprenye Maddesi.....	25
3.1.3	Bezir Yağı .....	25
3.2	Metot .....	26
3.2.1	Isıl İşlem.....	26
3.2.1.1	Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem .....	26
3.2.1.2	Yağlı Isıl İşlem.....	27
3.2.2	Emprenye İşlemi .....	28
3.2.2.1	Retensiyon Miktarlarının Hesaplanması.....	29
3.2.3	Fiziksel Deneyler .....	30
3.2.3.1	Tam Kuru Yoğunluk Tayinleri .....	30
3.2.3.2	Hacimsel Şişme ve Su Alma Tayini .....	30
3.2.4	Mekanik Deneyler.....	32
3.2.4.1	Statik Eğilme Direnci (SED) .....	32
3.2.4.2	Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü (SEEM).....	33
3.2.4.3	Liflere Paralel Basınç Direnci (LPBD).....	33
3.2.5	Doğal Yaşlandırma Deneyleri.....	34
3.2.5.1	Renk Ölçümleri.....	35
3.2.5.2	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri .....	36
3.3	Değerlendirme .....	37

4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	38
4.1 Uludağ Göknaarı Odunu Yoğunluğu .....	38
4.1.1 Tam Kuru Ağırlık.....	38
4.1.2 Yoğunluk.....	43
4.2 Odunun Su Alması ve Hacimsel Şişme.....	47
4.2.1 Odunun Su Adsorpsiyonu .....	47
4.2.2 Odunun Su Alması Sonucu Boyutlarındaki Değişim.....	52
4.3 Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	56
4.4 Liflere Paralel Basınç Direnci .....	65
4.5 Renk Ölçümleri .....	70
4.6 Yüzey Pürüzlülüğu Ölçümleri.....	80
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR .....	88
ÖZGEÇMİŞ .....	95

## SİMGELER DİZİNİ

$\Delta E$	Toplam Renk Değişimi
ACQ	Amonyum Bakır Quat
CCA	Bakır Krom Arsenik
CCB	Bakır Krom Bor
DDAC	Didesil Dimetilamonyum Klorür
CIE	International Commission on Illumination
cm	Santimetre
dk.	Dakika
DRM	Denge Rutubet Miktarı
HG	Homojen Grup
İÖ	İşlem Öncesi
İS	İşlem Sonrası
LPBD	Liflere Paralel Basınç Direnci
mm	Milimetre
N	Newton
Ort.	Ortalama
Ra	Yüzey Pürüzlülüğü Değeri
sa.	Saat
SD	Standart Sapma
SED	Statik Eğilme Direnci
SEEM	Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü
TKA	Tam Kuru Ağırlık
TKH	Tam Kuru Hacim
TKY	Tam Kuru Yoğunluk
YAD	Yüzde Ağırlık Değişimi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 100 Yıl Süre Erozyon ve Yaşlanma Sürecinin Ahşap Malzeme Üzerindeki Etkilerinin Bir Örneği (Williams, 2005).....	7
Şekil 2.2. Kullanım Yerindeki Ahşabın Performansını Etkileyen Dış Faktörler (Feist, 1990).8	
Şekil 3.1. Vakumlu Etüv .....	27
Şekil 3.2. Yağlı Isıl İşlem Kapları.....	28
Şekil 3.3. Kastamonu Üniversitesi Emprenye Pilot Tesisi .....	29
Şekil 3.4. Su Alma ve Odunda Hacimsel Şişme Deneyi.....	31
Şekil 3.5. Statik Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Deney Cihazı .....	32
Şekil 3.6. Liflere Paralel Basınç Direnci Uygulaması .....	34
Şekil 3.7. Doğal Yaşlandırma Numuneleri Platformu .....	34
Şekil 3.8. CIELAB Renk Koordinat Sistemi (Dubey, 2010a) .....	35
Şekil 3.9. Renk Ölçüm Cihazı.....	36
Şekil 3.10. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı .....	36
Şekil 4.1. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Yüzde Ağırlık Değişimi.....	40
Şekil 4.2. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Yüzde Ağırlık Değişimi .....	40
Şekil 4.3. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Yoğunluk Değişimi.....	44
Şekil 4.4. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Yoğunluk Değişimi .....	44
Şekil 4.5. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Su Alma Oranları.....	50
Şekil 4.6. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Su Alma Oranları .....	50
Şekil 4.7. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Odunda Hacimsel Şişme Oranları	54
Şekil 4.8. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Odunda Hacimsel Şişme Oranları.....	54
Şekil 4.9. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl işlem Sonucu SED Değerleri.....	58
Şekil 4.10. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu SED Değerleri.....	58
Şekil 4.11. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl işlem Sonucu SEEM Değerleri.....	61
Şekil 4.12. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu SEEM Değerleri.....	62
Şekil 4.13. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl işlem Sonucu LPBD Değerleri .....	67
Şekil 4.14. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu LPBD Değerleri .....	67
Şekil 4.15. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu Toplam Renk Değişimi.....	72
Şekil 4.16. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl işlem Sonucu Toplam Renk Değişimi .....	72
Şekil 4.17. Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Yağlı Isıl İşlem .....	77
Şekil 4.18. Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Azot Atmosferi.....	77
Şekil 4.19. Yağlı Isıl İşlem Numunelerinde Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü.....	82

Şekil 4.20. Azot Atmosferi Isıl İşlem Numuneleri Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü.....	82
---	----

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. <i>Isıl İşlem Adımları ve Isı Transfer Yolları (Dubey, 2010a)</i> .....	13
Tablo 2.2. <i>Uludağ göknarı odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2000)</i> .....	22
Tablo 2.3. <i>Sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2000)</i> .....	23
Tablo 3.1. <i>Bezir Yağı Özellikleri</i> .....	26
Tablo 4.1. <i>Isıl İşlem Öncesi ve Sonrası Odun Yoğunluğu Değişimleri</i> .....	39
Tablo 4.2. <i>Tam Kuru Ağırlık Değişimleri Çoğul Varyans Analizi</i> .....	41
Tablo 4.3. <i>Tam Kuru Ağırlık Değişimleri Duncan Testi</i> .....	42
Tablo 4.4. <i>Tam Kuru Yoğunluk Değişimleri Çoğul Varyans Analizi</i> .....	45
Tablo 4.5. <i>Tam Kuru Yoğunluk Değişimleri Duncan Testi</i> .....	46
Tablo 4.6. <i>Denge Rutubet Miktarı ve Su Alma Oranları (%)</i> .....	48
Tablo 4.7. <i>Su Alma Oranları Varyans Analizi</i> .....	51
Tablo 4.8. <i>Odunda Hacimsel Şişme Oranları (%)</i> .....	52
Tablo 4.9. <i>Odunda Şişme Oranları Varyans Analizi</i> .....	55
Tablo 4.10. <i>Statik Eğilme Direnci (SED) ve Elastikiyet Modülü (SEEM) Değerleri N/mm<sup>2</sup></i> 57	
Tablo 4.11. <i>Statik Eğilme Direnci Çoğul Varyans Analizi</i> .....	59
Tablo 4.12. <i>Statik Eğilme Direnci Duncan Testi</i> .....	60
Tablo 4.13. <i>Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Çoğul Varyans Analizi</i> .....	63
Tablo 4.14. <i>Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Duncan Testi</i> .....	64
Tablo 4.15. <i>Liflere Paralel Basınç Direnci (LPBD) Değerleri</i> .....	66
Tablo 4.16. <i>Liflere Paralel Basınç Direnci Çoğul Varyans Analizi</i> .....	68
Tablo 4.17. <i>Liflere Paralel Basınç Direnci Duncan Testi</i> .....	69
Tablo 4.18. <i>Isıl İşlem ve Emprenye Uygulaması Öncesi ve Sonrası Renk Değerleri ve Toplam Renk Değişimi (<math>\Delta E</math>)</i> .....	71
Tablo 4.19. <i>Isıl İşlem ve Emprenye Uygulaması Sonucu Toplam Renk Değişimi Çoğul Varyans Analizi</i> .....	73
Tablo 4.20. <i>Isıl İşlem ve Emprenye Uygulaması Sonucu Toplam Renk Değişimi Duncan Testi</i> .....	74
Tablo 4.21. <i>Doğal Yaşlandırma Sonucu Oluşan Toplam Renk Değişimleri</i> .....	76
Tablo 4.22. <i>Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Çoğul Varyans Analizi</i> .....	78
Tablo 4.23. <i>Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Duncan Testi</i> .....	79
Tablo 4.24. <i>Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri</i> .....	81

Tablo 4.25. <i>Yüzey Pürüzlülüğü Çoğul Varyans Analizi</i> .....	83
Tablo 4.26. <i>Yüzey Pürüzlülüğü Duncan Testi</i> .....	84

# 1. GİRİŞ

Sanayileşme ile birlikte doğaya salınan karbondioksit gazı (CO<sub>2</sub>) salınım miktarı giderek artmaktadır. 1960'lı yıllarda Türkiye'de kişi başı yıllık CO<sub>2</sub> salınımı 0,6 ton iken 2008 yılında bu seviye 4 tona çıkmıştır (data.worldbank.org, 2012). Sera gazlarındaki artışın sebebi olarak fosil yakıtların yoğun kullanımı ve orman varlıklarındaki azalmalar gösterilmektedir (Öztürk, 2002). Ahşap malzeme doğal oluşumunda fotosentez yoluyla atmosferden CO<sub>2</sub> alarak bünyesinde karbon (C) depolayıp atmosfere oksijen (O<sub>2</sub>) vermektedir. Buna göre, ahşap malzemenin kullanım süresinin uzatılmasıyla CO<sub>2</sub>'in atmosfere salınımı da geciktirilmiş olacaktır. Uluslararası hedef olan atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını düşürmek için kullanım süresi uzatılmış bir başka ifadeyle modifiye edilmiş ahşap gelecekte kullanılacak en önemli malzemelerden biri olacaktır (Dubey, 2010a).

Ahşabın çevreye zarar vermeyecek şekilde koruyarak kullanılma zorunluluğu vardır. Çünkü, koruma önlemleri alınmadan kullanılan ahşap kısa sürede çürümekte ve yerine yeni ağaçlar kesilerek konulmaktadır. Bu durum ormanların azalmasını etkilemesi yanında kullanım ömrü kısa olan bir malzemenin kullanılması ekonomik olmayacaktır. Örneğin, Clausen'in yürüttüğü bir araştırmada her yıl Amerika'daki çürüyen ahşap malzemenin yerine yenisinin konulması için Amerika da üretilen kerestenin yaklaşık %10'unun bu iş için sarf edildiği sonucuna varılmıştır. ([http://www.fpl.fs.fed.us/research/units/durability\\_focus.shtml](http://www.fpl.fs.fed.us/research/units/durability_focus.shtml), 2013).

Günümüzde ısıtma işlemi, çevreye zarar vermeden, doğal ahşabın biyolojik dayanımını ve boyutsal kararlılığını arttırmak için etkili bir metot olarak kabul edilmektedir. Isıtma işlemi odun ürünleri geniş kullanım alanına sahiptir. Örneğin; bahçe çiti, bahçe mobilyası, sauna döşemesi, pencere doğraması, yer döşemesi, dış cephe kaplama malzemesi ve dış ortamdaki marangozluk işleri. Isıtma işlemi sayesinde ahşabın kazandığı en önemli özellik su alıp vermesinin azalmasıdır (Boonstra, 2008; Akyıldız et al., 2009). Isıtma işleminin ahşap üzerindeki diğer iki büyük avantajı ise biyolojik direncinin ve boyutsal kararlılığını arttırmasıdır (Boonstra, 2008).

Ahşap esaslı malzemeler birçok avantajlarından dolayı geçmişte ve günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, diğer biyolojik kaynaklı malzemeler gibi ahşapta biyotik ve abiyotik faktörlerinin bozundurma etkilerine açıktır. Özellikle toprak üstü kullanım yerlerinde bozundurucu faktörlerin başında ultraviyole ışınları (UV), yağmur, sıcaklık ve rüzgâr gibi etmenler yer almaktadır. Örneğin, UV etkisiyle odunda serbest radikaller meydana gelerek odun yüzeyinde bazı olumsuz kimyasal değişimler oluşmaktadır. Bunun yanında, açık hava etkisiyle odunda meydana gelen diğer değişimler; ahşap malzemenin yüzey ve yüzeye yakın yerlerindeki renk değişimi, odunun çalması ile oluşan çatlaklar, yüzey yapısının bozulması ve yağmur suları ile yıkanma olarak sayılabilir (Temiz, 2005).

Toprak üstünde kullanılan ahşap malzemede meydana gelen bu değişimlere genel olarak ahşabın yaşlanması denilir. Ancak, toprakla temas halinde veya deniz suları ile temas eden yerlerde kullanılan ahşap malzemede 1-2 yıl gibi kısa sürede meydana gelen tahribatlar ise söz konusu yaşlanma olayından farklılık gösterir. Yaşlanma süreci uzun yıllar devam ederken mantarların ve oyucu deniz zararlılarının yaptığı tahribat çok daha kısa sürede ve çok daha şiddetli olmaktadır. Bu sebepten dolayı riskin yüksek olduğu kullanım yerlerinde doğal dayanımı yüksek ağaç türleri kullanılması öncelikle düşünülmelidir. Ancak, bu tür ağaçların pahalı olmasından dolayı tercih edilen dayanımı düşük ağaç odunlarında koruyucu bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Geçmişte insanlar doğal ormanlardan yüksek kalitede ve dayanımda bol miktarlarda odun temin etmişlerdir. Bu yüksek talebin sebebi, odunun yakın çevreden kolaylıkla temin edilmesi ve işlenmesinin kolaylığı yanında işlenmesi için gerekli malzeme ve aletlerin fazla karmaşık teknoloji gerektirmemesi nedeninden kaynaklanmaktadır. Fakat, günümüzde kaliteli ve doğal dayanıklılığa sahip odun hammaddesi kaynakları hızla azalmaya başlamıştır. Bunun yanında, orman endüstrisinin ana hammadde ihtiyacını karşılamak için hızlı büyüyen ve eski doğal ormanlara nazaran dayanıksız odunlara sahip plantasyon ormanlarının kullanılması alternatif bir çözüm yolu olarak görülmüştür (Carle and Holmgren, 2008; FAO, 2009).

Ahşap malzemeyi korumaya yönelik yapılan tedbirlerin genel amacı, biyotik (böcek ve mantar gibi zararlı organizmalar) ve abiyotik (UV, yağmur vb.) faktörler tarafından odunun tahrip edilmesini engellemektir. Kullanılan odun koruyucu maddelerin bir yandan odunu korurken diğer yandan da çevreye verilecek zararın en az seviyede olması arzulanmaktadır. Kullanılan kimyasalların insan, hayvan, su ve toprağa verdiği zarar günümüzde sık sık çevreciler tarafından tartışılmaktadır. Emprenye sanayinde çevre kirliliğine neden olan faktörler; kimyasal emprenye maddeleri ve hizmet ömrünü tamamlamış emprenyeli atık ağaç malzemelerin yok edilmesi olarak sınıflandırılmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1993).

Örneğin, CCA (bakır/krom/arsenik) emprenye maddesi 70 yılı aşkın bir süredir odun koruma endüstrisinde kullanılmış; oduna zarar veren neredeyse tüm faktörlere karşı etkin koruma sağladığından dolayı dünyanın farklı bölgelerinde kabul görmüştür. Ancak, içeriğindeki arsenikten dolayı 2004 yılında Avrupa ve Amerika gibi ülkelerde insanların temas etmesi mümkün olan yerlerdeki kullanımı yasaklanmıştır (Gezer, 2003; Yıldız, 2005). Bunun için emprenye sektörü farklı emprenye maddeleri ve formülasyonlarındaki yasaklı maddelerin yerine daha çevreci maddelerin kullanımı konusundaki araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır. Bunun sonucunda arsenik içermeyen yeni nesil emprenye maddeleri geliştirilmiştir. Bu maddelerin başında ACQ (alkali bakır quat), Tanalith E ve DDAC (didesil dimetilamonyum klorür) yer almaktadır.

Ahşap korumada diğer bir yaklaşım ise odun modifikasyon yöntemleri olup bu yöntemler ise ısıtma işlemi, odunun asetillendirilmesi gibi aynı zamanda ticarileştirilmiş yöntemlerdir. Örneğin, değişik bir odun koruma yöntemi olarak uygulanan ısıtma işlemi son yıllarda herhangi bir kimyasal madde gerektirmeden uygulanması ve ahşap malzemenin boyutsal kararlılığına fayda sağlaması gibi avantajları sebebiyle yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, emprenyesi güç olarak kabul edilen Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) odunlarının ısıtma işlemi muamelesi sonucu odunun mekanik, fiziksel ve dış ortam koşullarına dayanımı özelliklerinin belirlenmesidir. Bu amaçla ısıtma işlemi uygulaması 150, 180 ve 200 °C

sıcaklık altında 2, 4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem uygulamasında 2 yöntem denenmiştir. Birinci yöntemde vakumlu etüvde inert gaz olarak azot gazı denenmiştir. İkinci yöntemde ise bezir yağı kullanılmıştır. Dış ortam doğal yaşlandırma deneylerinde kıyaslamalar için sarıçam odunlarından alınan numuneler ve bu numunelerin CCA (bakır/krom/arsenik) emprenye maddeleri ile emprenye edilen numuneleri konularak ısıl işlem ile emprenyenin koruyucu özellikleri karşılaştırılmıştır.

Hazırlanan numuneler üzerinde;

- 1.** Yağlı ve azot atmosferinde yapılan ısıl işlem sonucu odunların fiziksel özellikleri (yoğunluk, su adsorpsiyonu ve hacimsel şişmeye olan etkisi).
- 2.** Mekanik özellikleri (statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci).
- 3.** Doğal yaşlandırma deney numunelerinde ağırlık, renk ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri belirli zaman dilimlerinde incelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1 Dış Ortam Şartlarının Ağaç Malzeme Üzerindeki Etkileri

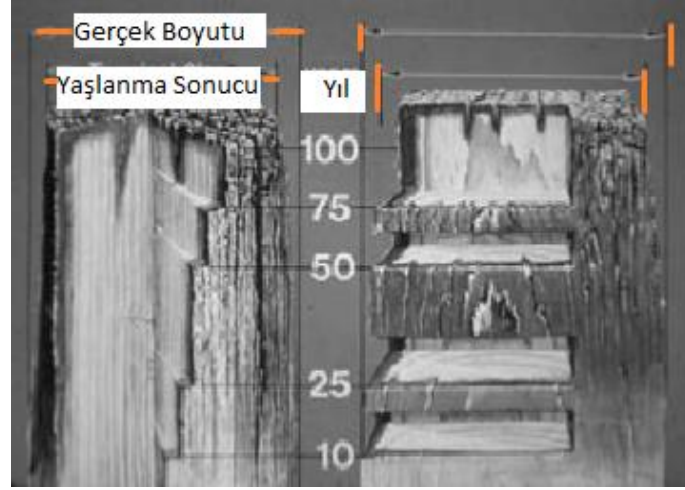
Ahşap doğal bir yapı malzemesi olarak yer üstü yapılarda kullanılmaktadır. Bunun sonucu UV ışınları, rutubet, sıcaklık, rüzgâr, kar, çığ ve atmosferik faktörler (kirletici gazlar vb.) gibi bazı abiyotik olumsuz etkilere maruz kalmaktadır. Böylece, ahşap malzemede istenmeyen bir takım değişimler meydana gelmektedir (Feist and Hon, 1984; Fengel and Wegener, 1984; Feist, 1990; Temiz, 2005; Williams, 2005; Kılıç ve Hafizoğlu, 2007). Bu olumsuz değişimlerin ahşabın özellikleri üzerinde meydana getirdiği değişiklikleri anlamak ve bir takım önlemler almak için bu alanda çalışmalar yürütülmektedir. Araştırmalarda, ahşap numuneler birkaç aydan başlamak üzere 30 yıla kadar çıkan doğal yaşlandırma veya daha kısa süreler alan benzetilmiş dış hava şartları altında deneylere tabi tutulmuştur.

Vurdu ve Kılıç (1998), “ahşap korumada kullanılan emprenye maddeleri ile ilgili standart deneylerdeki problemler” isimli çalışmada ahşap koruyucu maddelerin etkinliklerini denemek için uygulanması gereken arazi deneylerinin çok uzun sürmesi sebebiyle daha pratik ve kısa sürede sonuç alınabilen deneylerin geliştirilmesi ve uygulanması gerektiği sonucuna varmıştır. Bu bağlamda yapılan bazı çalışmalar ile arazi deney süresinin kısaltılması için laboratuvar ortamında dış hava koşulları taklit edilerek deney süresinin kısaltılması yoluna gidilmiştir. UV ışınları ve rutubet etkileri taklit edilerek hızlandırılmış veya yapay yaşlandırma adı ile yapılan çalışmaların son yıllarda arttığı söylenebilir (Feist and Rowell, 1982; Temiz et al. 2005; Temiz et al. 2006; Zhang et al. 2009; Dubey, 2010b; Matsuo et al. 2011; Ozgenc et al. 2012). Söz konusu çalışmalarda genellikle deney sonucu ahşabın yüzeyinde meydana gelen renk, kimyasal ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri ile birlikte odunun su alması, boyutsal kararlılığı gibi fiziksel özellikleri de incelenmiştir.

Nuopponen et al. (2003); İter vd. (2010); Kortelainen et al. (2011); Yıldız et al. (2011) yaptıkları çalışmalar ile 3-20 yıl süre devam eden dış ortam yaşlandırma arazi deneylerinde ahşabın genellikle biyolojik, kimyasal ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Bu çalışmalarda genellikle ahşap deney numuneleri toprak içerisine yerleştirilmiş ve böylece, ahşap her türlü abiyotik ve biyotik faktörlerin etkisi altında bırakılmıştır. Deney sonuçlarına göre ısı işlem uygulanmış ve kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun numunelerinin doğal yaşlandırma karşısında kontrol numunelerine göre daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. Hızlandırılmış ve yapay yaşlandırma deneylerinde kullanılan cihazların pahalı olması ve doğal yaşlandırma yöntemlerinin sonuçlarının güvenilirliği bu yöntemin avantajlarını oluşturmaktadır. Ancak, doğal yaşlandırma da sürelerinin uzun olması nedeniyle hızlandırılmış yöntemler üzerinde de fazlaca durulmaktadır. Dış ortam faktörlerinin tetikleme sonucu ağaç malzemedeki meydana gelen değişimleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

### **2.1.1 Fiziksel Özellikler Üzerine Etki**

İklimlerin değişmesi ile ışık şiddeti ve rutubetin miktarı atmosferde değişmektedir. Odun yüzeylerinde değişen ışık şiddeti ve rutubet etkisi ile koyuluklar oluşmakta ve odunun genişlemesi-daralması ile çatlaklar meydana gelmektedir. Ayrıca, mikroskobik ölçekte hücre çeperi bağlarının dayanımları azalmakta ve dolayısıyla makroskopik bozunmaya zemin oluşturulmaktadır. Dış ortam koşullarının etkileri devam ettikçe bu bozunan kısımlar yağmur suları ile uzaklaşır böylece, aşınma devam eder (Şekil 2.1.) (Temiz, 2005).

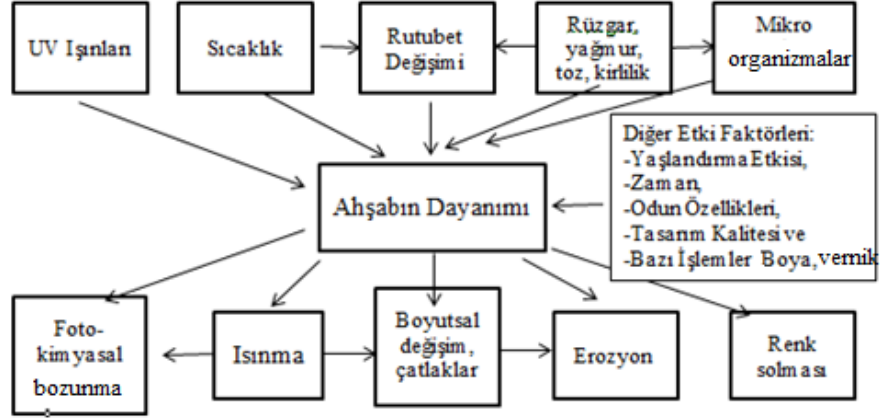


Şekil 2.1. 100 Yıl Süre Erozyon ve Yaşlanma Sürecinin Ahşap Malzeme Üzerindeki Etkilerinin Bir Örneği (Williams, 2005)

Dış ortamın etkilerine maruz kalan ahşabın yüzeyinde öncelikle sararmalar gerçekleşir. Bekleme süresi ile orantılı olarak yüzeyler ağarmakta ilerleyen aşamalarda ise koyu renge dönmektedir. Odundaki renk değişikliğinin asıl sebebi olarak; 300-400 nm dalga boylarındaki UV ışınları tarafından odun yüzeylerindeki lignin de yer alan kromoforik grupların modifiye edilmesi sonucu olduğu kabul edilmektedir (Fengel and Wegener, 1984). Ancak, bu yaşlanma olayı yavaş yavaş gerçekleşmektedir. Ayrıca, birçok iklim, ağaç türü gibi faktöründe yaşlanma olayı üzerinde etkileri vardır. Genel olarak yüksek özgül ağırlığa sahip odunlarda bozunma, yıkılma olayı yavaş ilerler. Ayrıca, aynı ağaç türü içerisinde hücre çeperi kalın olan yaz odununda da bozunma ilkbahar odununa göre yavaş ilerler (Feist and Hon, 1984).

Kapalı yaşam alanlarında kullanılan ağaç malzeme görünüşünü ve dayanıklılığını yüzyıllar boyunca saklayabildiği halde, bina dışında atmosferik şartlar altında bazı değişimler hızlı olmakta, güneş ışığı, yağmur, bağıl nem ve birçok faktör ahşabın görünüşünün ve dayanımının bozulmasında önemli rol oynamaktadırlar (Şekil 2.2.). Dış etkilerle ağaç malzemedeki öncelikle renk değişimi olmaktadır. İlk önce açık renkli ağaçlar koyu renge, koyu renkli ağaçlar ise açık renge dönüşmektedir. Daha sonraki aşamalarda ise gri tonlara doğru bir renk geçişi olmaktadır. Çeşitli hava halleri etkisi ile odunda bozunma meydana gelmektedir. Bozunma ile ahşap yüzeyler

kaba ve pürüzlü bir yapıya sahip olmakta ve rutubet alıp verme ile de lif kalkıklığı gibi kusurlar oluşabilmektedir. Yüzeyde meydana gelen çatlak ve çarpılmaların etkisi ile mantar çürüklüklerinin gelişimi hızlanmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1993).



Şekil 2.2. Kullanım Yerindeki Ahşabın Performansını Etkileyen Dış Faktörler (Feist, 1990).

Ağaç malzemenin kendi özellikleri ve kullanım yerindeki iklim faktörlerine bağlı olarak ahşapta diğer malzemeler gibi zamanla belli özelliklerini kaybetmektedir. Ancak, bazı özel kullanım yerlerinde ağaç malzemenin mekaniksel özellikleri ön plandadır. Örneğin, tel direkleri veya belirli özel bir yükü taşıma amaçlı kullanılan odun zamanla dış faktörlerin etkileriyle direncini kaybedip işlevini yerine getiremezse can ve mal güvenliği bakımından büyük risk oluştururlar (Sivrikaya, 2003).

Çeşitli yıkanma etkilerinin elastikiyet modülünü, odunun basınç sağlamlığını, patlama modülünü çok az etkilediği görülmüştür. Sağlamlık özelliğindeki bu değişimlerdeki eksiklik şüphesiz ki yüzeyi etkileyen yıkanmadan dolayı meydana gelmektedir (Ekinci, 2011).

### **2.1.2 Kimyasal Özellikler Üzerine Etki**

Yaşlanma sırasında en etkin rol oynayan faktör UV ışınlarıdır. Bütün odun bileşenleri UV ışınlarının etkisine maruz kalabilirler. Ancak, odun bileşenlerinin UV ışınlarını absorblama oranları farklıdır. Bu oranlar lignin için %80-90, karbonhidratlar için % 5-20 ve ekstraktifler için % 2'dir. UV ışınlarının odunun kimyasal bileşenleri tarafından absorblanması sonucu serbest radikallerin oluşumu ve fenolik hidroksillerin oksidasyonu tetiklenmekte böylece, metoksil ve lignin içeriğinde bir azalma, karboksil ve asiditede bir artış meydana gelmektedir (Feist and Hon, 1984; Fengel and Wegener, 1984). Ortamdaki oksijen ise odunun dış ortamdaki kimyasal değişiminde oksidant olarak görev almaktadır (Temiz, 2005). UV ışınlarının selülozu etkilediği ve bunun sonucunda kütle kaybı, alfa selüloz içeriği ve polimerizasyon derecesinde azalmalar görüldüğü tespit edilmiştir (Fengel and Wegener, 1984).

Yaşlanmaya maruz kalmış odun yüzeylerinde yapılan elektron spektroskopisi çalışmalarında bozunmaya maruz kalan odun yüzeylerinde oksijen miktarının karbon miktarına göre daha fazla olduğu ortaya konulmuştur. Sonuçta dış ortam şartları altında kalan ahşap malzemenin yüzeylerinde selüloz miktarının fazla olduğu ancak ligninin bir miktar bozunarak su etkisi ile uzaklaştığı ortaya konulmuştur (Liu, 1997). Ayrıca, suyun etkisi ile odun içerisinde suda çözünen ekstraktif maddelerin yıkaması sonucu odunda belirli kayıplar oluşacaktır.

### **2.1.3 Biyolojik Özellikler Üzerine Etki**

Odun; mantarlar, bakteriler ve böcekler gibi çeşitli biyolojik organizmalar tarafından bozundurulabilirler. Mantarlar oduna arız olup, hücre çeperi bileşenlerini yıkımlar ve kahverengi, beyaz ve yumuşak çürüklük tipinde zararlar oluştururlar. Kahverengi çürüklük mantarı, odunda önce polisakkarid bileşenlerini daha sonrada lignini tahrip etmektedir. Beyaz çürüklük mantarları ise, tüm hücre çeperi bileşenlerini tahrip edebilmektedir. Ancak, bu oranlar beyaz çürüklük mantarı tipine göre değişmektedir. Yumuşak çürüklük mantarları ise odunda sekonder çeperi tahrip etmektedirler (Sivrikaya, 2003).

### **2.1.3.1 Esmer Çürüklük Mantarları**

*Basidiomycetes* grubuna giren esmer çürüklük mantarları ahşap malzemeyi kullanım yerinde tahrip eden en önemli mantar türlerindedir. Ahşabın mantarlar tarafından çürütülmesi bir mantar sporunun çimlenmesi ile başlamakta ve miselyum oluşumu ile ileriki aşamalarda odun içerisinde yayılmaya devam etmektedir. Bu aşamada, mantar hüfleri salgıladıkları enzimlerle odun bileşiklerini parçalayarak gıda maddesi haline getirip kullanırlar (Bozkurt ve Göker, 1993).

Esmer çürüklük mantarı hücre lümenleri, reçine kanalları ve öz ışınları içerisinde gelişmekte ve selüloz iskeletini enzimatik yollarla bozundurmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1993). Öncelikle, hücre çeperi karbonhidratları tahrip edilir ve geriye modifiye edilmiş lignin kalır. Bu duruma (*Gloeophyllum sepiarium*, *Serpula lacrymans*) gibi mantar türleri örnek olarak gösterilebilir (Fengel and Wegener, 1984; Yıldız, 2005). Bu çürüklüğe esmer çürüklük denilmesinin sebebi olarak da mantarlar tarafından selülozun önce tüketilmesi geriye koyu renkli ligninin kalması gösterilebilir. Çürüklüğün ilk aşamalarında dahi önemli miktarlarda direnç kayıpları gözlemlenebilir. İleriki aşamalarda ise odun ağırlığının %65-70'ini kaybetmekte ve kullanılamaz hale gelmektedir (Bozkurt ve Göker, 1993; Kurt, 2006).

### **2.1.3.2 Beyaz Çürüklük Mantarları**

Beyaz çürüklüğün bir diğer ismi de korozyon çürüklüğü olarak bilinmektedir. Esmer çürüklük gibi *Basidiomycetes* grubu mantarları tarafından oluşturulmaktadır. Beyaz çürüklükte esas itibariyle odunun lignin içeriği bozundurulmakta, geriye beyaz lifli yapıda selüloz kalmaktadır. Bunun yanında hem lignini hem de selülozu aynı anda bozunduran beyaz çürüklük mantarları da bulunmaktadır (Fengel and Wegener, 1984; Bozkurt ve Göker, 1993; Kurt, 2006). Böylece beyaz çürüklük yapan mantarlar iki tipe ayrılır. II. tip beyaz çürüklük mantarları tüm bileşenleri aynı oranda tahrip ederken, I. tipte olanlar öncelikle lignini daha hızlı biçimde bozundurmaktadır (Yıldız, 2005).

Çoğu beyaz çürüklük mantarları yapraklı ağaçlarda zarar oluşturmaktadırlar. Beyaz çürüklüğe maruz kalan odunların mekanik dirençlerinde düşüşler ve su almaları sonucu boyutsal çalışmalarında artışlar meydana gelmektedir (Fengel and Wegener, 1984).

### **2.1.3.3 Yumuşak Çürüklük Mantarları**

Ağaç malzeme, su soğutma kuleleri veya toprak içi gibi aşırı rutubet şartlarında kullanıldığında yumuşak çürüklük mantarları arız olabilmektedir. Esmer ve beyaz çürüklükten farklı olarak yumuşak çürüklük mantarı *Ascomycetes* ve *Fungi imperfecti* sınıfına girmektedir. Genellikle yumuşak çürüklükle beraber odun hücre çeperinin S<sub>2</sub> tabakasında tahribat gözlemlenmektedir. Çürüklüğün makroskopik görünümüne bakıldığında, malzemenin orijinal biçimi muhafaza edilmekle beraber yüzeyde yumuşama ve renk değişimi oluşmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1993).

### **2.1.3.4 Deniz Zararlıları**

Denizde yaşayan yumuşakçalar ve kabuklular, tuzlu suda, kullanılan ağaç malzemeyi, sahil tesislerini, köprüleri, iskele direklerini ve küçük gemileri kısa sürede ve geniş boyutlarda tahrip etmektedir. Bu deniz zararlıları, tuzlu sularda liman ve iskelelerde kullanılan her türlü deniz içi malzemede ve küçük gemilerde tahribat meydana getirmekte, tatlı sularda ise deniz zararlılarının yaşama imkânı bulmaması sebebiyle tahribat görülmemektedir (Bozkurt ve Göker, 1993).

## **2.2 Termal Modifikasyon: Isıl İşlem**

Isıl işlem, ahşabın ısı ile muamelesi sonucu ahşaptan beklenen bazı özelliklerinin ısı yardımıyla doğaya duyarlı bir şekilde artırılması olarak tanımlanabilir (Hill, 2006). Günümüzde dayanıklı ağaç türlerinin azalması ve odun korumada yaygın olarak kullanılan kimyasal maddeler üzerinde oluşan çevresel baskılar odun koruma sektörünü çevreye duyarlı olan ısıl işleme yönlendirmektedir. Hill (2006)'e göre, odunun termal modifikasyonu ile odunun çalışmasının azaltılması ve çürümeye karşı direncin artırılmasının mümkün olduğu uzun zamandan beri bilinen bir yöntemdir. Örneğin, Afrika yerlileri yaptıkları ahşap mızrakları ısıl işlem benzeri bir metotla

sağlamlaştırmışlar ve gemileri ile ünlü olan Vikingler yaptıkları ahşap gemilerinin dış kısımlarını ısı ile kömürleştirerek korumaya çalışmışlardır.

Bilimsel anlamda ısı işleme ilgili ilk çalışmalar Dubey, (2010a) ve Hill, (2006)'in aktardığına göre Tiemann (1915, 1917) tarafından yapılmıştır. Böylece, Tiemann literatürde yüksek sıcaklık uygulamalarının odunun fiziksel özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikleri inceleyen ilk araştırmacı olarak geçmektedir. Yaptığı çalışmada 150 °C'de 4 saat boyunca kızgın buhar ile muamele edilen hava kurusu odunların rutubet alımları azalmış ve mekanik dirençlerinde hafif düşüşlerin meydana geldiğini tespit etmiştir. Dubey (2010a) 'in aktardığına göre Stamm and Hansen (1937), 205°C'de 6 saat kuru sıcaklıkla muamele edilen ağaç malzemenin denge rutubet miktarının ciddi oranlarda düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca, Stamm (1956), ısı işleme odunda meydana gelen bozulmaları incelemiştir. Daha ileriki çalışmalarında kapalı ortamda yapılan ısı işleme odunda meydana gelen bozulmanın açık sistemdeki bozulmadan çok daha fazla olduğu sonucuna varmıştır. Bunun yanında, oksijenli ortamda yapılan ısı işleme oksijensiz ortamdakine göre odundaki ağırlık kaybı ve mekanik dirençler daha fazla düşüş göstermiştir (Stamm et al. 1946). Bu bulgulara atfen Dubey (2010a), yapılacak olan ısı işleme ahşabın istenilen bazı biyolojiksel, fiziksel vb. özelliklerini iyileştirirken bunun yanında mevcut özelliklerini aşırı düşürmemesi gerektiğini belirtmektedir.

Günümüzde ısı işleme ticarileştiği ve dünyada ısı işleme üretilmiş odunların bir piyasasının oluştuğu görülmektedir. Almanya'da 'Lignostone' ve 'Lignofol' Amerika'da ise 'Staypak' ve 'Staybwood' adı altında ısı işleme süreci ticarileşmiştir. Diğer başka ısı işleme yöntemleri de ticari olarak piyasaya girmişlerdir. Bunlar arasında Thermowood© yöntemi Finlandiya, Plato© yöntemi Hollanda, Perdure© ve Retification© yöntemi Fransa'da uygulanmaktadır (Hill, 2006). Bunlara ek olarak, sıcak yağ muamelesi (OHT©) yöntemi de Almanya'da uygulanmaktadır. Bütün bu yöntemlerde 140 ile 260 °C arasında farklı sürelerde ısı transfer yolu ile ısı işleme adımları uygulanmaktadır (Tablo 2.1.). 140 °C'nin altındaki sıcaklıklarda odunda az bir değişim oluşmakta, 260 °C'nin üzerinde ise odunda aşırı miktarda bozulmalar oluşmaktadır (Militz, 2002; Hill, 2006).

Tablo 2.1. *Isıl İşlem Adımları ve Isı Transfer Yolları (Dubey, 2010a).*

YÖNTEM	ANA İŞLEM ADIMLARI	ISI TRANSFERİ	REFERANS
<b>Thermowood</b>	Yüksek Sıcaklıkta Kurutma>Yoğun Isıl İşlem>Soğutma	Su Buharı	(Syrjanen and Kanges, 2000)
<b>Platowood</b>	Hidro-Termik İşlem>Orta Şiddette Kurutma	Buhar veya Sıcak Hava	(Militz, 2002)
<b>Retification</b>	%12 Rutubetteki Odunda Isıl İşlem Uygulaması	Azot Atmosferinde Oksijen < %2	(Militz, 2002)
<b>Oil Heat Treatment</b>	%10-12 Rutubetteki Odunun Kapalı Bir Ortamda Kızgın Yağ ile Muamelesi	Bitkisel Yağ	(Sailer et al. 2000)

Isıl işlem hakkında günümüz itibariyle birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar 200 °C'ye yakın veya üzerinde sıcaklıklarda çeşitli ısı transfer ortamlarında; hava, vakum, buhar veya azot gibi masif ahşap malzeme üzerinde yapılan çalışmalardır (Yıldız, 2002; Temiz vd. 2006; Korkut vd. 2008; Korkut, 2008; Sakai et al. 2008; Ates vd. 2009; Tomak vd. 2011; Srinivas and Pandey, 2012). Bu çalışmaların sonucu olarak genellikle ısıl işlemin ahşap malzemenin boyutsal kararlılık ve biyolojik dayanımının artırdığı bulunmuştur. Bunun aksine, odunda birtakım mekanik dirençler düşmüş, renk koyulaşması oluşmuş, istenmeyen bazı çatlak gibi fiziksel kusurlar meydana gelmiştir. Bu değişimlerin yanında ısıl işlemle beraber oluşan kimyasal değişimler üzerinde yoğun araştırmaların devam ettiği görülmektedir.

### 2.2.1 Isıl İşlemlili Odunun Yaşlandırma Dayanımı ile İlgili Çalışmalar

Nuopponen et al. (2003), 225 °C'de 6 saat ısıl işlem uygulanmış sarıçam odunlarını ve ısıl işlemsiz kontrol odunlarını 7 yıl boyunca doğal yaşlandırmaya maruz bırakmıştır. Bu numuneler üzerinde spektroskopik analiz yöntemleri yardımıyla kimyasal bileşenlerde yaşlandırma sonucu meydana gelen değişimler tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ısıl işlem uygulanmayan kontrol örneklerinde lignin önemli oranlarda odundan uzaklaşmış ve aromatik bazı bileşikler ve konjuge karboksil grupları azalmıştır. Bunun sebebi olarak rutubet, çığ, yağmur ve kar gibi iklim olayları gösterilmiştir. Ancak, ısıl işlem uygulanan odunlarda bu iklim etkenleri daha

az etkili olmuştur. Bunun sebebi olarak ısıtıl işlemli odunda meydana gelen olumlu fiziksel ve kimyasal değişimler gösterilmiştir. Böylece, ısıtıl işlem uygulanan odunun uygulanmayan oduna göre doğal yaşlandırma karşısında daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Temiz vd. (2006), 240 °C'de ısıtıl işlemle muamele edilmiş odunları hızlandırılmış (UV) yaşlandırma testine tabi tutmuştur. Sonuç olarak ısıtıl işlemli odunlarda kontrol numunelerine göre daha az renk değişikliği olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yapılan su alma deneylerinde ısıtıl işlemli odunda performans artışı gözlemlenmiştir. Örneğin; kontrol örneklerinde 1 saat suya daldırma sonucunda % 62,2'lik su alma meydana gelirken ısıtıl işlemli numunelerde % 24,7'lik su alma meydana gelmiştir. Son olarak, toprak blok test ve laboratuvar çürüklük testi sonuçlarında ısıtıl işlemle muamele edilen odunlarda meydana gelen ağırlık kayıpları % 3 seviyesinin altında kalırken kontrol örneklerinde %20-30 civarında ağırlık kayıpları meydana gelmiştir.

Sakai et al. (2008), azot atmosferinde 140-240 °C'lerde 24 saat süre ile ısıtıl işlem uygulanan *Cryptomeria japonica* odunlarında bazı deneyler yapmıştır. Yapılan laboratuvar çürüklük testlerinde sıcaklık arttıkça çürütücü mantar etkisi ile oluşan ağırlık kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, toprak blok testlerinde ve toprakla temas arazi testlerinde de benzer sonuçlar bulunmuştur. Fakat, yapılan termit testleri sonucunda ısıtıl işlemli odunun (240 °C) termitlere karşı çok da dayanıklı olmadığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, ısıtıl işlemin odunun su alıp verme özelliğini azalttığı tespit edilmiştir. Bu özelliğin azalması ile mantarlara karşı olan direncin artmasının bağlantılı olduğu varsayılmıştır.

Yildiz et al. (2011), ısıtıl işlem uygulanmış kızılâğaç odunlarını toprakla temasta açık alan denemelerine bırakmıştır. Isıtıl işlem görmüş odunların kontrol örneklerine göre odun numuneleri ağırlık kayıpları bakımından daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Kontrol örneklerinde 3 yılın sonundaki ölçümlerde % 50'ye yakın ağırlık kaybı tespit edilirken 200 °C de 10 saat süreli yapılan ısıtıl işlemli örneklerde bu oran % 5'in altında kalmıştır. Odundaki ağırlık kayıplarının fiziksel ve mekanik dirençteki değişimlerde önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmaya göre ısıtıl işlemli odunlarda ağırlık kayıpları kontrol örneklerine göre çok daha iyi sonuçlar

göstermiştir. Açık alan deneylerinde ısıtma işlemiyle numunelerde meydana gelen ağırlık kayıplarındaki azalmalar ise ısıtma işlem sıcaklığının artması ile daha da azalmıştır.

Kortelainen et al. (2011), ısıtma işlemi ile 195 ve 210<sup>0</sup>C’de modifiye edilen batı ladini ve sarıçam odunlarına toprak üstü doğal yaşlandırma deneylerini (lap-joint) uygulamıştır. Kontrol numuneleri olarak işlemsiz odunlar ve tributyltin oxide (TBTO) ve CCA ile emprenye yapılan odunlar seçilmiştir. 1., 2. ve 9. yıllarda numunelerde ki değişimler incelenmiştir. 1. ve 2. yıllarda sadece işlemsiz kontrol numunelerinde renk değişimi ve hafif çürümeler gözlemlenmiştir. 9. yılın sonunda ise ısıtma işlemiyle muamele edilen örneklerde kontrol örneklerine göre önemli bir farklılıklar oluşmuştur. Emprenyesiz ve ısıtma işlemiyle işlemsiz numuneler 9 yılın sonunda kullanılamaz hale gelmiştir. Isıtma işlemiyle numunelerde ve TBTO ile emprenye edilenlerde çok hafif çürümeye belirtileri gözlemlenmiştir. CCA’lı numunelerde ise herhangi bir mantar saldırısı gözlemlenmemiştir.

### **2.2.2 Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özelliklerin Belirlenmesi ile İlgili Çalışmalar**

Bekhta and Niemz (2003), ısıtma işlemiyle birlikte ladin odunlarından meydana gelen mekanik, fiziksel ve renk değişimleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, 200<sup>0</sup>C ve üzeri sıcaklıklarda odun numunelerinde renk koyulaşması olmuştur. En fazla koyulaşma ilk 4 saatte olmuştur. Yüksek sıcaklıktaki ısıtma işlemiyle birlikte eğilme direncinde %40-50 oranlarında bunun aksine ise eğilmede elastikiyet modülünde %4-9 oranında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca, ısıtma işleminin şiddeti arttıkça odundaki rutubet alma miktarında azalma tespit edilmiştir. Son olarak odunlarda meydana gelen renk değişimleri ile mekanik dirençler arasında güçlü bir bağlantı kurulabileceği ortaya konulmuştur.

Esteves et al. (2007), sahil çamı ve okaliptüs odun örneklerini atmosferik şartlarda buharla birlikte otoklav içerisinde 2-12 saat süreyle ve 190-210 °C sıcaklık aralığında ısıyla muamele etmiştir. Çalışma sonucunda, denge rutubeti oranı çamda %46 ve okaliptüste %61 oranlarında düşmüştür. Boyutsal stabilizasyon yükselmiş ve yüzey ıslanabilirliğinin düştüğü belirlenmiştir. Bunun yanında elastikiyet modülü

çamda %5, okaliptüste %15 oranında düşmüştür. Bunun yanında, eğilme direncinde ciddi düşüşler gerçekleştiği görülmüştür.

Aydemir (2007)'in yaptığı çalışmada, ısıtma işlem görmüş göknar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri incelenmiştir. Isıtma işlem atmosferik şartlar altında 3 farklı sıcaklık (170, 190 ve 210 °C) ve 3 farklı sürede (4, 8 ve 12 saat) odun örnekleri üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar ANOVA ve Tukey testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, ısıtma işlem görmüş odunun fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerine sıcaklık ve sürenin etkileri belirlenmiştir. Sonuçlar ısıtma işlem odununun fiziksel özellikleri üzerinde özellikle de denge rutubeti ve renk değişimi üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bunun yanında sıcaklık ve sürenin artmasıyla mekanik ve teknolojik özelliklerde düşüş olduğu sonucuna varılmıştır.

Zivkovic et al. (2008), 190-210 °C'de dişbudak ve kayın ağaç odunlarına ısıtma işlem uygulamıştır. Isıtma işlem uygulanan odunlarda lif doygunluğu noktası önemli oranda düşmüş, odunun denge rutubet miktarı oda koşullarında kontrol numunelerine göre düşük çıkmıştır. Ayrıca, boyutsal kararlılıkta % 60 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Ates et al. (2009), ısıtma işlemli kızılçam odunlarında yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda; artan ısıtma işlem sıcaklığı ve süresi ile birlikte kızılçam odunlarında yoğunluk, şişme ve daralma miktarları, lif doygunluğu noktası ve denge rutubet içeriğinin azaldığını ortaya koymuşlardır. Benzer şekilde, mekanik özelliklerde de düşüş gözlemlenmiştir. Liflere paralel basınç direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve eğilme direncinde düşüşler sıcaklık ve sürenin artması ile paralel şekilde artma göstermiştir. Ancak, söz konusu bu değişimlerde uygulama sıcaklığının etkisi uygulama süresinden daha fazla olmuştur.

Aydemir et al. (2011), 170, 190 ve 210 °C sıcaklık ve 4, 8, 12 saat zaman varyasyonları ile gürgen ve Uludağ göknarı odunlarına ısıtma işlem uygulamıştır. Isıtma işlem uygulanan tüm örnek gruplarındaki odunlarda su alma ve şişme değerleri kontrol gruplarına göre düşük çıkmıştır. Ayrıca, en etkili süre 12 saat ve en etkili

sıcaklık 210 °C olarak bulunmuştur. Su alma miktarlarındaki düşüş (%44.55) Uludağ göknarında gürgen odunlarına (%42.51) göre daha fazla olmuştur.

Barboutis et al. (2011), ıhlamur (*Tilia cordata*) odunlarını 15 ve 30 dk. sürelerle 180, 200 ve 220 °C'de ısıtılma tabii tutmuşlardır. 15 dk. süre ile muamele gören ısıtılma işlemli odunlardaki meydana gelen değişimler önemsiz oranlarda olmuştur. Ancak, 30dk. süre ısıtılma işlemle muamele olunan odunların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler önemli oranlarda gerçekleşmiştir. Burada ısı ve sürenin artması ile boyutsal kararlılık, su alma vb. fiziksel özelliklerin iyileştiği mekanik özelliklerin ise kötü etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Dubey et al. (2012), *Pinus radiata* odunlarını 160-210°C'lerde bezir yağı ile ısıtılma tabii tutmuştur. Daha sonra kimyasal bileşenlerdeki değişimler, renk analizi, boyutsal kararlılık ve mantar çürüklüğüne karşı dayanım gibi deneyler yapılmıştır. Isıtılma işlemle birlikte oluşan hemiselüloz bileşenlerindeki bozulmaların odunda meydana gelen değişimlerin temel sorumlusu olduğu sonucuna varılmıştır. Renk değişimi ile ilgili olarak ısıtılma işlemle birlikte homojen ve koyu renge doğru bir geçiş olmuştur. Boyutsal kararlılıkta %60, mantar çürüklüğüne karşı dayanımda ise %36 oranında iyileşme gözlemlenmiştir.

Candelier et al. (2013), vakum ortamı, azot atmosferi ve buhar ile yapılan yeni nesil ısıtılma yöntemlerinin odun üzerinde meydana getirdiği kimyasal modifikasyonu incelemiştir. Deney numuneleri 220°C'de %12 ağırlık kaybı oluşuncaya kadar ısıtılma işlemle muamele edilmiştir. Kimyasal analizler sonucu ekstraktif bileşenler vakum ortamında yapılan ısıtılma işlemli odunlarda daha az, bunun aksine lignin, hemiselüloz ve alfa-selüloz miktarları buhar ve azot ile yapılanlara göre daha fazla çıkmıştır. Vakumlu ortamda yapılan ısıtılma işleminin daha az odun bozulmasına sebep olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, ısıtılma işleminin şiddeti ile beraber oluşan kimyasal bozulma ile çürüklük dayanımının arasında anlamlı bir korelasyon oluşturulabileceği ortaya konulmuştur.

### 2.2.3 Mantar Çürüklükleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Curling et al. (2002)'de *Pinus* spp. çam ağacı odunlarını esmer çürüklük mantarına maruz bırakmıştır. Odunlarda kimyasal değişim ve ağırlık kaybı ile bağlantılı olarak mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Çürüklüğün ilk aşamalarında önemli bir ağırlık kaybı dahi oluşmadan mekanik özelliklerde % 40 civarında düşüşler gözlemlenmiştir. HPLC (yüksek performanslı sıvı kromatografisi) ile yapılan kimyasal analizlerde çürüklüğün ilk safhalarındaki bu önemli miktardaki direnç kaybı arabinan ve galaktan isimli hemiselüloz bileşenlerindeki düşüşlerle yorumlanmıştır. Çürüklüğün ileriki safhalarında elastikiyet modülünde %75 'e varan düşüşler tespit edilmiştir. 1 yılın sonunda ise %100 'e yakın direnç kayıplarına ulaşılırken odun örneklerinde %40'a yakın ağırlık kayıpları gözlemlenmiştir.

Phuang et al. (2006), azot atmosferinde yaptıkları ısıtma işlemli odunların bazı mekanik ve biyolojik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak, 200<sup>0</sup>C'de 8 saat süre bekletilen ısıtma işlemli odunun beyaz ve esmer çürüklük mantarlarına karşı dirençli oldukları anlaşılmıştır. Buna karşın mekanik dirençte ısıtma işleminin şiddeti arttıkça sıcaklık ve süre olarak düşüşler gözlemlenmiştir. Mekanik dirençlerdeki düşüşlerin ısıtma işlemi sırasında hemiselüloz bileşenlerdeki bozulmalarla doğru orantılı olduğu ifade edilmiştir.

AWPA (Amerika ahşap koruma birliği)'nin kabul ettiği ve standartlaştırdığı 20'den fazla odun koruyucuların etkinliğini test eden yöntem bulunmakta olup bunlardan toprak blok testi en yaygın test metodudur. Ancak, bu testin sonuçlarına mantar türü, toprak rutubeti vb. birçok faktör etki etmektedir. Bu tür testler laboratuvar ortamlarında gerçekleştirildikleri için ahşap malzemenin asıl kullanım yerindeki performansı hakkında güvenilir bilgi vermeyebilmektedir. Bunun için ahşabın kullanım yerinde sergilediği performansı daha güvenilir bir şekilde elde etmek için arazi testleri uygulanmaktadır (Lebow et al. 2010).

Chaouch et al. (2010), ısıtma işlemi düzenineyi modifiye ederek ısıtma işlemi sırasında odunda meydana gelen ağırlık kaybını ölçebilen bir sistem geliştirmiştir. Sıcaklık faktörü 230<sup>0</sup>C'de sabit tutularak azot atmosferinde %5, 10 ve 15 ağırlık kayıplarına

ulaşılmak amacıyla ısıtım işlem uygulanmıştır. Daha sonra, bu numunelerde mantar çürüklük deneyleri yapılmıştır. Genel anlamda ısıtım işlemle birlikte oluşan ağırlık kaybı ile odun hücre yapısındaki karbon oranı artmakta ve mantar çürüklüğü ile oluşan ağırlık kaybı azalmaktadır. Ayrıca, ısıtım işlem sonucu oluşan ağırlık kayıpları ile mantar çürüklüğüne karşı olan direnç arasında pozitif yönde anlamlı bir bağlantı kurulabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tomak et al. (2011), yağlı ısıtım işlem ile birlikte bor bileşiklerinin kullanımının etkileşimini araştırmışlardır. Yapılan çalışmaların sonucuna göre, iki hafta süre ile yapılan suya daldırma deneylerinde yağlı ısıtım işlem ile birlikte odunlarda su alma oranında %20 azalma ve su iticilik etkisinde ise % 80-90 oranında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, bor ile yağlı ısıtım işlemin beraber kullanımı sonucu mantar çürüklüğüne karşı dirençte de bir artış söz konusu olmuştur.

Ahmed et al. (2013), sarıçam odun örneklerini 140, 170 ve 200 °C'de 1, 3 ve 10 dk'lık periyotlarla ısıtım işleme tabi tutmuşlardır. Daha sonra kontrol ve ısıtım işlemleri numunelere klimatize ortamda hızlandırılmış küf deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, küflerin büyümesini engelleyen ısıtım işlem eşik değeri olarak 170 °C'de 10 dk bulunmuştur. Ancak, endüstriyel uygulamalarda en uygun faktörlerin 200 °C de 3 dk. olacağı ortaya konulmuştur. Böylece, endüstriyel kullanım alanı geniş olan sarıçam odunlarının çevreci bir yöntem olan ısıtım işlem ile korumanın mümkün olacağı yapılan deneyler ile açığa çıkmıştır.

### **2.3 Emprenye Maddeleri**

#### **2.3.1 CCA (Bakır Krom Arsenik)**

CCA 1930'larda Hindistan'da geliştirilmiştir. İlk odun koruyucu emprenye maddelerindendir. Bazı mantarların yüksek oranda bakıra karşı dirençli olmalarına rağmen bakır çoğu mantarlar için zehirlidir. Bunun yanında arsenik de çok etkili zehirliliğe sahiptir. Arsenik, bakırın etkili olmadığı mantarlara karşı dahi etkili olmasından dolayı bakır ile beraber kullanılır. Beraber kullanılması bugün için mantıklı bir koruma tedbiridir. Ancak, bu beraberlik odundan kolayca yıkanmaya

sebebiyet verebilir. Böylece, iki maddeye krom eklenerek oduna daha iyi tutunması sağlanmıştır. Sonuç olarak bakır ve arsenikle reaksiyona giren krom; yıkanmaya dirençli, uygulandığı yüzeylerde boya uygulanabilir, ekonomik ve etkili bir emprenye maddesi oluşması için yardımcı olmaktadır (Morrell, 2008).

CCA emprenye maddesini oluşturan kimyasal bileşenler zamanla güncellenmiştir. Önceden metal tuzları kullanılmıştır. Ancak, günümüzde bazı sakıncalarından dolayı metal tuzlarının yerine bakır oksit (CuO), krom trioksit (CrO<sub>3</sub>) ve arsenik pentoksit (As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) şeklinde aktif oksit içeren formülasyonlar tercih edilmektedir. CCA emprenye maddesi genellikle hava kurusu (%12) rutubetteki ağaç malzemeye, dolu hücre metodu ile uygulanmaktadır. Ancak, bazı ülkelerde farklı yöntemlerle de CCA kullanılabilir. CCA ile emprenye edilen ağaç malzeme su ile doymuş halde olduğundan, emprenyeden sonra ve kullanımdan önce kurutulmalıdır. Ancak, kurutma sırasında titiz olunmalıdır. Çünkü kurutma esnasında oluşabilecek kusurlar malzemenin çatlamasına sebebiyet verebilir. 25 °C'de 7 gün boyunca kuruyan emprenye edilmiş yaş malzemenin yüzeyi kurur ve nakliyat için daha güvenli bir malzeme durumuna gelir. Dikkat edilmesi gereken bu ilk kuruma sürecinde yağmur vb. etkilerin tam anlamıyla fikse olmayan emprenye maddelerini yıkamasıdır. Bu sebeple, üstü kapalı yerlerde yağmur ve direk güneş ışığından etkilenmeyen yerler tercih edilmelidir. Kuruma sırasında güneş ışınlarının direk gelmesi ile emprenyeli ağaç malzemenin ilerdeki renk performansı da kötü etkilenebilir (Bozkurt ve Göker, 1993).

CCA ile emprenye yapılan ahşap malzeme kullanım yerinde çok iyi bir performans sergilemesine rağmen kullanım ömrünü tamamladıktan sonra malzemenin nasıl bertaraf edileceği konusunda giderek artan bir endişe vardır. Bu endişelerin kaynağını arsenik ve kromun doğaya ve çevreye yayılması oluşturmaktadır (Hill, 2006). Ayrıca, CCA ile emprenye yapılmış ağaç malzemelerin insanların yaşadıkları yerlerde muhtemel temas alanlarında kullanılması da bu konudaki endişelerin artmasına sebebiyet vermektedir. Örneğin, ülkelerin çocuk oyun parklarında kullanılan CCA'lı odunlarda bulunan arsenik veya kromun yutulması veya deri ile teması gibi endişeleri vardır. Bu ve benzeri sebeplerle insanlarla temas eden kullanım

yerlerinde 2004 yılından itibaren CCA kullanımını yasaklanmış veya sınırlandırılmıştır (Hill, 2006).

### **2.3.2 CCB (Bakır Krom Bor)**

CCB özellikle çocuk parkları, pergola, kameriye, çit kazığı, açıkta kullanılan bahçe ve şehir mobilyaları ile inşaatlarda taşıyıcı ve gerilimi sağlayan elemanlar, destek, çatı, kaplama, iletişim ve elektrik direkleri, maden direkleri, traversler, iskeleler, soğutma kuleleri gibi su ve toprakla sürekli teması olan ahşap malzemelerin korunması için uygun bir ahşap koruma maddesidir ([http://www.emsanemprenye.com/urunler-emprenye-maddelericcb-emprenye-maddesi\\_44](http://www.emsanemprenye.com/urunler-emprenye-maddelericcb-emprenye-maddesi_44), 2013).

CCB maddesi ağaç malzemeyi mantar, böcek, termit ve deniz zararlılarına karşı koruyucu olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, ağaç malzemenin tutuşma kabiliyetini azaltmakta ve memeli hayvanlara karşı zehirli etki göstermemektedir. Bunun yanında kokusuz olup, metaller ve cama karşı korozif etki göstermemektedir. Farklı kullanım alanlarında uygulama alanı bulan CCB emprenye maddesinin kullanım yerindeki risk düzeyine göre farklı konsantrasyonlarda uygulanması gerekmektedir (Bozkurt ve Göker, 1993).

## **2.4 Kullanılan Ağaç Malzeme Özellikleri**

### **2.4.1 Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.)**

Uludağ göknarı yurdumuza özel bir ağaç türüdür. Kuzey Anadolu'da Kızılırmak vadisinden başlayarak batı yönünde Uludağ'a kadar yayılış gösterir. Ayrıca, Türkiye'de yetişen göknar türlerine ait yayılış alanı 626,647.2 Hektar olarak bilinmektedir (Orman Atlası, 2007). Uludağ göknarı ortalama 30-40 metre boy, 1 metre çap yapar. Diri odun ve öz odun renk bakımından ayırt edilmesi zordur. Odununun rengi sarımsı beyaz ile gri beyazdır. Yıllık halka sınırları belirgindir. Yaz odunu belirgin ve koyu kırmızımsı renktedir. Normal olarak reçine kanalı yoktur. Ancak, yaralanmalar sonucu reçine kanalları oluşturularak reçine salgılayabilir. Yumuşak ve oldukça hafif oduna sahiptir. Göknaar odunu, ladin odununa benzerlik

gösterebilir fakat göknarda reçine kanalı bulunmazken ladinde reçine kanalı lup altında gözlemlenebilir. Ayrıca, ladin odunu daha sarımsı renkte ve boyuna kesitleri ipek gibi parlaktır (Bozkurt ve Erdin, 2000). Uludağ göknarı odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. *Uludağ göknarı odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2000)*

<b>Yoğunluk</b>	$D_0= 0,41 \text{ gr/cm}^3$	<b>Elastikiyet Modülü</b>	E-mod= 10.000 N/mm <sup>2</sup>
	$D_{12}= 0,43 \text{ gr/cm}^3$	<b>Eğilme Direnci</b>	$\sigma_E= 71 \text{ N/mm}^2$
<b>Daralma Yüzdesi</b>	$\beta_{r=} \% 3,8$	<b>Çekme Direnci</b>	$\sigma_{\text{ç}}//= 82 \text{ N/mm}^2$
	$\beta_{t=} \% 7,6$	<b>Basınç Direnci</b>	$\sigma_B//= 46 \text{ N/mm}^2$
	$\beta_{v=} \% 11,5$	<b>Dinamik Eğilme Direnci</b>	a= 0,41 kN/cm

Odunları iyi ve çabuk kurutulur, çatlama ve dönüklüğe eğilimleri azdır, işleme özellikleri iyidir. Doğal dayanımı düşük olduğu için biyolojik zararlı olan mantar ve böcek gibi canlıların saldırılarına karşı hassastır. Bazı anatomik kusurlardan dolayı emprenye edilebilirliği zayıftır. Bina inşaatında iç kısımlarda, mobilya yapımında ara ve iç bölmelerde, ambalaj ve kâğıt sanayinde kullanılmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

#### 2.4.2 Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)

Türkiye ve Dünyadaki en güney yetişme sınırı Kayseri-Pınarbaşı'ndadır. En sık yayılış yaptığı yerler Kuzey Anadolu'nun iç kısımları ve buradan orta Anadolu'ya geçiş yapar. Karadeniz kıyılarında Of-Sürmene arasında deniz seviyesine kadar iner. Doğu Anadolu'da 2700m'ye çıkar. Sarıçam genel olarak Türkiye'de 1000-2500 m'ler arasında toplu yayılış gösterir. Genç yaşlarda uç kısımlara doğru kısalan dallar oluşturarak gittikçe daralan bir tepe yapısı oluşturan sarıçam; düz, dolgun, budaksız, uzun ve kaliteli gövdeler oluşturmaktadır. Bulunduğu çevre şartlarına göre 20-25 m arasında boylanabilir. Genç birey gövdelerinde, yaşlıların üst kısımlarında, kalın dallarda "tilki sarısı" rengindeki kabuk belirgin bir şekilde ince levhalar halinde ayrılır. Oluşturdukları kök sistemleri oldukça kuvvetlidir. Toprak istekleri bakımından kanaatkâr olan sarıçam gevşek, derin, nemli kum toprakları tercih eder.

Dona ve kuraklığa karşı dayanıklıdır. Türkiye’de toplam yayılış yaptığı alan 1,239,578.2 hektardır (Orman Atlası, 2007).

Diri odunu 5-10 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, öz odunu kırmızımsı sarı ve kırmızımsı kahverengi renktedir. Kesimden sonra daha da koyulaşır. Yıllık halka sınırları belirgin ve hafif dalgalıdır. Yaz odunu koyu renkli olup, açık renkli ilkbahar odunu ile zıtlık oluşturur. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş ani, bazen yavaş olur. Reçine kanalları ladin ve melezen büyük ve çok sayıda, yaz odununda açık, ilkbahar odununda koyu lekeler halinde bulunur. Radyal ve teğet kesitte ise, boyuna çizikler halinde yer alır. Odunu mattır. Taze haldeki odunları reçine kokuludur (Bozkurt ve Erdin, 2000). Sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.3.’de verilmiştir.

Tablo 2.3. *Sarıçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2000)*

<b>Yoğunluk</b>	$D_0=0,49 \text{ gr/cm}^3$	<b>Elastikiyet Modülü</b>	$E\text{-mod}= 11.700 \text{ N/mm}^2$
	$D_{12}=0,52 \text{ gr/cm}^3$	<b>Eğilme Direnci</b>	$\sigma_E= 98 \text{ N/mm}^2$
<b>Daralma Yüzdesi</b>	$\beta_r= \% 4$	<b>Çekme Direnci</b>	$\sigma_{\text{ç}}/= 102 \text{ N/mm}^2$
	$\beta_t= \% 7,7$	<b>Basınç Direnci</b>	$\sigma_B/= 54 \text{ N/mm}^2$
	$\beta_v= \% 12,1$	<b>Dinamik Eğilme Direnci</b>	$a= 0,39\text{-}0,70 \text{ kN/cm}$

Sarıçam keresteleri kolay kurutulur, çatlamaya ve dönüklüğe eğilimi azdır. İyi işlenir ve yapıştırılır. Yüzey işlemlerinde reçine sızıntısı sebebiyle bazen güçlük çıkartabilir. Öz odunları oldukça dayanıklı, diri odunu mantar ve böcek gibi biyolojik zararlılara karşı hassastır. Odun rutubeti %25’den fazla olduğu zaman ve sıcaklıkta 20-25 °C’de ise mavi renklenme oluşumu sıklıkla gözlenmektedir. Öz odunu orta derecede güç, diri odunu kolay empenye edilmektedir. Binalarda iç ve dış maksatlarla, pencere doğramalarında, empenye edildiğinde toprak ve su ile temas eden kullanım yerlerinde, maden direği, tel direği ve demiryolu traversi olarak, kaplama levha, kontrplak, lif ve yonga levha ile kâğıt endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Çok farklı kullanım alanlarına sahip olan odunu oldukça dayanıklı ve reçinelidir. Çok kolay işlenen odunu düzgün ve parlak bir satıh verir, boya, cila ve tutkalı kolay emer ve iyi çivi tutma kabiliyetine sahiptir. Bu özellikleri içinde barındıran sarıçam odunu yapı malzemesi olarak; kapı, pencere, tavan ve taban kaplaması olmak üzere mobilyacılık ve oymacılık sektörlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Orman Atlası, 2007).

### **3. MATERYAL ve METOT**

#### **3.1 Materyal**

##### **3.1.1 Odun Türü**

Yapılan ısıtım işlem uygulaması ve deney çalışmalarında kullanılan odun türü olarak Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) odunu kullanılmıştır. Deney numunelerinde Uludağ göknarı kullanılmasının amacı, emprenyesinin zor olması ve dayanıksız türler arasında yer almasıdır. Ayrıca, ısıtım işlemle muamelesi sonucunda kullanım yerlerinde daha etkin değerlendirilebilme olanağının belirlenmesidir. Doğal yaşlandırma deneyi referans numuneleri için Uludağ göknarı odunlarının yanında sadece renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü değişimlerinde kontrol amaçlı olarak emprenye edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunları kullanılmıştır. Kastamonu yöresinde bulunan yerel kereste firmalarından kuruluşu %10-15 civarında olan keresteler temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan ahşap malzemenin diri odundan olması ve numunelerin aynı ağaçtan elde edilmesine dikkat edilmiştir.

##### **3.1.2 Emprenye Maddesi**

Referans numuneleri olarak kullanılacak emprenyeli sarıçam odunlarında bakır içerikli CCA ve CCB emprenye maddeleri kullanılmıştır. Gökmar deney numunelerinde ise sadece CCA kullanılmıştır. CCB emprenye maddesi Bolu Ramtaş emprenye firmasından ve CCA maddesi ise Senkron firmasından temin edilmiştir.

##### **3.1.3 Bezir Yağı**

Bezir yağı Yeni Turan Bezir Yağ San. ve Tic. A.Ş firmasının ürettiği Türk nevi bezir yağı adı ile temin edilmiştir. Bezir yağı doğal keten tohumu ve diğer bazı bitkisel karışımların sıcak baskılama yöntemi ile üretilmektedir. Viskozitesi yüksek olan bu yağ ısı ile beraber akıcı bir kıvama gelmektedir. Bezir yağının odun koruyucu bir madde olarak kullanıldığı önceden beri bilinmektedir. Sürme, batırma

vb. basit yöntemlerle uygulama işlemi yapılmaktadır. Dahası kaynatılan bezir yağı içerisinde ahşabın bekletilmesi ile yağlı ısıl işleme benzeyen yöntemlerde önceden beri uygulanmaktaydı (Hamzaoğlu, 2013). Bezir yağının günümüzde ve geçmişte yaygın olarak kullanılmasının sebeplerinden biride uygulamadan kısa bir süre sonra kuruyarak temiz yüzeyler bırakması olarak gösterilebilir. Bezir yağının alındığı firma tarafından yayınlanan güvenlik bilgi formunda (Yeni Turan, 2011) yer alan bazı bilgiler Tablo 3.1.'de verilmektedir.

Tablo 3.1. *Bezir Yağı Özellikleri*

<b>Kompozisyon ve İçerik Bilgileri:</b>	Bitkisel keten tohumu yağının belirli ve oldukça yüksek bir sıcaklıkta ısıtılması ile elde edilen standartlara uygun özelliktedir.
<b>Tehlike Tanımlaması:</b>	Zararsızdır, tehlikeli madde içermez.
<b>Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri:</b>	Görünüş: Berrak ve Şeffaf Renk: Sarıya bakan kahverengi Yoğunluk: 0,880-0,890 gr/ml Kaynama Noktası: > 340 °C Sabunlaşma İndisi: 188-195 Kül: En fazla %0,5 Uçucu Madde: En fazla % 0,3
<b>Zehirlilik Bilgileri:</b>	Yağ, zehirli madde olarak kabul edilmez. Ağızdan alındığında yan etkisi yoktur.

## 3.2 Metot

### 3.2.1 Isıl İşlem

#### 3.2.1.1 Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem

Isıl işlemde önce odun numunelerinde yer alan fazla rutubet ısıl işlem sırasında buharlaşarak basınç oluşturmaması için ön kurutma ile % 8 civarına indirilmiştir. Isıl işlem uygulaması  $\pm 1$  °C duyarlılıkta çalışan vakumlu etüvde yapılmıştır. Öncelikle, odun numuneleri ile birlikte içerisindeki hava vakumlandıktan sonra ortama azot gazı verilmiş daha sonra 3 ayrı sıcaklık 150 °C, 180 °C, 200 °C'de ve 2, 4, 6 saat süreyle işlem gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1.). Vakum -1 bar seviyesine getirilmiş daha sonra

-0,5 bar seviyesine gelene kadar ortama azot gazı verilmiştir. Ortamda oksijen varlığına sebebiyet verecek durumlardan kaçınılmıştır. Isıl işlem bittikten sonra etüv açılmayarak 100 °C'ye kadar numunelerin yavaş soğuması sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Vakumlu Etüv

### ***3.2.1.2 Yağlı Isıl İşlem***

Yağlı ısıl işlemde önce numuneler %8 ile %10 arası bir rutubet derecesine indirilmiştir. Yağlı ısıl işlemde madde 3.2.1.1'de açıklanan ısıl işlemde uygulanan sıcaklık ve süreler aynen uygulanmıştır. Bezir yağı bulunan ısıl işlem kapları etüv içerisine en az 4 saat önce konularak istenilen sıcaklığa gelene kadar ısıtılmıştır. Daha sonra numuneler bezir yağına bırakılmış ve süre faktörü başlatılmıştır (Şekil 3.2.). Isıl işlemin tamamlanmasından sonra numuneler etüvde  $103 \pm 2$  °C'de 48 saat süre ile değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir.



Şekil 3.2. Yağlı Isıl İşlem Kapları

### 3.2.2 Emprenye İşlemi

Emprenye metodu olarak dolu hücre yöntemi seçilmiştir. Dolu hücre yönteminin amacı, ağaç malzemenin hücrelerini tamamen emprenye maddesi ile doldurarak, en fazla absorpsiyon sağlama esasına dayanmaktadır. Genellikle bu metotta suda çözünen emprenye maddeleri kullanılmaktadır.

Bozkurt ve Göker (1993)'e göre dolu hücre metodu beş uygulama aşamasından oluşmaktadır;

- 1- Ön vakum işlemi,
- 2- Emprenye maddesi verilmesi,
- 3- Basınç periyodu,
- 4- Emprenye maddesinin kazandan dışarı alınması,
- 5- Son vakum.



Şekil 3.3. Kastamonu Üniversitesi Emprenye Pilot Tesisi

Emprenye işleminden önce göknar ve sarıçam odunları TS 11072’de belirtilen ağaç malzemenin emprenye ye hazırlanması aşamalarına uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Numunelerin rutubetlerinin %25’den fazla ve %8’den aşağı olmamasına dikkat edilmiştir. Emprenye işleminde vakum-basınç yöntemi Kastamonu Üniversitesi emprenye pilot tesisinde uygulanmıştır (Şekil 3.3.). 30 dk. -0,4 bar vakumun ardından 60 dk. 4,5 bar basınç altında numuneler emprenye edilmiştir. Toprak üstü yaşlandırma deney ve referans numuneleri için kullanılacak emprenye maddelerinin çözeltisi toprak üstü kullanım yerlerinde CCA ve CCB için önerilen  $4 \text{ kg/m}^3$  retensiyon miktarına ulaşmak için %1 olarak seçilmiştir. Retensiyonu hesaplamak için emprenyeden önce ve hemen sonra numunelerin ağırlıkları 0,01 gr hassasiyetle tartılmıştır. Emprenyeden sonra ıslak olan numuneler yavaş bir kurumaya bırakılarak en az 1 hafta bağlanma (fiksasyon) için üstü kapalı bir ortamda bekletilmiştir.

### ***3.2.2.1 Retensiyon Miktarlarının Hesaplanması***

Doğal yaşlandırma referans numunelerinde uygulanan emprenye sonrası retensiyon miktarı hesaplanması yapılmıştır. CCA gibi suda çözünen tuzlar gurubuna giren emprenye maddelerinin oduna emdirilen miktarı TS 5986’ya göre aşağıda verilen eşitlik 3.1’e göre hesaplanmıştır.

$$Retensiyon = \frac{G \times C}{V} \times 10 \left( \frac{kg}{m^3} \right) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

G= Örnek tarafından emilen emprenye maddesi miktarı (gr)

C= Emprenye maddesi çözeltisinin konsantrasyonu (%)

V= Örnek hacmi (cm<sup>3</sup>)

### 3.2.3 Fiziksel Deneyler

#### 3.2.3.1 Tam Kuru Yoğunluk Tayinleri

TS 2471 ve TS 2472'e göre tam kuru ağırlık ve hacim değerleri kontrol ve ısıl işlem numuneleri için ölçülmüştür. Etüv içerisinde 103±2 °C'de 48 saat kurutulan numunelerde tam kuru ağırlığa ulaşmak için 2 saat ara ile yapılan son iki tartımdaki farkın en fazla 0,001 gr olana denk bekletilmeye devam edilmiştir. Böylece, tam kuru ağırlığa ulaşan 2x2x3 cm (teğet x radyal x boyuna kesit) boyutlarındaki numunelerde hacimlerinin tespiti için 0,01 mm hassasiyetli elektronik kumpas ile ölçümleri alınmıştır. Tam kuru yoğunluk değerleri eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$Tam\ Kuru\ Yoğunluk = \frac{TKA}{TKH} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

TKA: Tam kuru ağırlık (gr)

TKH: Tam kuru hacim (cm<sup>3</sup>)

#### 3.2.3.2 Hacimsel Şişme ve Su Alma Tayini

Odunda hacimsel şişme ve su alma özelliğinin tayini için TS 4084'e göre deney ve kontrol numuneleri 2x2x3 cm (teğet x radyal x boyuna kesit) olarak hazırlanmıştır. Bütün numunelerin tam kuru ağırlıkları ve tam kuru hacimleri ısıl işlem öncesi tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulamasından sonra aynı numuneler 20±2 °C'de ve % 65±5 bağıl nemde 2 hafta süre ile denge rutubetine gelinceye kadar iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Denge rutubetine gelen numunelerin ağırlık ve hacimleri

ölçülerek denge rutubet miktarları tespit edilmiştir. Daha sonra bu numuneler saf su içerisine batırılarak 20dk., 40dk., 12sa., 24sa., 48sa. ve 70sa. süre aralıkları ile ağırlık ve boyutsal (radyal ve teğet) değişimler ölçülmüştür (Şekil 3.4.). Eşitlik (3.3) ve (3.4) yardımı ile kontrol ve ısıtılmış odunlarda su alma oranı ve hacimsel şişme miktarları tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Su Alma ve Odunda Hacimsel Şişme Deneyi

$$\text{Su Alma Oranı (\%)} = \frac{A2 - A1}{A1} \times 100 \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

A1: Tam kuru ağırlık (gr)

A2: Belirli periyotlarla suda bekleyen numune ağırlığı (gr)

$$\text{Hacimsel Şişme (\%)} = \frac{B2 - B1}{B1} \times 100 \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

B1: Tam kuru hacim (cm<sup>3</sup>)

B2: Su alma deneyinden sonra bulunan hacim (cm<sup>3</sup>)

### 3.2.4 Mekanik Deneyleer

#### 3.2.4.1 Statik Eğilme Direnci (SED)

Statik eğilme direnci için TS 2474 standardı esas alınarak numuneler hazırlanmıştır. 2x2x30 cm (teğet x radyal x lif yönü) boyutlarında hazırlanan numuneler 20±2 °C’de ve % 65±5 bağıl nemde denge rutubetine gelene kadar kondisyonlanmışlardır. Deney numunelerinin dijital kumpas ile radyal yönü genişlik teğet yönü kalınlık olmak üzere boyutları ölçülmüştür. Deneyleeri yapmak için bilgisayar kontrollü Shimadzu marka universal test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5.). Örneklerin eğilme direnci değerleri elde edilen ham veriler üzerinden eşitlik (3.5) yardımıyla bulunmuştur.

$$SED = \frac{3 \times F_{max} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte;

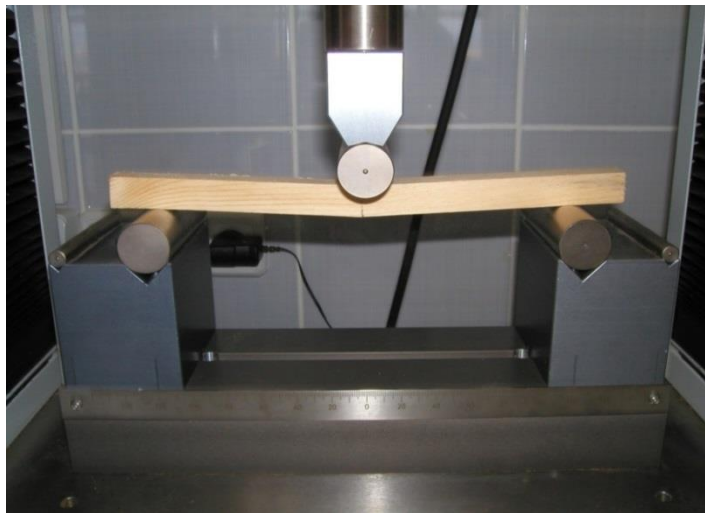
SED: Statik Eğilme Direnci (N/mm<sup>2</sup>)

F<sub>max</sub>: Kırılma anındaki en yüksek kuvvet (N)

L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b: Örneğin genişliği (mm)

h: Örneğin kalınlığı (mm)



Şekil 3.5. Statik Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Deney Cihazı

### 3.2.4.2 Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü (SEEM)

Elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci deney örnekleri verileri kullanılmış ve deneylerde TS 2478 esaslarına uyulmuştur. Eşitlik (3.6) yardımı ile SEEM hesaplanmıştır.

$$SEEM = \frac{(F_2 - F_1) \times L^3}{4 \times b \times h^3 \times s} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte;

$F_2 - F_1$ : Yük sehim diyagramı oranlılık bölgesi yük artışı (N)

$F_2$ : Maksimum kuvvetin yaklaşık olarak %40'ı (N)

$F_1$ : Maksimum kuvvetin yaklaşık olarak %10'u olarak kabul edilmiştir (N)

s:  $F_2 - F_1$  kuvvetleri arasındaki uzama miktarlarının farkı, sehim farkı (mm)

### 3.2.4.3 Liflere Paralel Basınç Direnci (LPBD)

Liflere paralel basınç direnci deneyi için TS 2595 esaslarına göre 2x2x3 cm boyutlarında numuneler ile Shimadzu marka Universal Test cihazında yapılmıştır (Şekil 3.6.). Örneklerin enine kesit boyutları 0,01 mm duyarlı bir kumpasla ölçülmüştür. Deney düzeneği örnekler 1 dk. sonunda kırılacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki kuvvet ( $F_{max}$ ) ölçülerek liflere paralel basınç direnci (LFBD) eşitlik (3.7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$LFBD = \frac{F_{max}}{a \times b} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte;

$F_{max}$ : Kırılma anı maximum kuvvet (N)

a x b: Teğet ve radyal kenar uzunluğu (mm)



Şekil 3.6. Liflere Paralel Basınç Direnci Uygulaması

### 3.2.5 Doğal Yaşlandırma Deneyleri

Doğal yaşlandırma numuneleri 1x7,5x20 cm (radyal x teğet x lif yönü) boyutlarında her değişken grupta 4-5 adet numune olacak şekilde hazırlanmıştır. Platform masif ağaç malzemenen yapılmıştır. Numuneler platform üzerinde yer alan kanallara geçirilerek zemin ile temas etmeyecek bir şekilde sabitlenmiştir. Platform Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi binasının teras tipi üzeri açık çatısına yeryüzüne  $^090$  açı ile yerleştirilmiştir. Ayrıca, numunelerin boyuna yönü güneye bakacak şekilde platform yönlendirilmiştir. Numunelerin aylık periyotlarla renkleri ve yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.7.) .



Şekil 3.7. Doğal Yaşlandırma Numuneleri Platformu

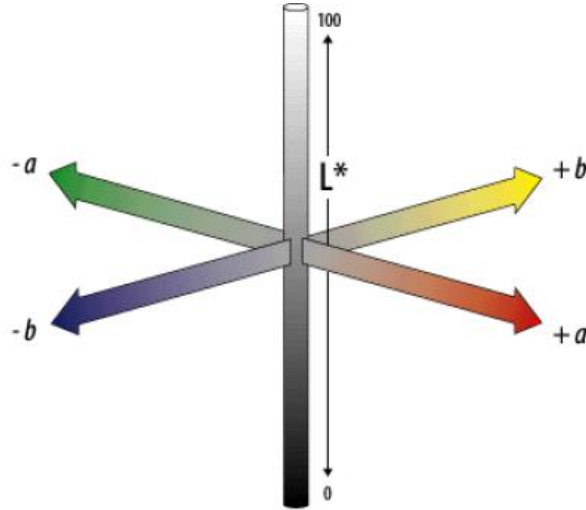
### 3.2.5.1 Renk Ölçümleri

Doğal yaşlandırma numunelerindeki ısı işlem ve yaşlandırma sonucu oluşan renk farklılıkları CIE (L\*a\*b\*) renk ölçüm yöntemi ile belirlenmiştir. 3 farklı koordinattan alınan renk bilgileri eşitlik (3.8)'de yerine koyularak toplam renk değişimi hesaplanmıştır (Şekil 3.8.).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3.8)$$

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  değerleri peş peşe yapılan renk ölçümü sonucunda ulaşılan değerlerinin birbirinden çıkarılması ile bulunmuştur.

$L^*$  renk koordinatı siyah (0)'dan beyaza (100);  $a^*$  renk koordinatı kırmızıdan (+) yeşile (-) ve  $b^*$  ise sarı renkten (+) maviliğe (-) doğru olan renkleri belirtmektedir (Dubey, 2010a).



Şekil 3.8. CIELAB Renk Koordinat Sistemi (Dubey, 2010a)

Bu yöntem ile toplam renk değişimi 1 numuneden 8 adet ölçüm hazırlanan şablon yardımıyla alınmıştır (Şekil 3.9.). Isıl işlemlili, emprenyeli ve kontrol numunelerinden ilk renk ölçümleri numune yüzeylerinden alındıktan sonra doğal yaşlandırma deneyine başlanmıştır. Dış ortam koşullarına devamlı surette maruz kalan örneklerden belirli dönemlerde renk ölçümleri alınmıştır. Fotoğrafları da çekilen örneklerin görsel olarak değişimleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.9. Renk Ölçüm Cihazı

### 3.2.5.2 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Shimadzu SJ-201 marka taşınabilir yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ile yaşlandırma numunelerinin araziye konulmadan önce her bir numuneden 3 adet ölçüm alınmıştır. Daha sonra ilerleyen deney aşamalarında yüzey pürüzlülükleri daha önceki ölçüm yerlerine yakın olmak şartıyla alınmış ve veriler karşılaştırılmıştır Şekil (3.10.).



Şekil 3.10. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Ölçümler sırasında yüzey pürüzlülüğü cihazının hareketli elmas iğne ucu liflere dik konumda tutulmuştur. Ölçüm sonucunda 3 farklı parametre cihaz tarafından verilmektedir. Bunlar;

Ra: Ortalama Pürüzlülük Değeri (ortalama yüzey eksenindeki sapsmaların aritmetik ortalaması)

Rz: On Nokta Pürüzlülüğü Ortalama Değeri (en yüksek 5 tepe ve en derin 5 çukur)

Rq: En Büyük Pürüzlülük Değeri (en yüksek tepe ve en derin çukur toplamı) (Aydın ve Çolakoğlu 2003). Bu çalışmada ise Ra ortalama pürüzlülük değeri incelenmiştir.

### **3.3 Değerlendirme**

Elde edilen veriler SPSS 19 paket programı kullanılarak ve % 95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir. Veriler ve bunlar arasındaki istatistiksel farklılık çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Elde edilen farklılıkların şiddetlerinin belirlenmesinde ise Duncan homojen gruplar testi uygulanmıştır.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Uludağ Göknarı Odunu Yoğunluğu

Alınan deney numunelerine iki farklı ısıtım yöntemi, azot atmosferinde ve yağlı ortamda olmak üzere 3 farklı sıcaklık (150, 180, 200 °C) ve sürelerde (2, 4, 6 saat) uygulanmıştır. Deney numunelerine ait tam kuru ağırlık ve yoğunluk değerleri sonuçları Tablo 4.1. 'de verilmiştir. Ayrıca, Tablo 4.1.'deki verilerden yola çıkılarak yüzde ağırlık değişim verileri hesaplanarak grafiğe dönüştürülmüştür (Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.).

#### 4.1.1 Tam Kuru Ağırlık

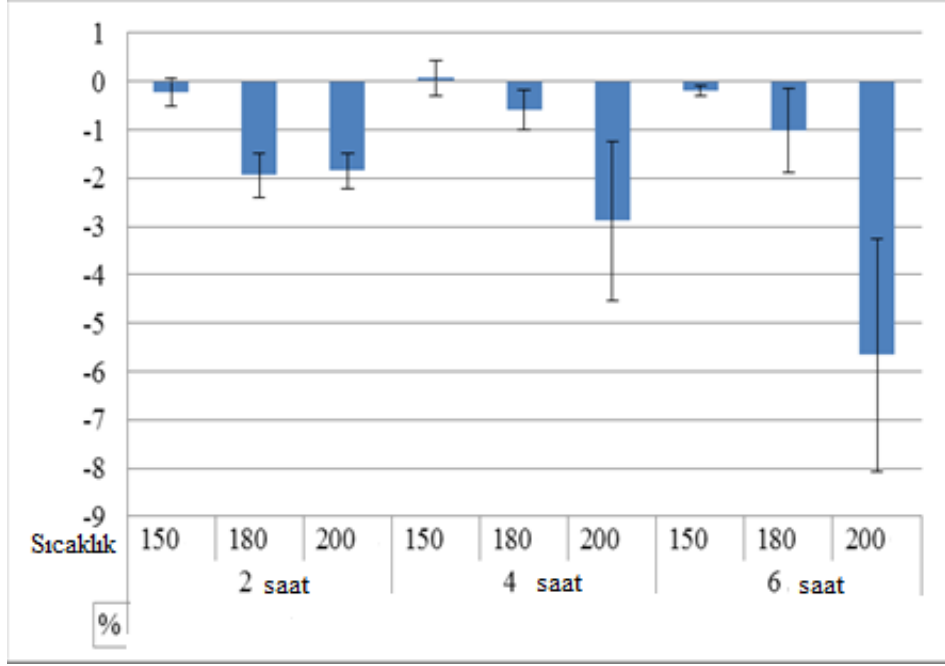
Tablo 4.1'de görüldüğü üzere ısıtım işlem öncesi göknar odun numunelerinin ortalama tam kuru ağırlık değeri 4,150 gr bulunmuştur. Azot atmosferinde yapılan ısıtım işlem uygulandıktan sonra tam kuru numune ağırlıkları ise en düşük 3,953 gr ve 3,966 gr değerleri 200 °C'de 4 ve 6 saat sürelerde, en yüksek değer ise 4.251 gr ile 150 °C'de 2 saat sürede gözlemlenmiştir. Genel manada azot atmosferinde uygulanan ısıtım işlem sonucu Uludağ göknarı odun numunelerinde ağırlık kaybının olduğu söylenebilir (Şekil 4.1.).

Diğer taraftan, yağlı ısıtım uygulaması sonucu tam kuru ağırlık değerlerinde genel manada bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 4.2.). Örneğin, en düşük 4.667 gr ve 4,726 gr değerleri 200 °C'de 4 ve 6 saat en yüksek değer ise 5,856 gr ile 150 °C'deki 2 saat süre uygulamasında görülmüştür. Buradaki artışın sebebi olarak yağlı ısıtım sırasında odun numunelerinin bir miktar yağı emmesi ve yüzeylerde tutunması gösterilebilir. Bu alanda yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur (Dubey, 2010a; Tomak vd. 2011; Akbaş, 2012) .

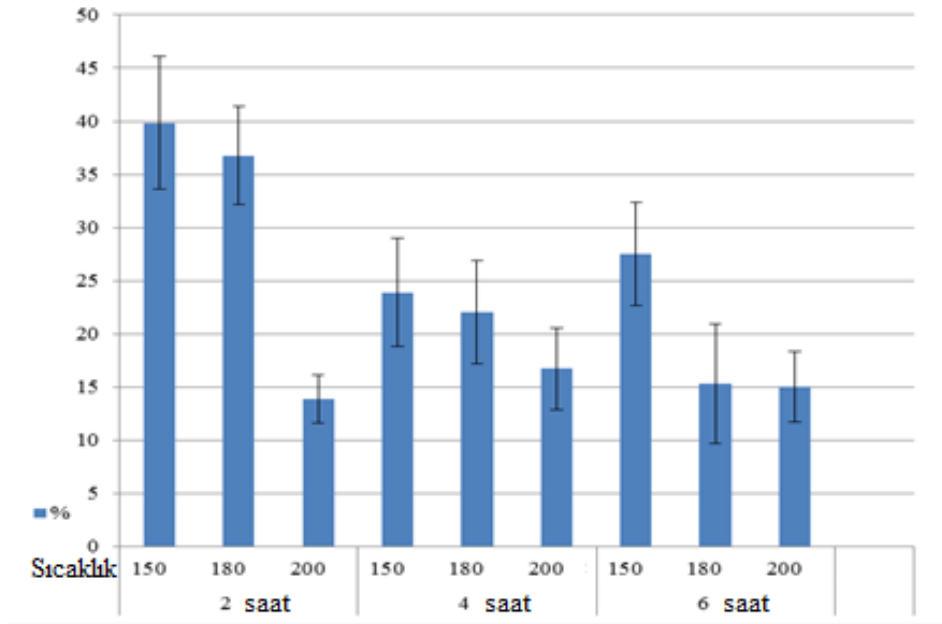
Tablo 4.1. Isıl İşlem Öncesi ve Sonrası Odun Yoğunluğu Değişimleri

GRUP	SÜRE (saat)	SICAKLIK (°C)	ISIL İŞLEM ÖNCESİ				ISIL İŞLEM SONRASI			
			Tam Kuru Ağırlık (gr)		Tam Kuru Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )		Tam Kuru Ağırlık (gr)		Tam Kuru Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	
			Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD*
<b>KONTROL</b>		-	4,150	0,216	0,371	0,017	-	-	-	-
<b>Azot Ortamında Isıl İşlem</b>	<b>2</b>	150	4,260	0,227	0,372	0,015	4,251	0,237	0,373	0,018
		180	4,084	0,232	0,359	0,017	4,005	0,233	0,360	0,019
		200	4,074	0,117	0,358	0,007	4,069	0,134	0,361	0,010
	<b>4</b>	150	4,195	0,195	0,373	0,016	4,198	0,199	0,374	0,017
		180	4,082	0,188	0,361	0,016	4,088	0,219	0,367	0,018
		200	4,069	0,099	0,366	0,008	3,953	0,156	0,360	0,012
	<b>6</b>	150	4,058	0,088	0,364	0,008	4,063	0,089	0,365	0,008
		180	4,120	0,241	0,367	0,023	4,116	0,257	0,368	0,025
		200	4,203	0,120	0,371	0,012	3,966	0,173	0,359	0,015
<b>Yağlı Isıl İşlem</b>	<b>2</b>	150	4,204	0,251	0,382	0,019	5,856	0,166	0,528	0,016
		180	4,049	0,080	0,369	0,011	5,538	0,238	0,497	0,021
		200	4,149	0,235	0,380	0,021	4,724	0,237	0,428	0,019
	<b>4</b>	150	4,162	0,271	0,379	0,025	5,148	0,266	0,472	0,029
		180	4,066	0,236	0,367	0,021	5,006	0,356	0,445	0,032
		200	4,000	0,104	0,364	0,014	4,667	0,123	0,421	0,012
	<b>6</b>	150	4,121	0,235	0,375	0,024	5,318	0,397	0,477	0,040
		180	4,210	0,286	0,386	0,020	4,854	0,345	0,441	0,027
		200	4,086	0,225	0,374	0,024	4,726	0,337	0,431	0,035

\*SD: Standart Sapma



Şekil 4.1. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Yüzde Ağırlık Değişimi



Şekil 4.2. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Yüzde Ağırlık Değişimi

Uygulanan farklı ısıl işlem yöntem ve parametrelerin tam kuru ağırlık değişimleri üzerindeki etkilerini belirlemek için Tablo 4.2.'de sonuçları verilen çoğul varyans analizi yapılmıştır. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre tam kuru ağırlık değişimleri üzerinde, uygulanan ısıl işlem yöntemleri arasındaki fark % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Isıl işlem yöntemlerinden azot atmosferinde ısıl işlem süre ve sıcaklık faktörleri ise tam kuru ağırlık değişimleri üzerinde etkilerinin önemsiz olduğu bulunmuştur. Buna karşın yağlı ısıl işlem uygulamasında tam kuru ağırlık değişimleri üzerinde süre, sıcaklık, süre ve sıcaklık varyans kaynaklarının anlamlı olduğu görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre etkileri anlamlı çıkan varyans kaynaklarını karşılaştırmak amacı ile Duncan testi uygulanmıştır (Tablo 4.3.) .

Tablo 4.2. Tam Kuru Ağırlık Değişimleri Çoğul Varyans Analizi

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
Isıl İşlem Yöntemleri Arası Fark		30,867	1	30,867	463,738	0,000
AZOT	Süre	0,027	2	0,014	0,335	0,717
	Sıcaklık	0,230	2	0,115	2,840	0,068
	Süre/Sıcaklık	0,142	4	0,035	0,874	0,486
BEZİR YAĞI	Süre	3,529	2	1,765	22,829	0,000
	Sıcaklık	8,176	2	4,088	52,886	0,000
	Süre/Sıcaklık	1,804	4	0,451	5,835	0,000

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

Tablo 4.3.'de yer alan tam kuru ağırlık değişimleri duncan testi ısıl işlem faktörü sonuçlarına göre, yağlı ısıl işlem grubu A homojen grubunda yer alarak 5,093 gr, kontrol grubu ve azot atmosferi ise B homojen grubunda yer alarak sırası ile 4,150 gr ve 4,079 gr değerlerini almışlardır. Böylece, yağlı ısıl işlem sonucu meydana gelen ağırlık artışlarının % 95 güven düzeyinde anlamlı bir farklılık oluşturmuştur. Ancak,

azot atmosferinde yapılan ısıl işlemlerle odunlarda ise tam kuru ağırlık değerlerinde kontrol grubuna göre düşüşler gerçekleşse de anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

Diğer taraftan yağlı ısıl işlemde sıcaklık faktörünün tam kuru ağırlık değişimleri üzerindeki etkisi %95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. 150 °C'de en yüksek değer olmak üzere 180 °C ve 200 °C sıcaklıklar farklı homojen gruplarda yer almıştır. Yağlı ısıl işlemde sıcaklık derecesinin yükselmesi ile tam kuru ağırlık değerleri düşüş göstermektedir. Ancak, en yüksek sıcaklık derecesi 200 °C dahi yağlı ısıl işlem numuneleri kontrol grubundan daha fazla tam kuru ağırlık değerlerine sahip olmuştur. Yağlı ısıl işlem uygulamasının süre faktörüne göre tam kuru ağırlık değişimlerine olan etkisi anlamlıdır. Duncan testinde 2 saat süre A homojen grubunda, 4 ve 6 saat ise B homojen grubunda yer alırken kontrol numuneleri ise C homojen grubunda yer almıştır (Tablo 4.3.).

Tablo 4.3. Tam Kuru Ağırlık Değişimleri Duncan Testi

ISIL İŞLEM FAKTÖRÜ					
Ortam		Ortalama Değer (gr)	Homojen Gruplar		
Bezir Yağı		5,093	A		
Kontrol		4,150	B		
Azot		4,079	B		
SICAKLIK FAKTÖRÜ					
AZOT ATMOSFERİ			BEZİR YAĞI		
SICAKLIK	Ort. Değ.	HG	SICAKLIK	Ort. Değ.	HG*
150 °C	4,171	A	150 °C	5,441	A
Kontrol	4,150	AB	180 °C	5,133	B
180 °C	4,070	AB	200 °C	4,706	C
200 °C	3,996	B	Kontrol	4,150	D
SÜRE FAKTÖRÜ					
AZOT ATMOSFERİ			BEZİR YAĞI		
SÜRE	Ort. Değ.	HG	SÜRE	Ort. Değ.	HG
Kontrol	4,150	A	2 saat	5,373	A
2 saat	4,108	A	6 saat	4,966	B
4 saat	4,080	A	4 saat	4,940	B
6 saat	4,048	A	Kontrol	4,150	C

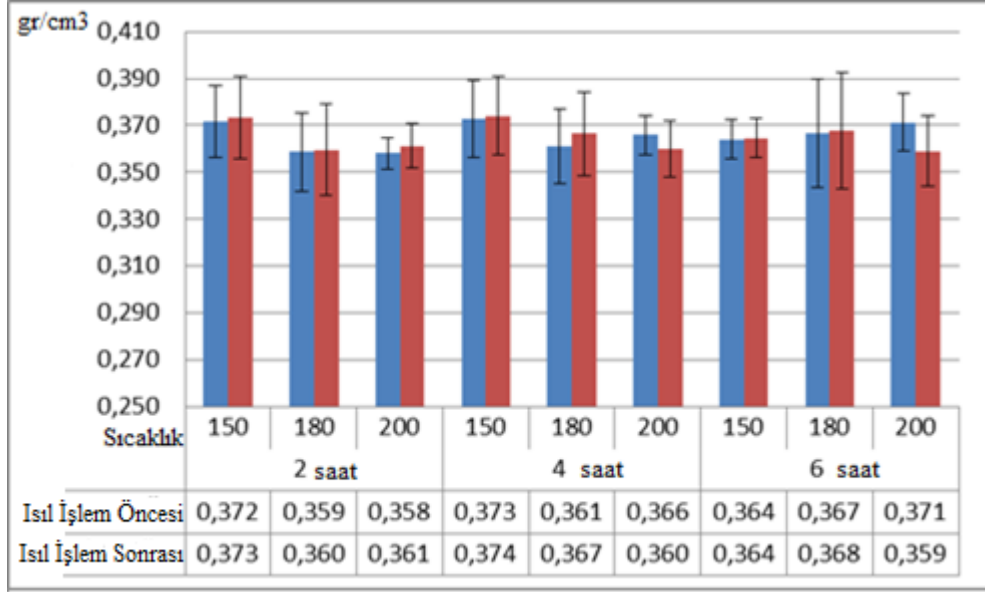
\*HG: Homojen Gruplar

#### 4.1.2 Yoğunluk

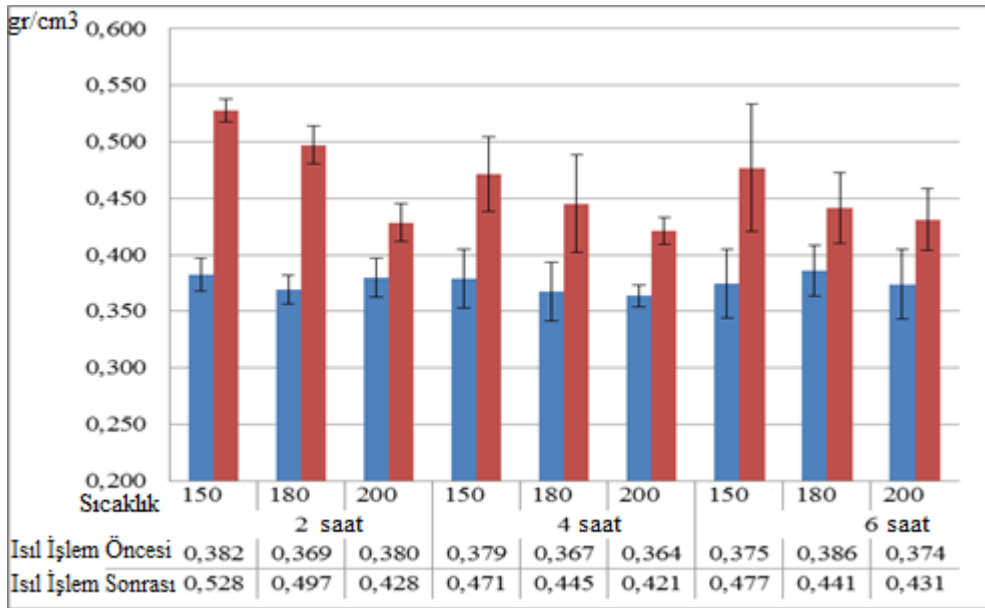
Tablo 4.1.'deki veriler dikkate alınarak hazırlanan azot atmosferi için Şekil 4.3. ve yağlı ısıtma işlemi için Şekil 4.4.'de sıcaklık ve süreye bağlı olarak tam kuru yoğunluk değişim grafikleri  $\text{gr/cm}^3$  olarak görülmektedir.

Tablo 4.1.'de ısıtma işlemi uygulaması sonucu odunlarda yoğunluk değişimi değerlerine göre yağlı ısıtma işlemi uygulanan numunelerin tam kuru yoğunluk değerlerinde artış olmuştur. Isıtma işlemi öncesi yoğunluk değerleri  $0,382 \text{ gr/cm}^3$  o yağlı ısıtma işlemi uygulamasında 2 saat süre ve  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de yoğunluk  $0,528 \text{ gr/cm}^3$  olarak en yüksek değeri almıştır. Ayrıca, diğer uygulanan tüm yağlı ısıtma işlem parametrelerinde de odunlarda yoğunluk artışı meydana gelmiştir. Söz konusu yağlı ısıtma işlemi uygulamasında yoğunluklar arttığı için olumlu bir durum olarak görülebilir. Çünkü, diğer geleneksel ısıtma işlem uygulamalarının odunlarda genellikle ağırlık kaybı oluşturduğu bilinmektedir (Hon and Shiraishi, 2001; Rowell and LeVan-Green, 2005). Buda odunda bazı direnç kayıplarına sebebiyet vermektedir. Yağlı ısıtma işlemi ise bu dezavantajın düşük olması beklenmektedir.

Buna göre, yağlı ısıtma işlemi yoğunluk değerlerinin genellikle arttığı buna karşın azot atmosferinde yapılan ısıtma işlemi sonucunda yoğunluk değerlerinin işlem öncesine göre önemli bir değişiklik göstermediği görülmektedir. Yalnız, yağlı ısıtma işlemi yoğunluk artışının nedeninin odun yapısına verilen yağın depolanması veya bağlanmasından kaynaklandığı varsayılmaktadır. Bunun yanında odun yapısında herhangi bir bozunma olup olmadığı hakkında bir varsayımda bulunmak mümkün görülmemektedir.



Şekil 4.3. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Yoğunluk Değişimi



Şekil 4.4. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Yoğunluk Değişimi

Uygulanan farklı ısıtım yöntem ve parametrelerin tam kuru yoğunluk ağırlık değişimleri üzerindeki etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi uygulanmış ve sonuçları Tablo 4.4.'de verilmiştir. Tam kuru yoğunluk varyans analizi sonuçlarına göre ısıtım yöntemleri arasındaki fark %95 güven düzeyinde önemlidir.

Ayrıca, yağlı ısıtma işlem parametreleri olan süre, sıcaklık, süre ve sıcaklığın ortaklaşa etkilerinin tam kuru yoğunluk değişimleri üzerinde % 95 güven düzeyinde anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre anlamlı çıkan faktörlerin etkilerini derecelendirmek amacı ile Duncan testi uygulanmıştır (Tablo 4.5.).

Tablo 4.4. Tam Kuru Yoğunluk Değişimleri Çoğul Varyans Analizi

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
Isıl İşlem Yöntemleri Arası Fark		0,270	1	0,270	488,072	0,000
AZOT	Süre	0,000	2	0,000	0,143	0,867
	Sıcaklık	0,001	2	0,000	1,525	0,227
	Süre/Sıcaklık	0,000	4	0,000	0,375	0,825
BEZİR YAĞI	Süre	0,027	2	0,013	20,268	0,000
	Sıcaklık	0,064	2	0,032	48,279	0,000
	Süre/Sıcaklık	0,012	4	0,003	4,658	0,002

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

Tablo 4.5. duncan testi sonuçları incelendiğinde, yağlı ısıtma işlem uygulanan numunelerin en yüksek yoğunluk değerini alarak kontrol ve azot atmosferinde yapılan ısıtma işlem numunelerinin homojen gruplarından ayrıldığı görülmektedir. Ağırlık değişimleri ile paralel olarak yağlı ısıtma işlem numunelerinde de düşük sıcaklık ve sürelerin yoğunluk değerlerini artırdığı görülmüştür. Azot atmosferinde uygulanan ısıtma işlemde sıcaklık ve süre faktörlerinin tam kuru yoğunluk değerleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür

Tablo 4.5. Tam Kuru Yoğunluk Değişimleri Duncan Testi

ISIL İŞLEM FAKTÖRÜ					
Ortam		Ortalama Değer		Homojen Gruplar	
Bezir Yağı		0,460		A	
Kontrol		0,371		B	
Azot		0,365		B	
SICAKLIK FAKTÖRÜ					
AZOT			BEZİR		
SICAKLIK	Ort. Değ.	HG	SICAKLIK	Ort. Değ.	HG*
Kontrol	0,371	A	150 °C	0,492	A
150 °C	0,371	A	180 °C	0,461	B
180 °C	0,365	A	200 °C	0,427	C
200 °C	0,360	A	Kontrol	0,371	D
SÜRE FAKTÖRÜ					
AZOT			BEZİR		
SÜRE	Ort. Değ.	HG	SÜRE	Ort. Değ.	HG
Kontrol	0,371	A	2 saat	0,484	A
4 saat	0,367	A	6 saat	0,450	B
2 saat	0,365	A	4 saat	0,446	B
6 saat	0,364	A	Kontrol	0,371	C

\*HG: Homojen Gruplar

Dubey (2010a) 'in yaptığı çalışmada yağlı ısıl işlem uygulamasının yüksek sıcaklık ve sürelerle göre düşük sıcaklık ve sürelerde uygulandığı zaman ağırlık kazanımlarının artırdığı sonucuna varmıştır. Ancak, yüksek sıcaklık derecelerinde odun ağırlıklarında düşüşlerin meydana geldiğini belirtmektedir. Dubey'in sonuçlarından farklı olarak bu tez çalışmasında yüzde ağırlık değişim oranları bir miktar daha fazla çıkmıştır. Bu durum ise çalışmalarda kullanılan yağların karakteristik özelliklerinin farklı olmasına bağlanılabilir.

Azot atmosferinde yapılan ısıtma işlemi sonucu yüzde ağırlık kaybı ve yoğunluk kaybı değerleri uygulama sıcaklığı ve süresinin şiddeti ile birlikte artmaktadır. Tam kuru yoğunluk değerleri de bu yönde ağırlık değişimleri ile paraleldir. Ancak, bu kayıplar azot atmosferindeki yapılan çalışmada önemli düzeyde olmamıştır. Literatürde odunun ısı ile olan ilişkisinde genellikle önemli miktardaki ağırlık kayıplarının 200 °C'den sonra başladığı belirtilmektedir. Ayrıca, daha yüksek sıcaklıklarda 250 °C'de odundaki tüm bileşenlerde termal bozulma başlamakta, 270 °C'nin üzerinde ise odunda piroliz olayı başlamaktadır (Fengel and Wegener, 1984; Rowell and LeVan-Green, 2005).

## **4.2 Odunun Su Alması ve Hacimsel Şişme**

Kontrol ve ısıtma işlemi deney numunelerine ait denge rutubeti miktarı ve su alma deneylerine ait sonuçlar Tablo 4.6.'da verilmiştir.

### **4.2.1 Odunun Su Adsorpsiyonu**

Tablo 4.6.'da yer alan verilere göre deney numunelerinde kontrol numunelerine göre azot atmosferi ve yağlı ısıtma işlemi uygulaması sonucu denge rutubet miktarı ve tüm su alma oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Genel olarak yağlı ısıtma işlemi numunelerindeki su alma oranlarının azot atmosferine göre daha düşük miktarda olduğu görülmüştür (Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.) . 70 saat süre ile su alma deneyine tabi tutulan kontrol numunelerinde su alma oranı % 123 olmuştur. Bu oran azot atmosferi ısıtma işlemli deney numunelerinde % 86 ile %113 arasında kalmıştır. En düşük değer 200 °C'de 6 saat sürede ısıtma işlemi uygulanan numunelerde görülmüştür. Ayrıca, azot atmosferinde yapılan ısıtma işlemi görmüş numuneler denge rutubetine ulaşmaya kadar % 65 bağıl nem ve 20 °C'de iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Bu numuneler içerisinde en düşük oranda rutubet miktarı yine 200 °C'de 6 saat sürede ısıtma işlemi uygulanan numuneler göstermiştir.

Tablo 4.6. Denge Rutubet Miktarı ve Su Alma Oranları (%)

GRUP	SICAKLIK (°C)	SÜRE (saat)	DRM*	20 dakika	40 dakika	12 saat	24 saat	48 saat	70 saat	
Azot Ortamında Isıl İşlem	KONTROL	-	10,7 (0,84)	44,92 (14,24)	54,66 (18,21)	90,30 (27,7)	103 (32,61)	113,42 (37,42)	123,48 (38,30)**	
	150	2	9,93 (0,17)	30,43 (5,35)	36,37 (5,53)	63,47 (7,26)	74,12 (9,57)	83,24 (12,93)	91,38 (13,48)	
		4	8,40 (0,08)	29,74 (14,25)	36,07 (15,68)	62,25 (14,87)	74,52 (12,07)	85,19 (5,98)	96,28 (4,34)	
		6	8,35 (0,27)	30,25 (6,54)	35,97 (6,75)	67,07 (7,82)	78,47 (9,27)	82,94 (9,03)	93,06 (10,70)	
	180	2	7,87 (0,58)	17,18 (3,96)	21,70 (4,94)	54,59 (11,36)	67,42 (10,31)	78,92 (8,57)	89,27 (8,33)	
		4	6,37 (0,08)	18,77 (6,94)	25,10 (8,58)	59,15 (9,87)	72,09 (12,76)	76,81 (7,07)	88,22 (8,19)	
		6	7,03 (0,32)	19,84 (7,00)	25,73 (9,66)	48,89 (15,92)	77,56 (17,36)	88,7 (20,68)	102,08 (21,90)	
	200	2	7,39 (1,26)	21,86 (8,51)	28,85 (11,95)	66,76 (16,25)	81,81 (19,22)	100,84 (26,03)	113,25 (28,75)	
		4	6,42 (0,44)	14,40 (3,72)	18,65 (6,56)	54,21 (19,80)	70,72 (15,91)	90,05 (25,82)	103,95 (28,33)	
		6	5,50 (0,62)	13,94 (5,68)	18,05 (7,83)	48,89 (15,92)	63,02 (15,10)	72,45 (16,50)	86,08 (19,56)	
	Yağlı Isıl İşlem	KONTROL	-	10,75 (0,09)	25,79 (1,83)	31,08 (1,99)	53,2 (2,26)	57,13 (1,97)	71,04 (2,98)	82,82 (4,67)
		150	2	7,07 (0,25)	7,71 (0,39)	7,87 (0,33)	11,12 (2,66)	13,29 (1,98)	17,01 (2,57)	19,16 (2,84)
4			7,61 (0,35)	9,00 (0,84)	9,03 (0,84)	14,18 (2,71)	16,18 (3,39)	21,60 (5,05)	24,83 (6,15)	
6			8,30 (0,10)	10,14 (0,41)	10,46 (0,46)	20,71 (1,31)	23,79 (1,48)	33,70 (2,54)	45,62 (4,16)	
180		2	8,10 (0,25)	10,54 (0,48)	11,12 (0,69)	22,49 (1,34)	26,48 (1,32)	35,28 (1,87)	42,39 (3,30)	
		4	7,27 (0,26)	9,48 (0,43)	9,88 (0,44)	19,61 (1,06)	23,18 (1,1)	33,10 (1,2)	41,54 (1,78)	
		6	5,43 (0,3)	6,91 (0,28)	6,97 (0,41)	11,70 (0,91)	14,17 (2,68)	18,31 (1,84)	21,44 (2,68)	
200		2	7,47 (0,5)	8,96 (0,67)	9,21 (0,91)	16,97 (3,16)	19,49 (3,59)	25,15 (4,91)	28,70 (5,00)	
		4	7,51 (0,12)	9,20 (0,31)	10,04 (0,16)	19,85 (0,71)	23,01 (1,15)	33,09 (1,32)	42,54 (1,64)	
		6	6,00 (0,05)	6,98 (0,37)	7,67 (0,61)	15,11 (1,79)	17,28 (2,37)	25,80 (3,84)	33,10 (5,34)	

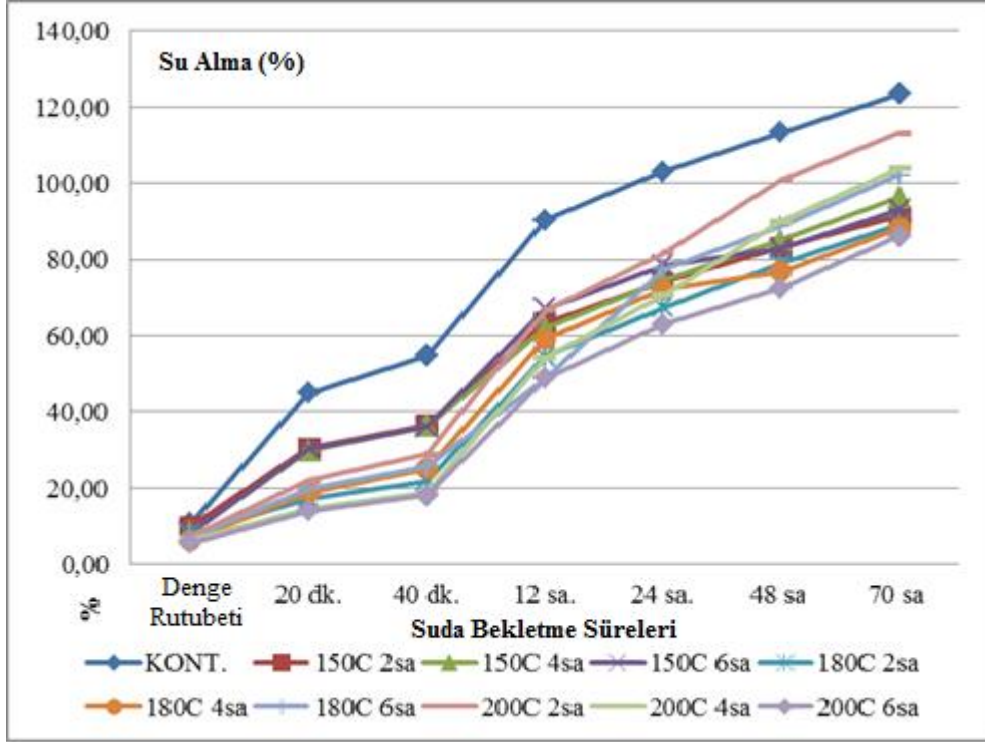
\* DRM: Denge Rutubeti Miktarı (% 65 Bağıl Nem ve 20 °C Sıcaklıkta)

\*\* : Parantez içindeki değerler  $\pm$  standart sapma değerleridir.

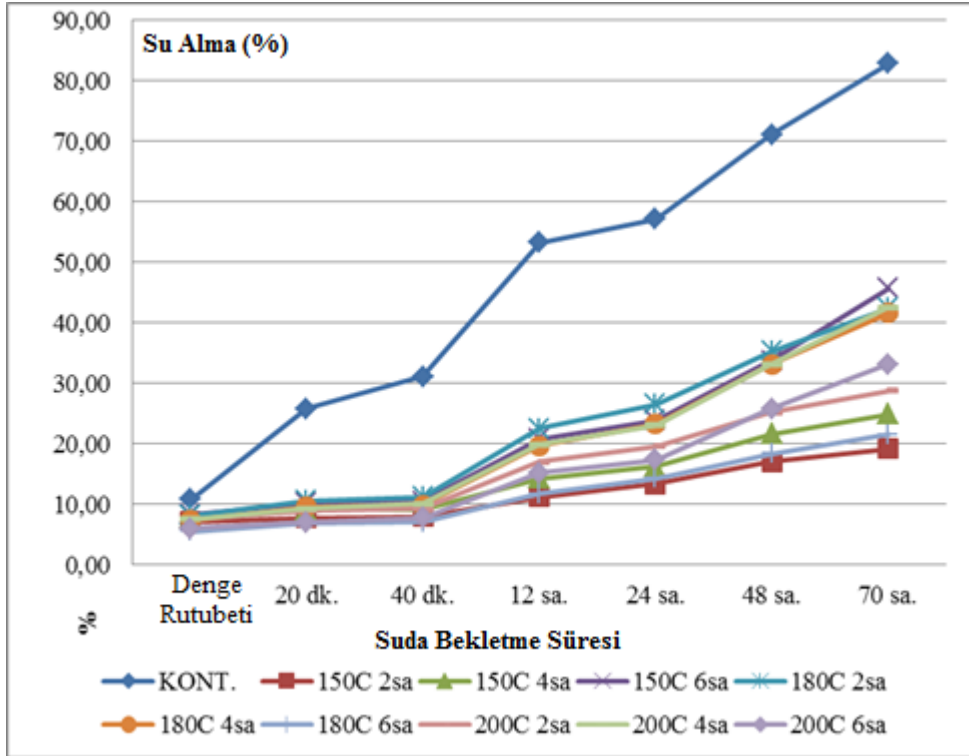
Isıl işlem den sonra suda bekletme sürelerine göre odunun su alma yüzdeleri grafiği azot atmosferi için Şekil 4.5.'de, yağlı ısıl işlem için Şekil 4.6.'da ayrıca verilmiştir.

Azot atmosferi numunelerinde su alma oranları değerleri üzerinde yapılan incelemeler sonucunda 20 dk. ve 40 dk. sürelerde su alma oranları kontrol numunelerinde sırası ile % 44,92 ve % 54,66'dır. Ancak, azot atmosferinde ısıl işlem görmüş deney numunelerinin tümü göz önüne alındığında su alma oranları, 20 dk. için % 13,94 ile 30,43 arasında ve 40 dk. için % 18,05 ile 36,37 arasında tespit edilmiştir. En düşük su alma oranları ile en iyi performansı 200 °C'de 6 saat, en yüksek su alma oranları ile en düşük performansı ise 150 °C'de 2 saat ısıl işlem uygulanan numuneler göstermiştir. Denge rutubeti ve su alma deneyi sonuçlarına göre, genel manada azot atmosferinde yapılan ısıl işlem için sıcaklık ve sürenin artması ile denge rutubetinin ve su alma oranlarının düştüğü söylenebilir (Şekil 4.5.).

Yağlı ısıl işlem su alma değerleri üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, su alma deneyleri kontrol numunelerinde su alma oranları % 25,79 ile % 82,82 arasında değişirken ısıl işlem görmüş deney numunelerinin su alma oranları ise % 6,91 ile % 45,62 arasında değişmektedir. Yağlı ısıl işlem deney numunelerinden 150 °C'de 2 ve 4 saat sürelerde uygulanan ayrıca, 180 °C'de 6 saat süre uygulanan yağlı ısıl işlem numuneleri su alma deneylerinde en düşük değerleri olarak olumlu sonuçlar vermiştir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.5. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Su Alma Oranları



Şekil 4.6. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Su Alma Oranları

Uygulanan farklı ısıtma işlem yöntem ve parametrelerin su alma oranları üzerindeki değişimlere olan etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır (Tablo 4.7.). Çoğul varyans analiz sonuçlarında % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılık gösteren faktör (+), anlamsız olan faktörler (-) işaretiyle gösterilmiştir.

Su alma oranları varyans analizi Tablo 4.7.'ye göre, ısıtma işlem yöntemleri birbirleri ile karşılaştırıldıklarında denge rutubeti miktarı ve tüm su alma periyotları üzerinde % 95 güven düzeyinde anlamlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, azot atmosferindeki uygulamada sürenin sadece denge rutubeti üzerinde ve sıcaklığın denge rutubeti, 20 dk.,40 dk. ve 12 saat sürelerdeki su alma periyotları üzerinde anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Yağlı ısıtma işlem uygulaması sonucu ise sürenin denge rutubeti, 48 sa. ve 70 sa. sürelerdeki su alma periyotları üzerinde, sıcaklığın denge rutubeti, 12 sa., 24 sa., 48 sa. ve 70 sa. sürelerdeki su alma periyotları üzerinde, süre ve sıcaklık faktörlerinin birlikte denge rutubeti, 12 sa., 24 sa., 48sa. ve 70sa. sürelerdeki su alma oranları üzerinde anlamlı olduğu görülmüştür.

Tablo 4.7. *Su Alma Oranları Varyans Analizi*

Varyans Kaynakları		Denge Rutubeti	20 dakika	40 dakika	12 saat	24 saat	48 saat	70 saat
Isıtma İşlem Yöntemleri Arası Fark		+	+	+	+	+	+	+*
AZOT	Süre	+	-	-	-	-	-	_***
	Sıcaklık	+	+	+	+	-	-	-
	Süre*Sıcaklık	-	-	-	-	-	-	-
BEZİR YAĞI	Süre	+	-	-	-	-	+	+
	Sıcaklık	+	-	-	+	+	+	+
	Süre*Sıcaklık	+	-	-	+	+	+	+

\* +: 0,05 Güven aralığına göre fark anlamlı.

\*\* -: 0,05 Güven aralığına göre fark anlamsız.

#### 4.2.2 Odunun Su Alması Sonucu Boyutlarındaki Değişim

Isıl işlem kontrol ve deney numunelerine ait denge rutubeti ve su alma sürelerine bağlı olarak hacimsel şişme oranları Tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.8. *Odunda Hacimsel Şişme Oranları (%)*

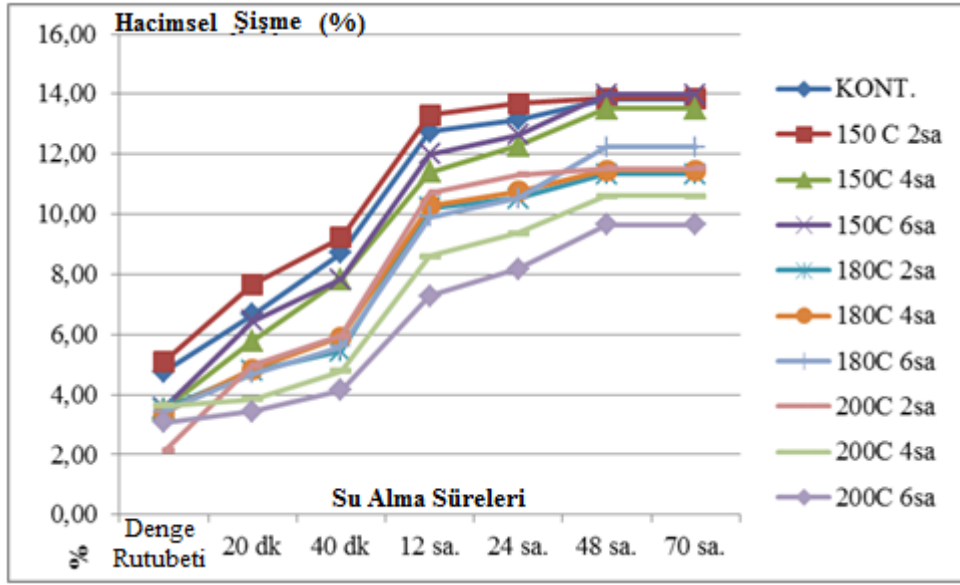
GRUP	SICAKLIK (°C)	SÜRE (saat)	DRM*	20 dakika	40 dakika	12 saat	24 saat	48 saat	70 saat	
Azot Ortamında ısıtım işlemi	KONTROL	-	4,77 (0,70)	6,67 (1,12)	8,71 (1,62)	12,74 (1,70)	13,16 (1,55)	13,81 (1,82)	13,82 (1,82)**	
	150	2	5,11 (0,34)	7,66 (0,82)	9,22 (1,00)	13,31 (0,79)	13,68 (0,74)	13,85 (0,91)	13,85 (0,91)	
		4	3,52 (0,13)	5,79 (0,86)	7,83 (0,62)	11,40 (1,60)	12,28 (1,68)	13,51 (1,27)	13,51 (1,27)	
		6	3,56 (0,91)	6,45 (0,20)	7,83 (0,60)	12,01 (0,52)	12,65 (0,57)	13,99 (0,52)	13,99 (0,52)	
	180	2	3,52 (0,92)	4,79 (1,21)	5,44 (1,44)	10,20 (2,06)	10,53 (1,84)	11,34 (1,57)	11,34 (1,57)	
		4	3,39 (0,30)	4,84 (0,42)	5,91 (0,63)	10,29 (0,11)	10,77 (0,79)	11,47 (0,47)	11,47 (0,47)	
		6	3,44 (0,30)	4,70 (0,93)	5,59 (1,17)	9,91 (1,32)	10,52 (1,19)	12,24 (0,58)	12,24 (0,58)	
	200	2	2,13 (1,45)	4,98 (1,46)	5,95 (2,04)	10,72 (1,64)	11,31 (1,53)	11,53 (1,18)	11,53 (1,18)	
		4	3,63 (0,50)	3,85 (0,70)	4,78 (0,53)	8,61 (1,24)	9,37 (0,71)	10,61 (0,55)	10,61 (0,55)	
		6	3,07 (0,05)	3,44 (0,84)	4,14 (0,85)	7,29 (1,48)	8,18 (1,36)	9,65 (1,55)	9,65 (1,55)	
	Yağlı Isıl İşlem	Kontrol	-	4,93 (0,36)	6,75 (0,55)	9,24 (0,53)	12,88 (1,22)	13,19 (0,96)	13,44 (1,05)	13,44 (1,05)
		150	2	4,66 (0,49)	4,44 (0,47)	5,44 (0,28)	7,29 (0,71)	8,30 (0,96)	8,83 (2,10)	9,94 (2,22)
4			3,91 (0,72)	3,79 (0,60)	4,52 (0,76)	6,69 (1,62)	7,81 (1,86)	9,60 (2,25)	10,30 (2,22)	
6			4,17 (0,48)	3,90 (0,51)	4,52 (0,56)	7,60 (0,65)	8,80 (0,85)	10,03 (1,12)	10,57 (1,11)	
180		2	3,81 (0,36)	4,11 (0,62)	4,70 (0,71)	7,88 (1,18)	9,31 (1,19)	10,30 (1,13)	10,75 (1,10)	
		4	3,75 (0,52)	3,82 (0,73)	4,44 (0,78)	7,19 (0,71)	8,13 (0,76)	9,21 (0,86)	9,65 (0,94)	
		6	2,87 (0,25)	3,18 (0,63)	3,77 (0,61)	5,21 (0,36)	6,16 (0,83)	6,91 (0,65)	7,30 (0,74)	
200		2	4,42 (0,57)	4,11 (0,47)	4,54 (0,67)	7,42 (1,64)	8,53 (1,85)	9,99 (1,74)	11,34 (2,74)	
		4	3,56 (0,17)	3,47 (0,45)	3,95 (0,34)	6,53 (0,76)	7,81 (0,79)	8,70 (1,03)	9,26 (1,17)	
		6	2,88 (0,22)	2,86 (0,25)	3,38 (0,32)	4,98 (0,72)	6,49 (0,65)	7,44 (0,47)	7,95 (0,54)	

\* DRM: Denge Rutubeti Miktarı (% 65 Bağıl Nem ve 20 °C Sıcaklıkta)

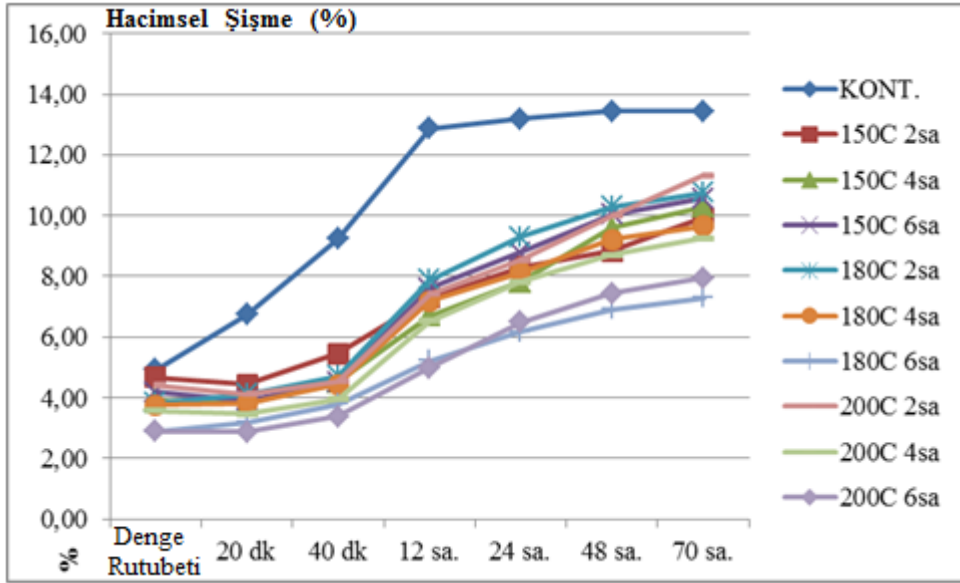
\*\* : Parantez içindeki değerler ± standart sapma değerleridir.

Tablo 4.8.'de yer alan odunda hacimsel şişme oranları verilerine göre kontrol numuneleri azot ortamında yapılan ısı işlem numuneleri ile karşılaştırıldıklarında genel manada ısı işlem sonucu odunda hacimsel şişme oranlarında düşüşler meydana gelmiştir. Örneğin, denge rutubetine getirilen kontrol numunelerinde hacimsel şişme % 4,77 iken azot deney numunelerinde bu oran % 2,13 ve % 3,07 oranlarında sırası ile 200 °C'de 2 saat ve 6 saat gruplarında bulunmuştur. 70 saat su alma deneyi sonucunda ise azot kontrol numuneleri % 13,82 oranında boyut artışı gösterirken azot atmosferinde ısı işlem görmüş numunelerde ise bu oran % 9,65 ile 200 °C'de 6 saat gruplarında olduğu görülmüştür (Şekil 4.7.).

Yağlı ısı işlem uygulanan odunlarda denge rutubetine getirilen kontrol numunelerinin hacimsel şişmesi % 4,93 iken azot deney numunelerinde % 2,87 ve % 2,88 değerleri sırası ile 180 °C ve 200 °C'de 6 saat gruplarında bulunmuştur. Su alma deneyi son periyodu olan 70 saatte ise yağlı ısı işlem kontrol numuneleri % 13,44 oranında çalışırken deney numunelerinde % 7,95 ve % 7,30 değerleri sırası ile 180 °C ve 200 °C'de 6 saat gruplarında bulunmuştur. Yağlı ısı işlemin bir miktar azot atmosferinde yapılan ısı işleme göre su alma ve hacimsel şişmede daha iyi performans sergilediği söylenebilir. Bunun sebebi olarak yağlı ısı işlem sonucu su itici özelliğe sahip olan bezir yağının odunda tutunarak suyun girmesini zorlaştırması söylenebilir (Şekil 4.8.).



Şekil 4.7. Azot Atmosferinde Yapılan Isıl İşlem Sonucu Odunda Hacimsel Şişme Oranları



Şekil 4.8. Yağlı Isıl İşlem Sonucu Odunda Hacimsel Şişme Oranları

Uygulanan farklı ısıtım yöntem ve parametrelerin odunun hacimsel şişmesi üzerindeki değişimlere olan etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır (Tablo 4.9.). Varyans analizi sonuçlarına göre ısıtım yöntemleri karşılaştırıldıkları zaman denge rutubeti ve tüm su alma periyotlarında odunun

şişmesi üzerinde % 95 güven düzeyinde anlamlı olduğu görülmüştür. Çoğul varyans analiz sonuçlarında % 95 güven düzeyinde anlamlı farklılık gösteren faktör (+), anlamsız olan faktörler (-) işaretiyle gösterilmiştir.

Tablo 4.9. *Odunda Şişme Oranları Varyans Analizi*

Varyans Kaynakları		Denge Rutubeti	20 dakika	40 dakika	12 saat	24 saat	48 saat	70 saat
Isıl İşlem Yöntemleri Arası Fark		+	+	+	+	+	+	+*
AZOT	Süre	-	-	-	-	-	-	-**
	Sıcaklık	+	+	+	+	+	+	+
	Süre*Sıcaklık	+	-	-	-	-	-	-
BEZİR YAĞI	Süre	+	-	+	-	-	-	-
	Sıcaklık	-	-	-	-	-	-	-
	Süre*Sıcaklık	+	+	-	+	+	+	+

\* +: 0,05 Güven aralığına göre fark anlamlı.

\*\* -: 0,05 Güven aralığına göre fark anlamsız.

Bu sonuçlara göre ısıtım işlem uygulamalarının su alma ve odunun hacimsel şişmesi özellikleri üzerinde iyileştirici bir etki gösterdiği söylenebilir. Isıtım işlem uygulaması sonucu odunların %65 bağıl nem ve 20 °C'deki denge rutubeti miktarı, su alma oranları ve odunun şişmesi özelliklerindeki iyileşmeler literatürdeki hacimsel şişme sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Örneğin, Temiz vd. 2006; Esteves et al. 2007; Akyıldız and Ateş 2008; Sakai et al. 2008; Dubey et al. 2012. yaptıkları çalışmalar ile farklı ısıtım yöntemlerinin odunun su alma ve hacimsel şişme üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

### 4.3 Statik Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

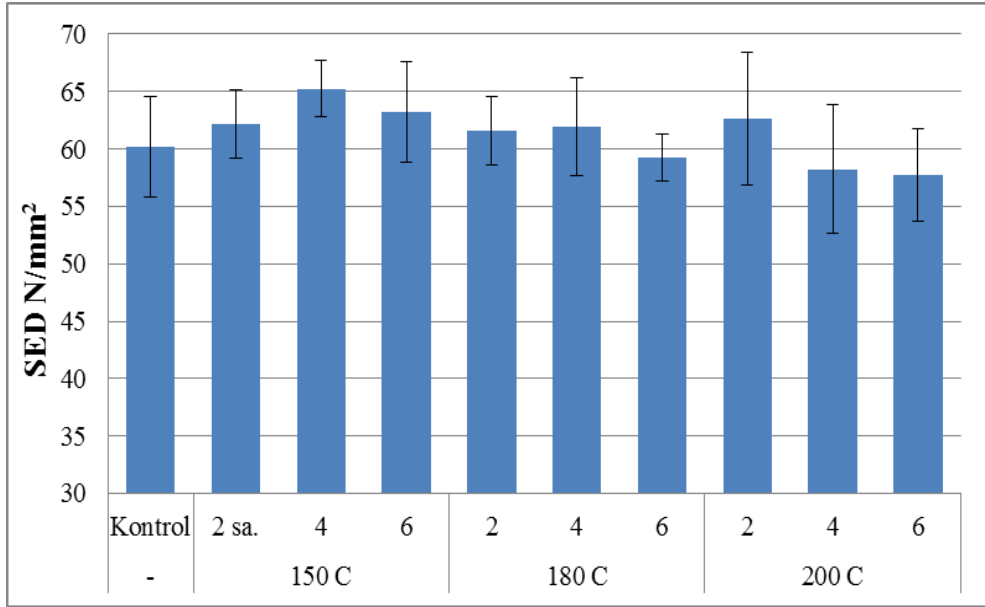
Kontrol ve iki farklı ısıl işlem yöntemi (azot atmosferinde, yağlı ortamda) 3 farklı sıcaklık (150, 180, 200 °C) ve sürede (2, 4, 6 saat) uygulanmış deney numunelerine ait statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri Tablo 4.10.'da verilmiştir.

Tablo 4.10.'a göre azot atmosferinde yapılan ısıl işlem numune değerleri incelendiğinde SED değerleri ortalaması kontrol numunelerinde 60,141 N/mm<sup>2</sup> iken en yüksek SED değeri 65,253 N/mm<sup>2</sup> ile 150 °C'de 4 saat sürelik deney numunelerinde elde edilmiştir. En düşük SED değeri ise 57,692 N/mm<sup>2</sup> ile 200 °C'de 6 saat sürede azot ortamında ısıl işleme tabi tutulan numunelerde elde edilmiştir (Şekil 4.9.).

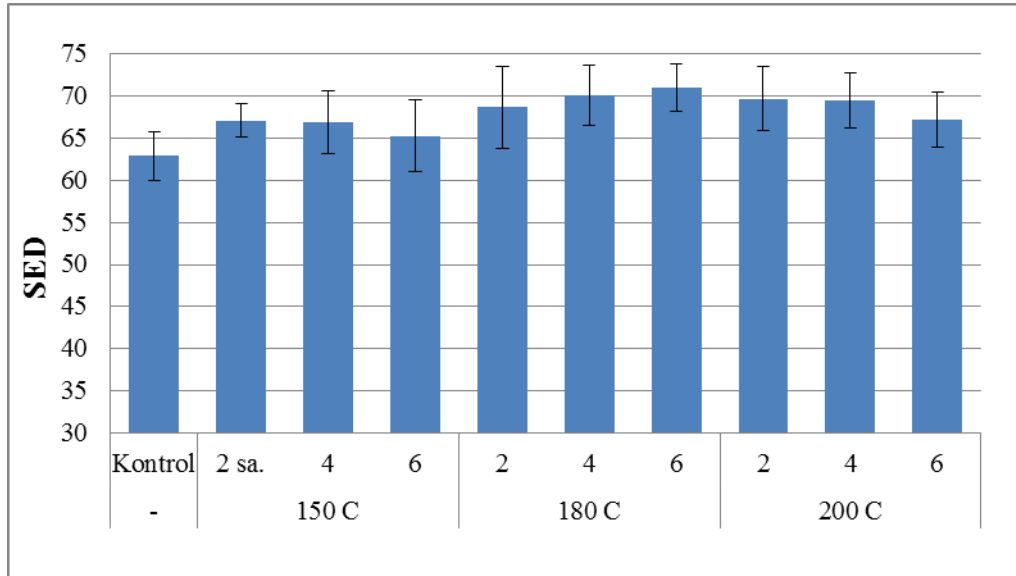
Tablo 4.10.'a göre yağlı ısıl işlem SED kontrol numunelerinde 62,894 N/mm<sup>2</sup> çıkmıştır. Yine aynı sonuçlara göre, en yüksek SED değeri 71,048 N/mm<sup>2</sup> ile 180 °C'de 6 saat sürede en düşük değer ise 65,247 N/mm<sup>2</sup> ile 150 °C'de 6 saat sürede yağlı ısıl işleme tabi tutulan numunelerde bulunmuştur (Şekil 4.10.).

Tablo 4.10. Statik Eğilme Direnci (SED) ve Elastikiyet Modülü (SEEM) Değerleri  
N/mm<sup>2</sup>

GRUP	SICAKLIK (°C)	SÜRE (saat)	Statik Eğilme Direnci N/mm <sup>2</sup>		Elastikiyet Modülü N/mm <sup>2</sup>		
			Ortalama	SD	Ortalama	SD	
Azot Atmosferinde Isıl İşlem	KONTROL	-	60,141	4,363	7381,670	682,748	
	150	2	62,189	3,000	7738,703	683,873	
		4	65,253	2,467	8383,354	353,309	
		6	63,215	4,399	7924,399	441,958	
	180	2	61,541	2,966	7546,431	530,011	
		4	61,929	4,308	8039,552	296,141	
		6	59,273	2,069	7386,194	445,458	
	200	2	62,648	5,762	8215,552	326,716	
		4	58,218	5,613	7633,935	762,578	
		6	57,692	4,028	7860,184	633,099	
	Yağlı Isıl İşlem	KONTROL	-	62,894	2,951	7681,643	376,533
		150	2	67,125	2,024	7782,705	512,872
4			66,953	6,695	7643,178	595,185	
6			65,247	4,261	7460,407	562,575	
180		2	68,682	4,854	8138,241	470,688	
		4	70,110	6,584	7943,570	609,531	
		6	71,048	2,807	8175,923	676,755	
200		2	69,731	6,786	8049,881	704,484	
		4	69,538	3,284	8357,258	335,806	
		6	67,281	6,271	8042,836	664,770	



Şekil 4.9. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl İşlem Sonucu SED Değerleri



Şekil 4.10. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu SED Değerleri

Uygulanan farklı ısıtma yöntem ve parametrelerin statik eğilme direnci değerleri üzerindeki değişimlere olan etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır (Tablo 4.11.). Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, ısıtma yöntemleri birbirleri ile karşılaştırıldıklarında %95 güven düzeyinde anlamlı farklılığın olduğu görülmüştür. Benzer şekilde, azot atmosferinde ve yağlı ısıtma uygulamasında sıcaklığın statik eğilme direnci değerleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre anlamlı çıkan faktörlerin etkilerini karşılaştırmak amacı ile Duncan testi uygulanmıştır (Tablo 4.12.).

Tablo 4.11. Statik Eğilme Direnci Çoğul Varyans Analizi

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
Isıtma Yöntemleri Arası Fark		894,802	1	894,802	43,400	0,000
AZOT	Süre	37,008	2	18,504	1,160	0,323
	Sıcaklık	125,842	2	62,921	3,944	0,026
	Süre/Sıcaklık	81,990	4	20,498	1,285	0,290
BEZİR YAĞI	Süre	30,490	2	15,245	0,634	0,535
	Sıcaklık	288,885	2	144,442	6,007	0,005
	Süre/Sıcaklık	140,554	4	35,138	1,461	0,230

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

SED Duncan testinin Tablo 4.12.'de yer alan sıcaklık faktörü sonuçlarına göre azot atmosferinde yapılan ısıtma sonucu SED değerleri kontrol numuneleri ile karşılaştırıldıklarında bir miktar düşüş göstermiştir. Isıtma faktörü homojen grup sonuçları değişimin önemsiz düzeyde olduğunu göstermektedir. 150 °C'de A grubunda, kontrol ve 180 °C AB grubunda ve 200 °C'de B homojen grubunda yer almıştır.

Genel manada SED değerlerinde yağlı ısıtım uygulaması sonucu % 95 güven düzeyinde anlamlı bir artış olmuştur. Bu bağlamda, ısıtım faktörü göz önüne alındığında yağlı ısıtım numuneleri kontrol ve azot numunelerini geride bırakarak farklı bir homojen grup içerisinde yer almıştır. Yağlı ısıtımde sıcaklık faktöründe ise 180 °C ve 200 °C 1. grupta 150 °C ve kontrol numuneleri 2. bir grupta yer almıştır. 1. grup değerlerinin ortalaması 2. gruptan % 95 güven düzeyinde anlamlı olarak daha yüksek çıkmıştır.

Azot atmosferindeki 200 °C'deki gibi yüksek uygulama sıcaklıklarında odunun yapısında oluşan bozulmaların SED değerleri düşüşlerinde önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Literatürde de ısıtım uygulanan odunlarda eğilme direnci deneyinde benzer sonuçlar çıkan çalışmalar mevcuttur (Kamdem et al. 2002; Esteves et al. 2007; Dubey, 2010a; Sinha et al. 2011).

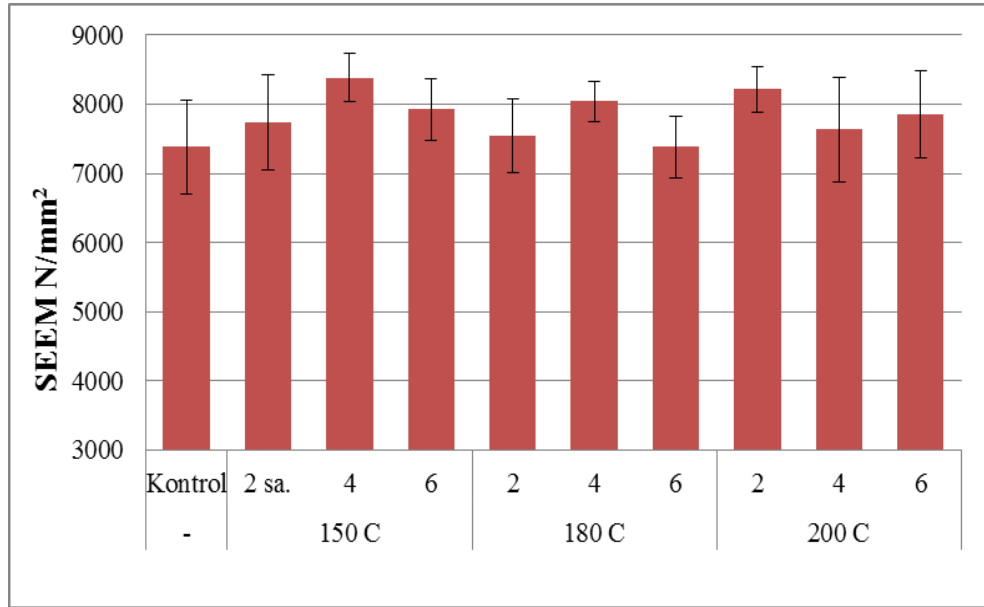
Tablo 4.12. Statik Eğilme Direnci Duncan Testi

ISIL İŞLEM FAKTÖRÜ					
Ortam		Ortalama Değer		Homojen Gruplar	
Bezir Yağı		67,635		A	
Kontrol		61,518		B	
Azot		61,329		B	
SICAKLIK FAKTÖRÜ					
AZOT ATMOSFERİ			BEZİR YAĞI		
SICAKLIK	Ort. Değer	HG	SICAKLIK	Ort. Değer	HG*
150 °C	63,552	A	180 °C	69,947	A
Kontrol	61,518	AB	200 °C	68,850	A
180 °C	60,914	AB	150 °C	64,108	B
200 °C	59,519	B	Kontrol	61,518	B
SÜRE FAKTÖRÜ					
AZOT ATMOSFERİ			BEZİR YAĞI		
SÜRE	Ort. Değer	HG	SÜRE	Ort. Değer	HG
2 saat	62,126	A	2 saat	68,513	A
4 saat	61,800	A	6 saat	67,859	A
Kontrol	61,518	A	4 saat	66,534	A
6 saat	60,060	A	Kontrol	61,518	B

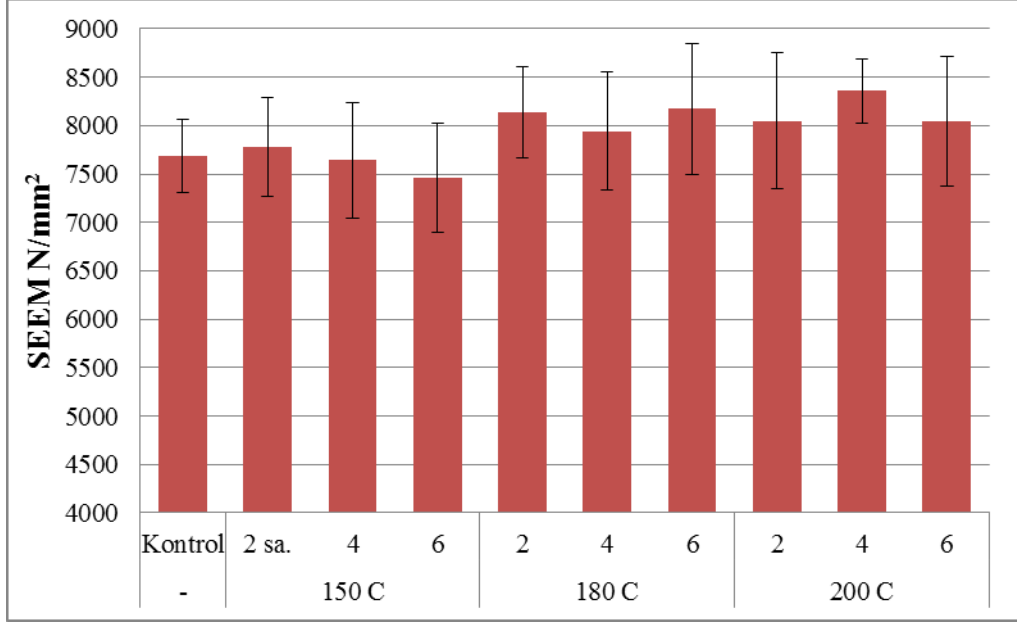
\* HG: Homojen Gruplar

Azot atmosferi elastikiyet modülü sonuçlarına göre kontrol numunelerinin ortalama 7381,670 N/mm<sup>2</sup> değeri aldığı bulunmuştur. Yine aynı sonuçlara göre, en yüksek değer 8383,354 N/mm<sup>2</sup> ile 150 °C’de 6 saat sürede en düşük değer ise 7386,194 N/mm<sup>2</sup> ile 180 °C’de 6 saat sürede ısıl işleme tabi tutulan numunelerde gözlemlenmiştir (Şekil 4.11.).

Yağlı ısıl işlem elastikiyet modülü sonuçlarına göre kontrol numunelerinin ortalama 7681,643 N/mm<sup>2</sup> değeri aldığı bulunmuştur. Yine aynı sonuçlara göre, en yüksek değer 8357,258 N/mm<sup>2</sup> ile 200 °C’de 4 saat sürede, en düşük değer ise 7460,407 N/mm<sup>2</sup> ile 150 °C’de 6 saat sürede yağlı ısıl işleme tabi tutulan numunelerde elde edilmiştir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.11. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl İşlem Sonucu SEEM Değerleri



Şekil 4.12. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu SEEM Değerleri

Uygulanan farklı ısıl işlem yöntem ve parametrelerin statik eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerindeki değişimlere olan etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır (Tablo 4.13.).

Tablo 4.13'e göre ısıl işlem yöntemleri arası farkın anlamlı düzeyde bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Dahası, diğer faktörlerden sadece sıcaklığın yağlı ısıl işlem numunelerinin SEEM değerleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olduğu görülmüştür. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre anlamlı çıkan faktörlerin etkilerini karşılaştırmak için ile Tablo 4.14 'de yer alan Duncan testi uygulanmıştır.

Tablo 4.13. *Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Çoğul Varyans Analizi*

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
Isıl İşlem Yöntemleri Arası Fark		208174,783	1	208174,783	0,686	0,410
AZOT	Süre	668475,833	2	334237,917	1,210	0,308
	Sıcaklık	1006331,034	2	503165,517	1,821	0,174
	Süre/Sıcaklık	2451814,688	4	612953,672	2,219	0,082
BEZİR YAĞI	Süre	86625,582	2	43312,791	0,132	0,877
	Sıcaklık	2423847,536	2	1211923,768	3,685	0,033
	Süre/Sıcaklık	652451,491	4	163112,873	0,496	0,739

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

Elastikiyet modülü duncan testi sonuçlarına göre yağlı ısıl işlem sıcaklığının elastikiyet modülü değerleri üzerinde etkisi anlamlı bulunmuştur. Bu bağlamda sıcaklık faktöründe, 200 °C ve 180 °C 1. grup, 150 °C ve kontrol 2. bir grupta yer alarak 1.gruptaki numunelerin elastikiyet modülü değerleri diğer gruba göre daha yüksek çıkmıştır (Tablo 4.14.).

Tablo 4.14. Statik Eğilmede Elastikiyet Modülü Duncan Testi

<b>ISIL İŞLEM FAKTÖRÜ</b>					
<b>Ortam</b>		<b>Ortalama Değer</b>		<b>Homojen Gruplar</b>	
<b>Bezir Yağı</b>		7954,889		A	
<b>Azot</b>		7858,700		AB	
<b>Kontrol</b>		7531,656		B	
<b>SICAKLIK FAKTÖRÜ</b>					
<b>AZOT ATMOSFERİ</b>			<b>BEZİR YAĞI</b>		
<b>SICAKLIK</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG</b>	<b>SICAKLIK</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG*</b>
<b>150 °C</b>	8015,4853	A	<b>200 °C</b>	8149,9916	A
<b>200 °C</b>	7903,2235	AB	<b>180 °C</b>	8085,9115	A
<b>180 °C</b>	7657,3924	AB	<b>150 °C</b>	7628,7634	B
<b>Kontrol</b>	7531,6564	B	<b>Kontrol</b>	7531,6564	B
<b>SÜRE FAKTÖRÜ</b>					
<b>AZOT ATMOSFERİ</b>			<b>BEZİR YAĞI</b>		
<b>SÜRE</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG</b>	<b>SÜRE</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG</b>
<b>4 saat</b>	8018,9469	A	<b>2 saat</b>	7990,2757	A
<b>2 saat</b>	7833,5621	AB	<b>4 saat</b>	7981,3355	A
<b>6 saat</b>	7723,5923	AB	<b>6 saat</b>	7893,0553	A
<b>Kontrol</b>	7531,6564	B	<b>Kontrol</b>	7531,6564	A

\*HG: Homojen Gruplar

#### 4.4 Liflere Paralel Basınç Direnci

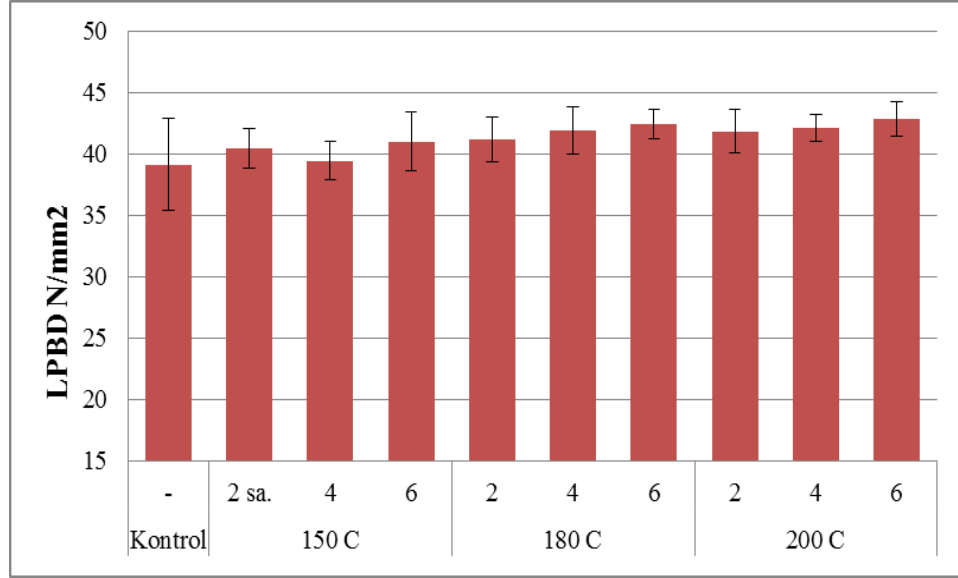
Kontrol ve iki farklı ısıl işlem çeşidi (azot atmosferinde, yağlı ortamda) 3 farklı sıcaklık (150, 180, 200 °C) ve sürelerde (2, 4, 6 sa.) uygulanmış deney numunelerine ait liflere paralel basınç direnci değerleri sonuçları Tablo 4.15.'de verilmiştir.

Tablo 4.15.'de yer alan LPBD (N/mm<sup>2</sup>) değerlerinden azot atmosferinde yapılan ısıl işlem sonuçları incelendiğinde, LPBD kontrol numunelerinin ortalama değerleri 39,099 N/mm<sup>2</sup> olmuştur. En yüksek LPBD değeri ise 42,820 N/mm<sup>2</sup> ile 200 °C'de 6 saat ve en düşük değer ise 39,412 N/mm<sup>2</sup> ile 150 °C'de 4 saat sürede ısıl işleme tabi tutulan numunelerde görülmüştür (Şekil 4.13.).

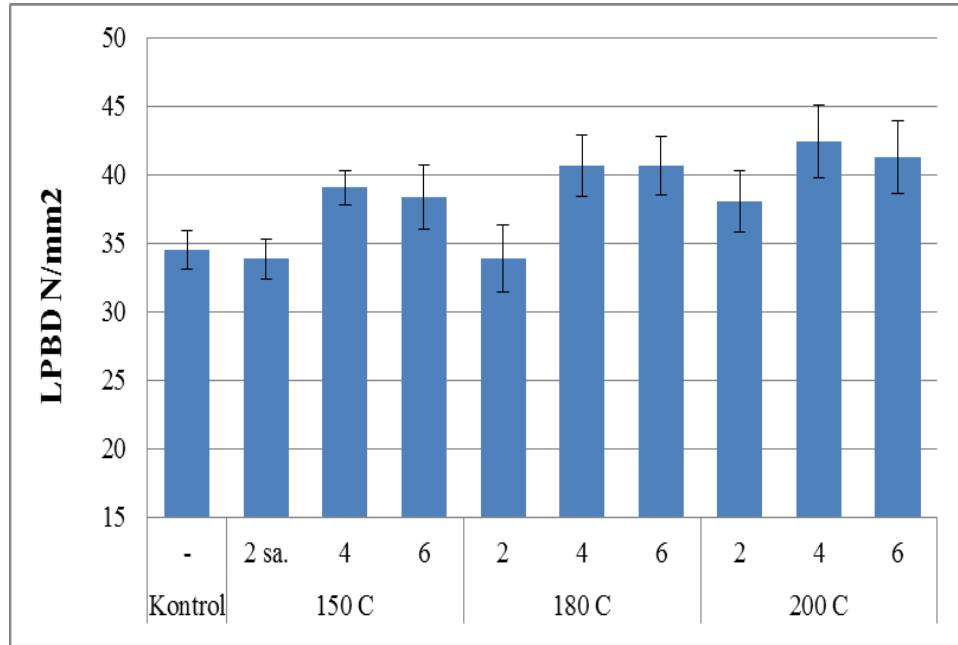
Yağlı ısıl işlem sonuçlarına göre kontrol numunelerinin ortalama 34,504 N/mm<sup>2</sup> değeri aldığı bulunmuştur. En yüksek değerler 42,428 N/mm<sup>2</sup> ile 200 °C'de 4 saat sürede en düşük değer ise 33,823 N/mm<sup>2</sup> ve 33,834 N/mm<sup>2</sup> ile 150 °C ile 180 °C'de 2 saat sürede yağlı ısıl işleme tabi tutulan numunelerde bulunmuştur (Şekil 4.14.).

Tablo 4.15. *Liflere Paralel Basınç Direnci (LPBD) Değerleri*

GRUP	SICAKLIK (°C)	SÜRE (saat)	Liflere Paralel Basınç Direnci		
			Ortalama	SD	
Azot Atmosferinde Isıl İşlem	KONTROL	-	39,099	3,770	
	150	2	40,454	1,608	
		4	39,412	1,566	
		6	40,997	2,433	
	180	2	41,142	1,796	
		4	41,891	1,970	
		6	42,415	1,187	
	200	2	41,836	1,794	
		4	42,072	1,103	
		6	42,820	1,423	
	Yağlı Isıl İşlem	KONTROL	-	34,504	1,418
		150	2	33,823	1,456
4			39,033	1,249	
6			38,328	2,333	
180		2	33,834	2,440	
		4	40,666	2,240	
		6	40,634	2,159	
200		2	38,054	2,263	
		4	42,428	2,660	
		6	41,264	2,625	



Şekil 4.13. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl İşlem Sonucu LPBD Değerleri



Şekil 4.14. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu LPBD Değerleri

Uygulanan farklı ısıl işlem yöntem ve parametrelerin liflere paralel basınç direnci değerleri üzerindeki değişimlere olan etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır (Tablo 4.16.). LPBD varyans analizi sonuçlarına göre, ısıl işlem yöntemleri arası farkın önemli olduğu bulunulmuştur. Ayrıca, azot atmosferinde

herhangi bir faktörün önemli bir etkisi bulunmamıştır. Yağlı ısıtma işlemde ise süre ve sıcaklık faktörlerinin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre anlamlı çıkan faktörlerin etkilerini karşılaştırmak amacı ile Duncan testi uygulanmıştır (Tablo 4.17.).

Tablo 4.16. *Liflere Paralel Basınç Direnci Çoğul Varyans Analizi*

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
Isıl İşlem Yöntemleri Arası Fark		198,926	1	198,926	40,027	0,000
AZOT	Süre	8,787	2	4,394	0,864	0,428
	Sıcaklık	31,532	2	15,766	3,101	0,055
	Süre/Sıcaklık	4,177	4	1,044	0,205	0,934
BEZİR YAĞI	Süre	376,297	2	188,149	30,847	0,000
	Sıcaklık	132,906	2	66,453	10,895	0,000
	Süre/Sıcaklık	24,217	4	6,054	0,993	0,418

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

Tablo 4.17.'e göre ısıtma faktöründe azot atmosferinde yapılan ısıtma işlem numune ortalamaları  $41,456 \text{ N/mm}^2$  ile en yüksek grup A olmuştur. Daha sonra ise  $38,674 \text{ N/mm}^2$  ise bezir yağı B ve son grup olarak kontrol grubu C  $36,085 \text{ N/mm}^2$  değeri ile birbirlerinden anlamlı olarak ayrılmışlardır. Yağlı ısıtma işlem sıcaklık faktöründe ise en yüksek değer  $40,582 \text{ N/mm}^2$   $200^\circ\text{C}$ 'de A grubunda,  $180^\circ\text{C}$ 'de  $38,378 \text{ N/mm}^2$  ile B grubunda,  $150^\circ\text{C}$   $37,061 \text{ N/mm}^2$  ile BC grubunda ve kontrol numuneleri de  $36,085 \text{ N/mm}^2$  ile C grubunda yer almışlardır. Ayrıca, yağlı ısıtma işlem süre faktöründe 4 ve 6 saat süreleri en yüksek ortalamaya sahip olan A grubunda kontrol ve 2 saat numuneleri ise daha düşük değere sahip olan B grubunda yer almıştır.

Tablo 4.17. *Liflere Paralel Basınç Direnci Duncan Testi*

<b>ISIL İŞLEM FAKTÖRÜ</b>					
<b>Ortam</b>		<b>Ortalama Değer</b>		<b>Homojen Gruplar</b>	
<b>Azot</b>		41,456		A	
<b>Bezir Yağı</b>		38,674		B	
<b>Kontrol</b>		36,085		C	
<b>SICAKLIK FAKTÖRÜ</b>					
<b>AZOT ATMOSFERİ</b>			<b>BEZİR YAĞI</b>		
<b>SICAKLIK</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG</b>	<b>SICAKLIK</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG*</b>
<b>200 °C</b>	42,242	A	<b>200 °C</b>	40,582	A
<b>180 °C</b>	41,864	AB	<b>180 °C</b>	38,378	B
<b>150 °C</b>	40,288	B	<b>150 °C</b>	37,061	BC
<b>Kontrol</b>	36,085	C	<b>Kontrol</b>	36,085	C
<b>SÜRE FAKTÖRÜ</b>					
<b>AZOT ATMOSFERİ</b>			<b>BEZİR YAĞI</b>		
<b>SÜRE</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG</b>	<b>SÜRE</b>	<b>Ort. Değ.</b>	<b>HG</b>
<b>6 saat</b>	42,078	A	<b>4 saat</b>	40,709	A
<b>2 saat</b>	41,144	A	<b>6 saat</b>	40,075	A
<b>4 saat</b>	41,125	A	<b>Kontrol</b>	36,085	B
<b>Kontrol</b>	36,085	B	<b>2 saat</b>	35,237	B

\*: Homojen Gruplar

Böylece, ısıl işlem uygulaması sonucu LPBD veya diğer direnç değerlerinde düşüşler çok az miktarda olmuş veya hiç olmamıştır. Stamm et al. (1946); Stamm, (1956), oksijenli ortama göre oksijensiz ortamda yapılan ısıl işlemde odundaki ağırlık ve mekanik dirençlerdeki kayıpların daha az olduğunu ortaya koymuştur. Azot atmosferinde yapılan ısıl işlem ve yağlı ısıl işlemde oksijensiz ortamda yapılmaktadır. Sonuç olarak, uygulanan bu ısıl işlem yöntemlerinde mekanik dirençlerde kayıplar az olmaktadır.

## 4.5 Renk Ölçümleri

Emprenye ve ısıtma işlemi uygulanmış deney numunelerine ait uygulama öncesi ve sonrası oluşan renk gösterge çizelgesi değerleri  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , toplam renk değişimi  $\Delta E$  ve retensiyon miktarları Tablo 4.18’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, yağlı ısıtma işlemi uygulanan numunelerde toplam en düşük renk değişim değerleri  $\Delta E$  180 °C ve 150 °C’de 2 saat sürede yağlı ısıtma işlemi gören numunelerde  $\Delta E$  sırası ile 33,195 ve 40,325 olarak bulunmuştur. En yüksek toplam renk değişim değeri ise 200 °C’de 6 saat yağlı ısıtma işlemi gören numunelerde 58,017 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.15.). Sıcaklık ve süre faktörleri ele alındığında ise genel anlamda sıcaklık ve sürenin artması ile uygulama sonrası toplam renk değişiminin arttığı sonucuna varılmıştır. Ancak, yağlı ısıtma işlemi uygulamasında renk değişimi değerlerinin azot atmosferinde yapılan ısıtma işlemi sonucu oluşan toplam renk değişimi değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, azot atmosferinde yapılan ısıtma işlemi sonucu  $L^*$  renk değerleri azalarak renk tonlarında beyazdan siyaha doğru bir geçiş olmuştur.  $A^*$  renk değerlerinde pozitif alanda bir artış meydana gelerek kırmızı renk tonlarında artış olmuştur.  $B^*$  renk değerlerinde yine bir miktar pozitif alanda artış meydana gelerek odun numuneleri yüzeylerinde sarı renk tonlarında artış olmuştur. Yağlı ısıtma işlemi sonucu ise  $L^*$  renk değerlerinde azalış meydana gelerek yine renk tonlarında beyazdan siyaha doğru bir geçiş olmuştur.  $A^*$  ve  $B^*$  renk değerlerinde de artış meydana gelerek kırmızı ve sarı renk tonlarında artış olmuştur. Sonuç olarak, ısıtma işlemi sonucu numunelerde renk koyulaşması olduğu gözlemlenmiştir.

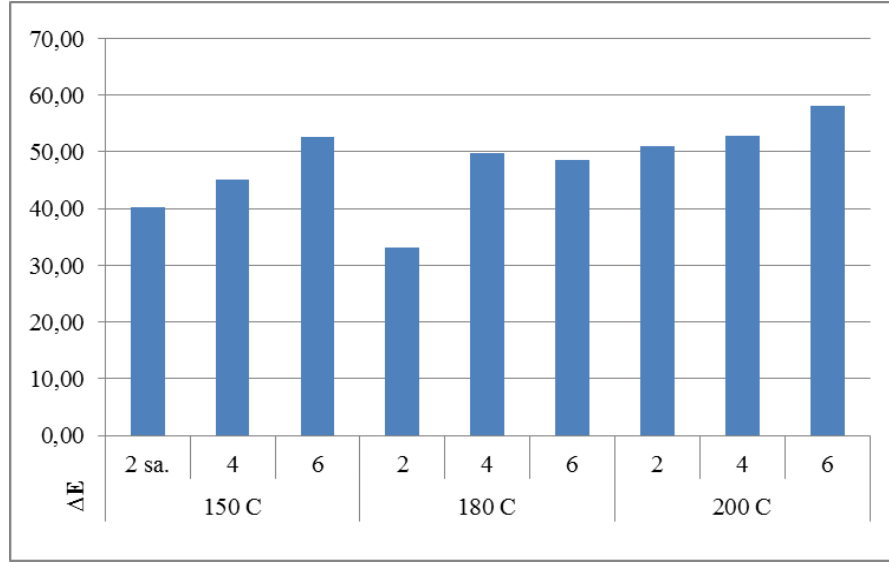
Tablo 4.18.’de emprenye uygulanan numunelerin retensiyon miktarları ve renk değerleri yer almaktadır. Bu değerlere göre Uludağ göknarı odunlarının anatomik bazı kusurlarından dolayı beklenildiği üzere retensiyon miktarları sarıçama göre düşük çıkmıştır. Ayrıca, emprenye uygulaması sonucu  $L^*$  ve  $b^*$  renk değerlerinde azalma meydana gelerek renk tonlarında beyazdan siyaha ve kırmızı tonlardan yeşile bir miktar geçiş olmuştur.

Tablo 4.18. Isıl İşlem ve Emprenye Uygulaması Öncesi ve Sonrası Renk Değerleri ve Toplam Renk Değişimi ( $\Delta E$ )

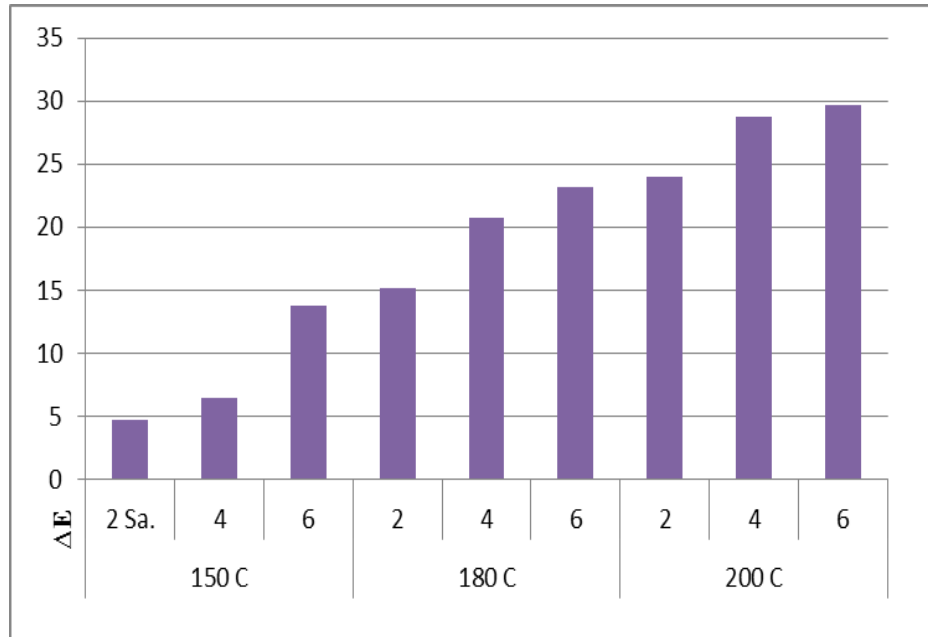
GRUP	SICAKLIK ( $^{\circ}C$ )	SÜRE (saat.)	Uygulama Öncesi Renk Değerleri			Uygulama Sonrası Renk Değerleri				
			L1*	a1*	b1*	L2*	a2*	b2*	$\Delta E$	
Yağlı Isıl İşlem	KONTROL		84,976	3,340	17,735	-	-	-	-	
	150	2	84,900	3,371	18,217	68,110	14,334	53,073	40,325	
		4	84,006	4,025	19,085	33,110	15,823	14,792	45,078	
		6	85,177	3,465	17,855	48,055	20,102	36,452	52,570	
	180	2	84,725	3,614	18,569	73,803	9,401	49,186	33,195	
		4	84,602	3,423	18,209	37,649	18,535	21,304	49,848	
		6	84,798	3,578	18,438	38,698	17,277	22,662	48,478	
	200	2	84,962	3,681	18,912	36,400	17,505	19,235	50,977	
		4	85,412	3,389	17,644	34,165	14,777	16,381	52,792	
		6	85,410	3,349	17,988	28,881	10,032	7,593	58,017	
	Azot Atmosferinde Isıl İşlem	KONTROL		77,914	5,392	19,366	-	-	-	-
		150	2	73,819	6,320	19,593	71,933	6,243	22,441	4,78
4			81,570	4,925	18,878	77,360	4,951	23,309	6,49	
6			84,951	3,842	19,100	72,787	6,333	24,589	13,75	
180		2	82,978	4,411	18,255	70,929	7,235	26,924	15,21	
		4	78,195	5,741	19,266	58,491	8,655	24,707	20,77	
		6	83,667	4,311	18,639	62,892	8,890	27,757	23,23	
200		2	80,643	4,611	19,696	57,973	9,094	25,427	24,01	
		4	83,157	4,257	18,813	55,861	9,993	25,618	28,78	
		6	78,297	5,101	18,693	50,347	10,718	25,577	29,64	
Emprenye			Retensiyon ( $kg/m^3$ )	L1*	a1*	b1*	L2*	a2*	b2*	$\Delta E$
		Sarıçam Kontrol	-	83,407	4,285	22,001	-	-	-	-
	Sarıçam CCA	3,78	84,001	3,916	22,249	60,807	2,906	19,766	23,390	
	Sarıçam CCB	3,89	83,873	3,83	22,373	65,442	-0,238	19,682	19,524	
	Göknar CCA	2,90	84,169	3,569	18,743	62,999	2,28	21,797	21,581	

Tablo 4.18 'e göre, azot atmosferinde uygulanan ısıl işlem numunelerinde ısıl işlem uygulaması öncesine göre en düşük toplam renk değişimi miktarı  $150^{\circ}C$ 'de 2 saat ısıl işlem gören numunelerde 4,78 olarak bulunmuştur. En yüksek toplam renk

değişim miktarı ise 200 °C’de 4 saat ısıtılma tabii tutulan numunelerde 28,78 olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.16.).



Şekil 4.15. Yağlı Isıl İşlem Uygulaması Sonucu Toplam Renk Değişimi



Şekil 4.16. Azot Atmosferinde Uygulanan Isıl İşlem Sonucu Toplam Renk Değişimi

Farklı ısıtım işlem yöntem, parametrelerin ve emprenye maddelerinin toplam renk değışimi üzerindeki etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır (Tablo 4.19.).

Tablo 4.19.'de yer alan ısıtım işlem ve emprenye uygulaması sonucu toplam renk değışimi varyans analizi sonuçlarına göre ısıtım işlem yöntemleri ve emprenye uygulamaları arasındaki farkın toplam renk değışimi değerleri üzerinde % 95 güven düzeyinde anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, azot atmosferi ve yağlı ısıtım işlem uygulamalarında süre, sıcaklık, süre ve sıcaklık varyans kaynaklarının beraber toplam renk değışimi üzerindeki etkilerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre anlamlı çıkan faktörlerin etkilerini karşılaştırmak amacı ile Duncan testi uygulanmıştır (Tablo 4.20.).

Tablo 4.19. *Isıtım İşlem ve Emprenye Uygulaması Sonucu Toplam Renk Değişimi Çoğul Varyans Analizi*

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
Isıtım İşlem Yöntemleri Arası Fark		106093,489	2	53046,745	5814,888	0,000
Emprenye Uygulamaları Arası Fark		299,579	2	149,790	32,133	0,000
AZOT	Süre	2018,360	2	1009,180	110,051	0,000
	Sıcaklık	13348,655	2	6674,327	727,836	0,000
	Süre/Sıcaklık	287,004	4	71,751	7,824	0,000
BEZİR YAğI	Süre	6009,244	2	3004,622	330,638	0,000
	Sıcaklık	5432,113	2	2716,056	298,883	0,000
	Süre/Sıcaklık	2767,405	4	691,851	76,133	0,000

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

Tablo 4.20.'de yer alan ısıl işlem ve emprenye uygulaması sonucu toplam renk değişimi duncan testi sonuçlarına göre, bezir yağı ortamı faktörünün 47,960 değeri ile A grubuna ve azot atmosferinde yapılan ısıl işlemin ise 18,542 ortalama değeri ile B grubuna dâhil olduğu görülmüştür. Emprenye faktöründe ise sarıçam CCA 23,391 ile A, göknar 21,581 değeri ile B ve sarıçam CCB numunelerinin de 19,524 ortalama değeri ile C grubunda yer aldıkları görülmüştür.

Tablo 4.20. *Isıl İşlem ve Emprenye Uygulaması Sonucu Toplam Renk Değişimi Duncan Testi*

UYGULANAN İŞLEM FAKTÖRÜ					
ISIL İŞLEM					
Ortam		Ortalama Değer		Homojen* Gruplar	
Bezir Yağı		47,960		A	
Azot		18,542		B	
EMPRENYE					
Sarıçam CCA		23,391		A	
Uludağ göknarı CCA		21,581		B	
Sarıçam CCB		19,524		C	
SICAKLIK FAKTÖRÜ					
AZOT ORTAMI			BEZİR YAĞI		
SICAKLIK	Ort. Değ.	HG	SICAKLIK	Ort. Değ.	HG
200 °C	27,476	A	200 °C	53,929	A
180 °C	19,828	B	150 °C	45,991	B
150 °C	8,339	C	180 °C	43,917	C
SÜRE FAKTÖRÜ					
AZOT ORTAMI			BEZİR YAĞI		
SÜRE	Ort. Değ.	HG	SÜRE	Ort. Değ.	HG
6 saat	22,207	A	4 saat	51,736	A
4 saat	18,677	B	6 saat	50,524	B
2 saat	14,687	C	2 saat	41,551	C

\* HG: Homojen Gruplar

Doğal yaşlandırma sonucu belirli dönemlerde ölçümleri alınan numunelerin toplam renk değişimleri  $\Delta E$  Tablo 4.21.'de verilmiştir. 5 Aylık doğal yaşlandırma deneyi sonucu oluşan toplam renk değişimi değerleri incelendiğinde yağlı ısıl işlem kontrol numunelerinde 5 ayın sonunda toplam renk değişimi 38,36 değeri ile en yüksek miktarda gerçekleşmiştir. En düşük renk değişim değeri ise 12,66 ile 200 °C'de 6 saat yağlı ısıl işlem görmüş numunelerde gözlemlenmiştir (Şekil 4.17.). Azot atmosferi ısıl işlem kontrol numunelerinde yaşlandırma sonucu oluşan renk değişimi 32,27 değeri ile en yüksek miktarda bulunulmuştur. Fakat, 180 °C'de 6 saat ısıl işlem uygulanan numunelerde ise renk değişimi 21,38 değeri ile en düşük miktarda gerçekleşmiştir (Şekil 4.18.).

Esteves and Pereira (2009), ısıl işlemlen uygulanan odunların dış ortam koşulları karşısında dayanıklılığının arttığını söylemiştir. Yaptığımız çalışmada da literatürle paralel olarak ısıl işlemin odunun renk kararlılığı üzerinde olumlu sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Temiz vd. (2006), Thermowood ısıl işlem görmüş numuneler hızlandırılmış yaşlandırma testine tabi tutulmuştur. Deney numunelerinin renk performansları kontrol numunelerine göre yüksek oranlarda çıkmıştır. Araştırmacılar bu sonuçların muhtemel sebebi olarak renk değişimine müsait olan reaktif grupların ısıl işlemle birlikte engellendiğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca bu reaktif gruplar ligninde bulunan fenolik hidroksil gruplar olup ışık ile kolaylıkla reaksiyona girerek fenolik radikaller oluşturabilirler (Hon and Shiraishi, 2001). Bu fenolik radikallerin yaşlandırma sırasında renk değişikliklerinde rol aldığı bilinmektedir. Isıl işlemle birlikte modifiye olan lignin sayesinde ligninde bulunan fenolik hidroksil gruplarda modifiye olmaktadır. Böylece yaşlandırmaya karşı renk kararlılığı kısmen sağlanmaktadır.

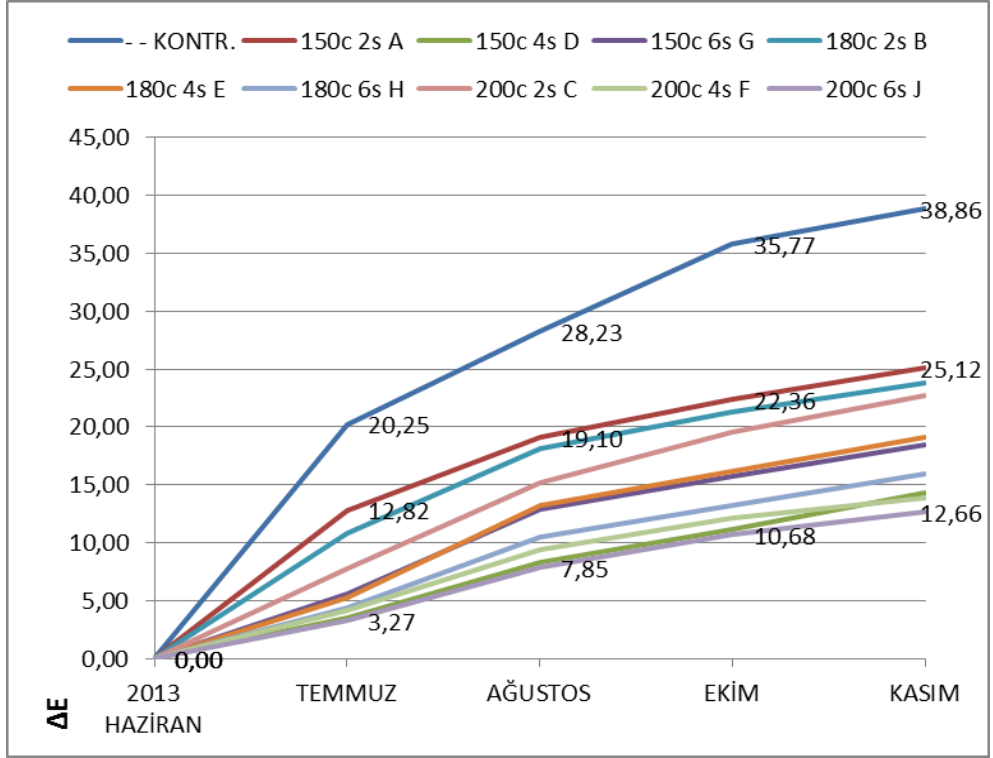
Srinivas and Pandey (2012), yaptıkları çalışmada 225 °C'de 2, 6 ve 8 saat ısıl işlem uygulanan odun numuneleri hızlandırılmış yaşlandırma deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, hızlandırılmış yaşlandırma deneyine tabi tutulan numunelerde ısıl işlemin derecesi arttıkça renk değişiminin arttığı ortaya konulmuştur. Sonuç olarak ısıl işlemin UV ışınlarının etkilerine karşı renk kararlılığı sağlama açısından bir faydasının olmadığı ortaya konulmuştur. Ancak, yaptığımız bu

çalışmada ise ısıtma işlemli numunelerin doğal yaşlandırmaya karşı renk kararlılıkları her iki ısıtma işlem çeşidi içinde olumlu sonuçlar vermiştir. Bu farklı sonuçların sebebi olarak doğal ve yapay yaşlandırma koşullarının farklı olmaları gösterilebilir.

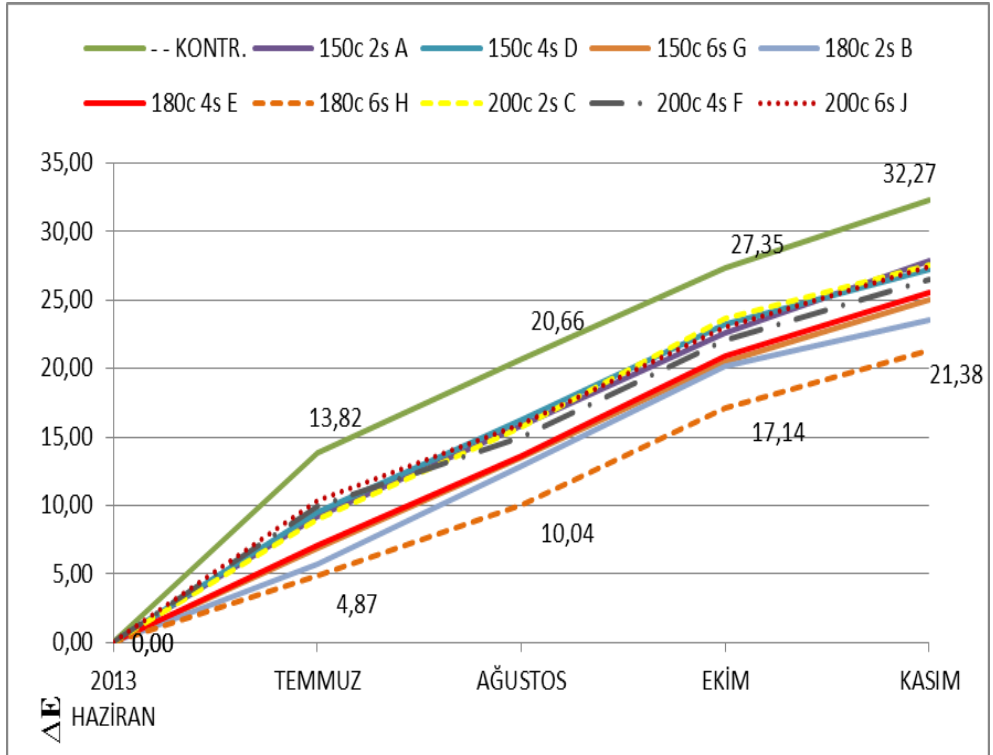
Tablo 4.21. Doğal Yaşlandırma Sonucu Oluşan Toplam Renk Değişimleri

GRUP	SICAKLIK (°C)	SÜRE (saat)	YAŞLANDIRMA SONUCU TOPLAM RENK DEĞİŞİMİ (ΔE)*					
			HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EKİM	KASIM	
Yağlı Isıl İşlem	KONTROL		0	20,25	28,23	35,77	38,86	
	150	2	0	12,82	19,10	22,36	25,12	
		4	0	3,45	8,32	11,18	14,29	
		6	0	5,61	12,92	15,72	18,42	
	180	2	0	10,85	18,18	21,24	23,85	
		4	0	5,27	13,19	16,21	19,11	
		6	0	4,37	10,52	13,23	15,90	
	200	2	0	7,75	15,18	19,59	22,66	
		4	0	4,10	9,41	12,12	13,91	
		6	0	3,27	7,85	10,68	12,66	
	Azot Atmosferinde Isıl İşlem	KONTROL		0	13,82	20,66	27,35	32,27
		150	2	0	9,23	15,86	22,58	27,90
4			0	9,53	16,26	23,28	27,28	
6			0	6,94	13,53	20,51	25,03	
180		2	0	5,77	12,87	20,16	23,54	
		4	0	7,12	13,67	20,86	25,57	
		6	0	4,87	10,04	17,14	21,38	
200		2	0	9,00	15,70	23,70	27,58	
		4	0	9,90	14,96	22,11	26,47	
		6	0	10,40	15,94	22,99	27,45	
Emprenye		Sarıçam/Kontrol		-	-	0	14,65	20,49
		Sarıçam/CCA		-	-	0	7,55	10,14
	Sarıçam/CCB		-	-	0	14,21	17,14	
	Uludağ göknarı/CCA		-	-	0	7,72	-	

\*:Aylık renk değişimleri bir sonraki aya önceki ayın değerleri eklenerek yazılmıştır.



Şekil 4.17. Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Yağlı Isıl İşlem



Şekil 4.18. Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Azot Atmosferi

Tablo 4.22. varyans analizi sonuçlarına göre, doğal yaşlandırmaya maruz bırakılan numunelerin renk değişimleri üzerinde ısıtma işlem yöntemlerinin ve emprenye çeşitlerinin anlamlı düzeyde etkilerinin oldukları saptanmıştır. Ayrıca, azot atmosferinde yapılan ısıtma işlem için sıcaklığın yağlı ısıtma işlem için ise süre, sıcaklık, süre ve sıcaklığın beraber etkilerinin anlamlı oldukları sonucuna varılmıştır. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre anlamlı çıkan faktörlerin etkilerini karşılaştırmak amacı ile Duncan testi uygulanmıştır.

Tablo 4.22. *Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Çoğul Varyans Analizi*

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
<b>Isıtma İşlem Yöntemleri Arası Fark</b>		7184,317	2	3592,158	124,718	0,000
<b>Emprenye Çeşitleri Arası Fark</b>		2130,270	2	1065,135	135,454	0,000
<b>AZOT</b>	<b>Süre</b>	153,477	2	76,738	2,293	0,103
	<b>Sıcaklık</b>	577,795	2	288,898	8,633	0,000
	<b>Süre/Sıcaklık</b>	181,219	4	45,305	1,354	0,251
<b>BEZİR YAĞI</b>	<b>Süre</b>	4306,063	2	2153,032	84,943	0,000
	<b>Sıcaklık</b>	627,679	2	313,840	12,382	0,000
	<b>Süre/Sıcaklık</b>	593,544	4	148,386	5,854	0,000

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

Tablo 4.23 'de yer alan doğal yaşlandırma sonucu toplam renk değişimi duncan testi sonuçlarına göre ısıtma işlem uygulanan numuneler kontrol numuneleri ile karşılaştırıldıklarında renk kararlılıklarının daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Örneğin, kontrol numunelerinde 5 ay süren doğal yaşlandırma sonucunda toplam renk değişimleri 38,856 ve 32,270 olurken azot atmosferinde yapılan ısıtma işlem numunelerinde 25,820 yağlı ısıtma işlem numunelerinde ise ortalama toplam renk değişimi 18,468 olarak bulunmuştur. Isıtma işlem faktörleri olan sıcaklık ve süre

incelendiğinde ise genel manada söz konusu faktörlerin şiddetlerinin artması ile doğal yaşlandırma sonucu oluşan renk değişimine karşı numunelerin renk kararlılığının arttığı söylenebilir. Ayrıca, emprenye uygulamasının doğal yaşlandırma renk kararlılıkları kontrol numunelerine göre anlamlı miktarlarda daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 4.23. Doğal Yaşlandırma Sonucu Toplam Renk Değişimi Duncan Testi

UYGULANAN İŞLEM FAKTÖRÜ					
ISIL İŞLEM					
Ortam		Ortalama Değer	Homojen Gruplar		
Bezir Yağ Kontrol		38,856	A		
Azot Kontrol		32,270	B		
Azot		25,820	C		
Bezir Yağı		18,468	D		
EMPRENYE					
Sarıçam Kontrol		20,49	A		
Sarıçam CCB		17,132	B		
Sarıçam CCA		10,145	C		
Uludağ göknarı CCA		7,720	D		
SICAKLIK FAKTÖRÜ					
AZOT			BEZİR		
SICAKLIK	Ort. Değ.	HG	SICAKLIK	Ort. Değ.	HG*
Kontrol	32,270	A	Kontrol	38,856	A
200 °C	27,193	B	180 °C	19,664	B
150 °C	26,735	B	150 °C	19,345	B
180 °C	23,500	C	200 °C	16,407	C
SÜRE FAKTÖRÜ					
AZOT			BEZİR		
SÜRE	Ort. Değ.	HG	SÜRE	Ort. Değ.	HG
Kontrol	32,270	A	Kontrol	38,856	A
4 saat	26,468	B	2 saat	23,974	B
2 saat	26,380	B	6 saat	15,827	C
6 saat	24,618	B	4 saat	15,660	C

\*: Homojen Gruplar

#### 4.6 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

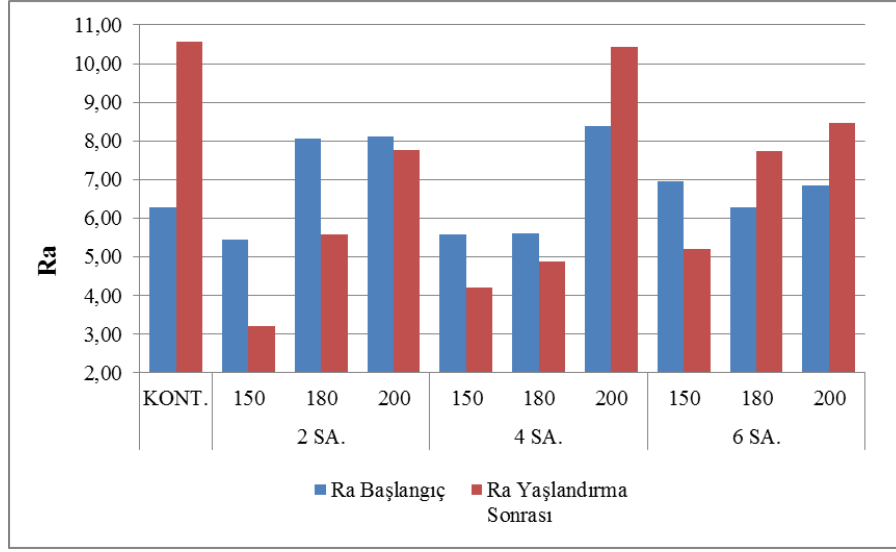
Emprenye ve ısıl işlem numuneleri yüzey pürüzlülüğü deney sonuçları Tablo 4.24.'de verilmiştir. Azot atmosferinde yapılan ısıl işlemin yüzey pürüzlülüğü performansına beklenen olumlu etkisi beklenenden düşük çıkmıştır. Örneğin, kontrol numunelerinin Ra değeri 11,164 iken 200 °C'de ısıl işlem uygulanan numunelerin yaşlandırma sonucu yüzey pürüzlülüğü değerleri Ra 9,847 olmuştur. Bu sonuçlara göre azot atmosferinde uygulanan ısıl işlemin yüzey pürüzlülüğü performansına olan katkısının düşük miktarlarda gerçekleştiği sonucuna varılmıştır (Tablo 4.24.).

Yağlı ısıl işlem uygulamasında ise sıcaklık ve süre faktörlerinin şiddeti düştükçe yaşlandırma sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri azalmaktadır (Şekil 4.19.). Örneğin, faktör parametrelerinden 150 °C ve 2 saat en düşük yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip olmuştur. Yağlı ısıl işlem uygulamasının yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerine olan katkısının olumlu olduğu söylenebilir. Ancak, yağlı ısıl işlem uygulamasında azot atmosferi sonuçlarından farklı olarak yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir miktar artış meydana gelmektedir. Bunun sebebi olarak da yüksek sıcaklık derecelerinde yağın odunda daha az miktarlarda tutunması olarak gösterilebilir.

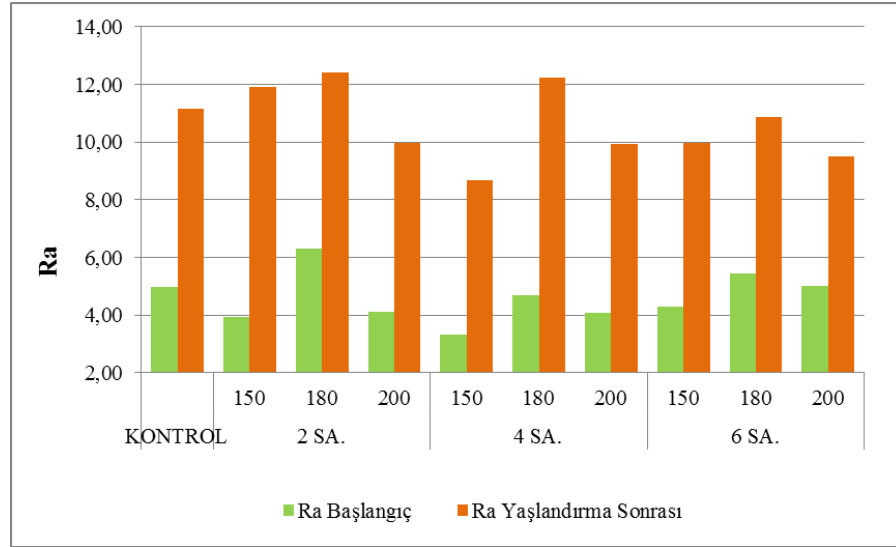
Diğer taraftan, referans ve ısıl işlem görmüş deney numunelerinde 5 ay süren doğal yaşlandırma deneyleri sonucunda herhangi bir çürüklük belirtisi gözlemlenmemiştir. Zaten, 5 ay süreli bir doğal yaşlandırma deneyi sonucunda odunda bir çürümenin başlaması veya oluşması genel olarak beklenmemektedir.

Tablo 4.24. *Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri*

GRUP	SÜRE (saat)	SICAKLIK (°C)	Doğal Yaşlandırma Öncesi Yüzey Pürüzlülüğü		Doğal Yaşlandırma Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü		
			Ra	SD	Ra	SD	
			<b>KONTROL</b>		6,292	2,35	10,564
Yağlı Isıl İşlem	2	150	5,438	2,19	3,219	1,12	
		180	8,063	1,68	7,243	2,37	
		200	8,128	3,07	7,771	3,54	
	4	150	5,593	2,21	4,208	2,46	
		180	5,596	3,71	4,878	1,91	
		200	8,374	2,29	10,424	4,31	
	6	150	6,956	2,26	5,214	1,69	
		180	6,293	1,45	7,737	2,64	
		200	6,837	2,31	8,462	2,15	
	Azot Atmosferinde Isıl İşlem	<b>KONTROL</b>		4,973	1,62	11,164	4,13
		2	150	3,926	1,02	11,918	3,10
			180	6,316	0,97	12,422	3,70
200			4,102	0,73	9,974	1,86	
4		150	3,323	0,85	8,679	2,74	
		180	4,701	0,89	13,189	4,28	
		200	4,093	1,06	9,954	1,73	
6		150	4,281	1,42	9,982	3,31	
		180	5,463	1,73	10,856	2,72	
		200	5,030	2,17	10,161	3,05	
Emprenye			<b>Retensiyon (kg/m<sup>3</sup>)</b>				
		<b>Sarıçam Kont.</b>	-	9,937	2,941	9,233	2,638
	<b>Sarıçam CCA</b>	3,78	9,315	3,005	8,745	2,485	
	<b>Sarıçam CCB</b>	3,89	10,099	2,553	10,620	2,404	
	<b>Göknar CCA</b>	2,9	10,108	4,379	10,925	4,452	



Şekil 4.19. Yağlı Isıl İşlem Numunelerinde Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü



Şekil 4.20. Azot Atmosferi Isıl İşlem Numuneleri Yaşlandırma Öncesi ve Sonrası Yüzey Pürüzlülüğü

Uygulanan farklı ısıl işlem yöntem ve parametrelerin doğal yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerindeki değişimlere olan etkilerini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmıştır. Tablo 4.25 varyans analizi sonuçlarına göre doğal yaşlandırma sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde ısıl işlem yöntemleri arası farkın, azot atmosferinde sıcaklığın, yağlı ısıl işlemde süre, sıcaklık,

süre ve sıcaklığın etkileri anlamlı bulunmuştur. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre anlamlı çıkan faktörlerin etkilerini karşılaştırmak amacı ile Duncan testi uygulanmıştır (Tablo 4.26.).

Tablo 4.25. *Yüzey Pürüzlülüğü Çoğul Varyans Analizi*

Varyans Kaynakları		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem Düzeyi*
<b>Isıl İşlem Yöntemleri Arası Fark</b>		1605,947	2	802,974	95,090	0,000
<b>Emprenye Uygulamaları Arası Fark</b>		61,852	4	15,463	1,327	0,267
<b>AZOT</b>	<b>Süre</b>	53,871	2	26,936	2,805	0,063
	<b>Sıcaklık</b>	120,696	2	60,348	6,285	0,002
	<b>Süre/Sıcaklık</b>	68,514	4	17,128	1,784	0,134
<b>BEZİR YAĞI</b>	<b>Süre</b>	95,395	2	47,697	6,266	0,002
	<b>Sıcaklık</b>	744,886	2	372,443	48,928	0,000
	<b>Süre/Sıcaklık</b>	202,201	4	50,550	6,641	0,000

\*: Önem Düzeyi  $\leq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemli

\*: Önem Düzeyi  $\geq 0.05$  ise Varyans Kaynağının Etkisi Önemsiz

Yüzey pürüzlülüğü duncan testi homojen gruplar (Tablo 4.26.) sonuçlarına göre yağlı ısıl işlem uygulanan numunelerdeki yüzey pürüzlülüğü değerleri azot atmosferinde uygulanan ısıl işlem numunelerinden ve kontrol numunelerinden ayrılarak düşük çıkmıştır. Ayrıca, yaşlandırma sonucu yüzey pürüzlülüğü değişim değerleri azot atmosferinde 200 °C ve 6 saat süre faktörlerinde en düşük çıkarak olumlu değerler vermiştir. Ayrıca, yağlı ısıl işlemde ise 150 °C ve 2 saat süre faktörleri en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerini vermiştir. Yukarıdaki sonuçlara göre azot atmosferinde ısıl işlem uygulamalarında yüksek sıcaklık ve uzun sürelerin, yağlı ısıl işlemde ise düşük sıcaklık ve kısa süre uygulamalarının yaşlandırma sonucu yüzey pürüzlülüğü değerlerine olan etkilerinin olumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 4.26.Yüzey Pürüzlülüğü Duncan Testi

UYGULANAN İŞLEM FAKTÖRÜ					
ISIL İŞLEM					
Ortam		Ortalama Değer	Homojen Gruplar		
Azot Kontrol		11,164	A		
Azot		10,657	A		
Bezir Yağ Kontrol		10,564	A		
Bezir Yağı		6,388	B		
EMPRENYE					
Uludağ göknar CCA		10,925	A		
Sarıçam CCB		10,620	A		
Sarıçam Kontrol		9,233	A		
Sarıçam CCA		8,745	A		
SICAKLIK FAKTÖRÜ					
AZOT ORTAMI			BEZİR YAĞI		
SICAKLIK	Ort. Değ.	HG	SICAKLIK	Ort. Değ.	HG*
180 °C	11,8407	A	Kontrol	10,564	A
Kontrol	11,1644	AB	200 °C	8,886	B
150 °C	10,1930	B	180 °C	5,840	C
200 °C	9,8467	B	150 °C	4,437	D
SÜRE FAKTÖRÜ					
AZOT ORTAMI			BEZİR YAĞI		
SÜRE	Ort. Değ.	HG	SÜRE	Ort. Değ.	HG
2 saat	11,4380	A	Kontrol	10,5636	A
Kontrol	11,1644	A	6 saat	7,1375	B
4 saat	10,2926	A	4 saat	6,5036	BC
6 saat	10,1877	A	2 saat	5,5221	C

\* HG: Homojen Gruplar

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

“Isıl işlemle muamele edilmiş göknar odununun biyolojik, mekanik, fiziksel ve dış ortam dayanımı özellikleri” isimli bu çalışmada, laboratuvar ve arazi deneyleri ortaklaşa yürütülmüştür. Azot atmosferi ve bezir yağı kullanılarak yapılan ısıl işlem sonucu Uludağ göknarı numunelerinde ve emprenye uygulaması yapılan referans numunelerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- 1- Bu çalışmada iki farklı ısıl işlem çeşidi denenmiştir. Bunlardan azot atmosferinde yapılan ısıl işlem çeşidi sonucu odunlarda bir miktar ağırlık kaybı gerçekleşirken buna bağlı olarak mekanik özelliklerde özellikle 200 °C gibi yüksek sıcaklık derecelerinde düşüşler meydana gelmiştir. Yağlı ısıl işlem numunelerinde ise bu ağırlık ve direnç kayıpları odun tarafından emilen yağ sayesinde görülmemiştir. Aksine olumlu olarak yağlı ısıl işlem sayesinde odunlarda ağırlık, yoğunluk ve mekanik dirençlerde artışlar söz konusu olmuştur. Ayrıca, yağlı ısıl işlem sırasında kullanılan bezir yağının uygulamadan sonra kurumaması ve yüzeylerde yağ bırakmaması, eskiden beri ahşap koruyucu olarak kullanılması uygulanan yağlı ısıl işlemin olumlu özellikleri olarak sayılabilir.
- 2- Her iki ısıl işlem metodu uygulaması sonucunda odunların denge rutubeti miktarı, su alma ve hacimsel şişme oranlarında düşüşler meydana gelmiştir. Göknar odunu ısıl işlemle muamele edildikten sonra rutubete ve suya karşı daha dayanıklı hale gelmiştir. Kontrol numuneleri ile karşılaştırıldıklarında özellikle yağlı ısıl işlem uygulanan numunelerde su alma oranlarında iyileşmeler gözlemlenmiştir. Ayrıca, bezir yağının su itici özelliği, ısıl işleme olumlu yönde bir etki sağlamıştır.
- 3- Doğal yaşlandırma deneyleri sırasında ahşap numuneler o anki mevsime bağlı olarak her türlü açık hava şartlarına maruz kalmışlardır. Bu etkilerin sonucu olarak kontrol numunelerinde renk değişimi, yüzeylerde çatlak oluşumu ve

yüzey pürüzlülüğünde artış meydana gelmiştir. Diğer taraftan ısıtma işlemi uygulanan numunelerin renk kararlılıkları ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kontrol numunelerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yağlı ısıtma işlemi uygulamasının renk ve yüzey pürüzlülüğü bakımından azot atmosferinde yapılan ısıtma işleminden daha iyi bir performans sergilediği belirlenmiştir.

- 4- Sonuç olarak, ısıtma işlemi ile birlikte ahşap malzemenin dış ortam şartlarında renk kararlılığı ve yüzey pürüzlülüğü bakımından daha dayanıklı hale geldiği söylenebilir. Bununla birlikte ısıtma işlemli odunun denge rutubeti miktarı, su alma ve hacimsel şişme oranlarının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun yanında mekanik özelliklerde de aşırı bir düşüşe rastlanılmamıştır. Beklendiği üzere 5 ay süreli bir doğal yaşlandırma deneyi sonunda numunelerde herhangi bir çürüme başlangıcı görülmemiştir.
- 5- En iyi performansı veren ısıtma işlemi yöntemi, uygulama sıcaklığı ve süresi ile ilgili yapılan verim artışı analizi sonuçlarına göre: a) 200 °C'de 6 saat süre azot atmosferinde ısıtma işlemi uygulaması sonucu odunlarda denge rutubeti % 48, 70 saat su almada % 30, hacimsel şişmede % 30, doğal yaşlandırma renk kararlılığında % 15 ve yüzey pürüzlülüğünde % 17,7 iyileşme ile b) 150 °C'de 2 saat süredeki yağlı ısıtma işlemi uygulaması sonucu denge rutubetinde % 49, 70 saat su almada %76, hacimsel şişmede % 26, renk kararlılığında % 35 ve yüzey pürüzlülüğünde % 159 iyileşme ile özelliklerinin olumlu ve uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Hem ekonomiklik hem de güvenilirlik açısından kullanılan yapı malzemelerinin uzun yıllar yüksek performans sergilemesi istenilmektedir. Ahşabın en büyük kusuru su alıp vermesi sonucu boyutlarını değiştirmesi ve bu değişimler ile oluşan iç gerilmeler ile çatlaması ve yüzey pürüzlülüğünün artması olarak sayılabilir. Ayrıca, kullanıcılar ahşaptan veya diğer malzemelerden iyi bir renk performansı da beklemektedirler. Rutubet ve su ile temasın sıklıkla görülebileceği ayrıca, güneş ışığından doğrudan etkilenen yerlerde ısıtma işlemle muamele edilmiş ahşap malzemenin kullanılması önerilebilir. Özellikle, mekanik direnç özelliklerinin önemli olduğu, su, rutubet ve

güneş ışınları etkisinin şiddetli olduğu kullanım yerlerinde bezir yağı ile ısıtım işlem görmüş ahşap malzemenin kullanılması tercih edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Ahmed, S., Yang, Q., Sehlstedt-Persson, M., & Moren, T. (2013). Accelerated mold test on dried pine sapwood boards: impact of contact heat treatment. *Journal of Wood Chemistry And Technology*, 33(3), 174-187.
- Akbaş, S. (2012). Kargı (*Arundo donax* L.) yıllık bitkisinden elde edilen biyo-yağın odun koruma maddesi olarak etkinliğinin araştırılması, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Trabzon.
- Akyıldız, M. H., & Ateş, S. (2008). 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.
- Akyildiz, M. H., Ates, S., & Ozdemir, H. (2009). Technological and chemical properties of heat treated anatolian black pine wood. *African Journal of Biotechnology* 8(11):2565-2572.
- Ates, S., Akyildiz, M. H., & Ozdemir, H. (2009). Effects of heat treatment on calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) wood. *Bioresources*, 4(3), 1032-1043.
- Aydemir, D. (2007). Gökmar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi, *ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bartın.
- Aydemir, D., Gunduz, G., Altuntaş, E., Ertas, M., Turgut Şahin, H., & Hakki Alma, M. (2011). Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and Uludag fir wood. *Bioresources*, 6(2), 1308-1321.
- Aydın, İ., & Çolakoğlu, G. (2003). Odun yüzeylerinde pürüzlülük ve pürüzlülük ölçüm yöntemleri, *Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, s. 1-2, 92-102.
- Barboutsis, I., Vasileiou, V., Mitani, A., & Kamperidou, V. (2011). Effects of short time thermal treatment on some properties of lime wood. *Pro Ligno*, 7(4), 39-49.
- Bekhta, P., & Niemz P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung: International Journal Of The Biology, Chemistry, Physics, & Technology Of Wood* 57, no. 5: 539.
- Boonstra, M. J. (2008). "A two-stage thermal modification of wood," *Ph.D. Thesis*, Ghent University, Belgium.

- Bozkurt, Y., & Erdin, N. (2000). *Odun anatomisi*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Bozkurt, Y., & Göker, Y. (1993). *Emprenye tekniği*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3779, Orman Fakültesi Yayın No: 425.
- Candelier, K., Dumurçay, S., Petrissans A., Desharnais, L., & Gerardin, P. (2013). Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: nitrogen or vacuum. *Polymer Degradation and Stability*, doi:10.1016/j.polymdegradstab. 2012.10.022.
- Carle, J. & Holmgren, P. (2008). Wood from planted forests: a global outlook 2005-2030. *Forest Products Journal* 58, 6.
- Chaouch, M., Petrissans, M., Petrissans, A., & Gerardin, P. (2010). Use of wood elemental composition to predict heat treatment intensity and decay resistance of different softwood and hardwood species. *Polymer Degradation and Stability*, 952255-2259.
- Curling, S. F.; Clausen, C. A., & Winandy, J. E. (2002). Relationships between mechanical properties, weight loss, and chemical composition of wood during incipient brown-rot decay. (*Solid Wood Products*) *The Free Library* (July, 1).
- Dubey, K. M. (2010a). Improvements in stability, durability and mechanical properties of radiata pine wood after heat-treatment in a vegetable oil. *Ph.D. Thesis, University of Canterbury, New Zealand*.
- Dubey, K. M. (2010b). Color and dimensional stability of oil heat-treated radiata pinewood after accelerated UV weathering. *Forest Products Journal*, 60(5), 453.
- Dubey, M., Pang, S., & Walker, J. (2012). Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment, *Holzforschung*, 66(1), 49-57.
- Ekinci, E. (2011). Su bazlı koruyucu maddelerle emprenye edilmiş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kestane (*Castanea sativa* mill.) örneklerinde açık havada meydana gelen fiziksel değişikliklerin belirlenmesi. *Bartın üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bartın.
- Esteves, B. M., & Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: a review. *Bioresources*, 4(1), 370-404.
- Esteves, B., Velez Marques, A., Domingos, I., & Pereira, H. (2007). Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*.41:193-207

- FAO, (2009). 'Status of the World's forests report 2009.' (Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome).
- Feist, W. C. & Hon, D. (1984). Chemistry of weathering and protection, *The Chemistry of Solid Wood* chap. 11. pp. 175-184.
- Feist, W. C. (1990). "Outdoor wood weathering and protection, archaeological wood, properties, chemistry and preservation," Rowell, R. (ed.), *Advances in Chemistry Series No. 225*. Washington DC: American Chemical Society; Chapter 11, 263-298.
- Feist, W. C., & Rowell, M. R. (1982). "UV degradation and accelerated weathering of chemically modified wood / UV ultraviolet degradation and accelerated weathering of chemically modified wood." *ACS Symposium Series - American Chemical Society AGRIS, EBSCOhost* (accessed December 6, 2013).
- Fengel, D., & Wegener, G. (1984). *Wood chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter De Gruyter, Berlin/Germany.
- Gezer, E. D. (2003). Kullanım süresini tamamlamış emprenye ağaç malzemelerinin yeniden değerlendirilme olanaklarının araştırılması, *Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Hamzaoğlu, M. (2013). Sözlü mülakat, Münire Medresesi, nahhat (Ahşap Oymacısı) dükkânı sahibi, Kastamonu.
- Hill, C. A. S. (2006), *Wood modification chemical thermal and other processes*, John Wiley & Sons Pres.
- Hon, D. N. S., & Shiraishi, N. (2001). *Wood and cellulosic chemistry*, Marcel Dekker, New York.
- İlter, E., Saraçbaşı, A., Balkız Ö. D., Erten, P. A., & Sözen, R. M. (2010). Çeşitli emprenye maddeleri ile emprenye edilmiş ağaç malzemenin açık hava testleri ile dayanıklılık sürelerinin tespiti (20. Yıl Sonuçları), *İç Anadolu Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları*, Teknik Bülten, No:290.
- Kamdem, D., Pizzi, A., & Jermannaud, A. (2002). Durability of heat-treated wood. *Holz Als Roh - Und Werkstoff*, 60(1), p. 1-6.
- Srinivas, K. & Pandey, K. K. (2012): Effect of heat treatment on color changes, dimensional stability, and mechanical properties of wood, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 32:4, 304-316.
- Kılıç, A., & Hafizoğlu, H. (2007). Açık hava koşullarının ağaç malzemenin kimyasal yapısında meydana getirdiği değişimler ve alınacak önlemler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* Seri: A, Sayı: 2, Yıl: 2007, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 175-183.

- Korkut, S. (2008). The effects of heat treatment on some technological properties in Uludağ fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) wood. *Building And Environment*, 43(Part Special: Building Performance Simulation), 43(4), 422-428.
- Korkut, S., Akgül, M. & Dündar, T. (2008). The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. *Bioresource Technology*, 99(6), 1861–1868.
- Kurt, Ş. (2006). Emprenye Edilmiş Lamine Ağaç Malzemelerin (LVL) Deniz Ortamında Bazı Teknolojik Özelliklerinin Değişimi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Bartın.
- Lebow, S., & Clausen, C. (2010). Challenges in accelerated testing of durable wood products. *Wood and Fiber Product Seminar : VTT and USDA joint activity*, September 22-23, 2009. VTT symposium ; 263. [Helsinki], Finland : VTT, c2010: p. 128-136.
- Liu, R. (1997). The Influence of Didecyldimethylammonium Chloride Treatment on Wood Weathering, *Ph. D Thesis, The Univ. of British Columbia*, Canada.
- Matsuo, M., Yokoyama, M., Umemura, K., Sugiyama, J., Kawai, S., Gril, J., & Imamura, M. (2011). Aging of wood: analysis of color changes during natural aging and heat treatment. *Holzforschung: International Journal Of The Biology, Chemistry, Physics, & Technology Of Wood*, 65(3), 361-368. doi:10.1515/HF.2011.040
- Metsä-Kortelainen, S., Paaanen, L., & Viitanen, H. (2011). Durability of thermally modified Norway spruce and Scots pine in above-ground conditions. *Wood Material Science And Engineering*. December 1, 2011;6(4):163-169. Available from: Scopus®, Ipswich, MA. Accessed July 21, 2013.
- Militz, H. (2002). Heat treatment technologies in Europe: scientific background and technological state-of-art. Proceedings of conference on “enhancing the durability of lumber and engineered wood products” February 11-13, 2002, Kissimmee, Orlando. Forest Products Society, Madison, US.
- Morrell, J. (2008). *Wood preservation, commercial pesticide applicator training*.
- Nuopponen, M., Wikberg, H., Vuorinen, T., Maunu, S. L., Jämsä, S., & Viitaniemi, P. (2004). “Heat-treated softwood exposed to weathering,” *J. Applied Polymer Science* 91, 2128-2134.
- Orman Atlası*, (2007). Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ozgenç, O., Hiziroglu, S., & Yildiz, U. C. (2012). Weathering properties of wood species treated with different coating applications. *Bioresources*, 7(4), 4875-4888.

- Öztürk, K. (2002). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. *G.Ü Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 22 - Sayı 1, 47-65.
- Phuong, L. X., Shida, S., Saito, Y., & Momohara, I. (2006). Effect of heat treatment on bending strength and decay resistance of *Styrax tonkinensis* wood. *木材保存*, 32(1), 7-12. doi:10.5990/jwpa.32.
- Rowell, R. M., & LeVan-Green, S. L. (2005). Thermal properties, *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, CRC Press.
- Sailer, M., Rapp A. O., & Leithoff, H. (2000). Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. *The International Research Group on Wood Preservation IRG/WP 00-40162*.
- Sakai, H., Iwamoto Y., Takafumi, I., & Sato, T. (2008). Biological resistance and hygroscopicity of the heat-treated wood under nitrogen gas. *Mokuzai Hozon (Wood Protection)*,34(2), 69-79.
- Sinha, A., Gupta, R., & Nairn, J. A. (2011). Thermal degradation of bending properties of structural wood and wood-based composites. *Holzforschung: International Journal Of The Biology, Chemistry, Physics, & Technology Of Wood*, 65(2), 221-229.
- Sivrikaya, H. (2003). Diri ve öz odunun empenye edilebilirliği ve dayanım özellikleri. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.
- Stamm, A. J. (1956). Thermal degradation of wood and cellulose. *Ind. Eng. Chem.* 48, 413-417.
- Stamm, A. J., Burr, H. K., & Kline, A. A. (1946). Staybwood-heat-stabilized wood, *Industrial and Engineering Chemistry* 38, 630-634.
- Temiz, A. (2005). Benzetilmiş dış hava koşullarının empenyeli ağaç malzemeye etkileri, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Trabzon.
- Temiz, A., Terziev, N., Jacobsen, B., & Eikenes, M. (2006). Weathering, water absorption, and durability of silicon, acetylated, and heat-treated wood. *Journal Of Applied Polymer Science*, 102(5), 4506-4513. doi:10.1002/app.24878
- Temiz, A., Yildiz, U. C., Aydin, I., Eikenes, M., Alfredsen, G., & Çolakoğlu, G. (2005). Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied Surface Science*, 250:35-42.
- Tiemann, H. D. (1917) 'The kiln drying of lumber : a practical and theoretical treatise ' (Philadelphia : Lippincott).

- Tiemann, H. D. (1915). The effect of different methods of drying on the strength of wood. *Lumber World Review*, 28(7), 19–20.
- Tomak, E. D., Viitanen, H., Yildiz, U. C., & Hughes, M. (2011). The combined effects of boron and oil heat treatment on the properties of beech and Scots pine wood. Part 2: Water absorption, compression strength, color changes, and decay resistance. *Journal of Materials Science*, 46(3), 608-615.
- TS 11072, (1993). Yer üstü yapılarda kullanılan ahşabın emprenyesi. TSE, ANKARA.
- TS 2471, (2005). Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı Tayini. TSE, ANKARA.
- TS 2472, (2005). Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. TSE, ANKARA.
- TS 2474, (2005). Odunun statik eğilme dayanımının tayini. TSE, ANKARA.
- TS 2478, (2005). Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini. TSE, ANKARA.
- TS 2595, (2005). Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini. TSE, ANKARA.
- TS 4084, (2005). Odunda radyal ve teğet doğrultuda şişmenin tayini. TSE, ANKARA.
- TS 5986, (1988). Ahşap koruma-Emprenye maddelerinin etkinliklerinin arazi deneyleri ile tayini. TSE, Ankara.
- Vjekoslav, Ž., Ivan, P., Hrvoje, T., Tomislav, S., & Vlatka, J. (2008). Dimensional stability of heat treated wood floorings, *Drvna Industrija*, (2), 69.
- Vurdu, H., & Kılıç. A. (1998). Ahşap korumada kullanılan emprenye maddeleri ile ilgili standart deneylerdeki problemler. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, Yıl:4, Sayı:5, Sayfa: 127-132.
- Williams, R. S. (2005). *Weathering of wood. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Yeni Turan Bezir Yağı San. ve Tic. A.Ş Türk nevi bezir yağı güvenlik bilgi formu, (2011).
- Yıldız, Ü. C. (2005). *Odun koruma basılmamış ders notları*, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü.

- Yıldız, S. (2002). Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri, *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Trabzon.
- Yildiz, S., Yildiz, U. C., & Tomak, E. D. (2011). The effects of natural weathering on the properties of heat-treated alder wood. *Bioresources*, 6(3), 2504.
- Zhang, J., Kamdem, D., & Temiz, A. (2009). Weathering of copper-amine treated wood. *Applied Surface Science*, 256(3), 842-846. doi:10.1016/j.apsusc.2009.08.071

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman Emre ÖZKAN

Doğum Yeri : ÇORUM

Doğum Tarihi : 1988

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Çorum Anadolu Lisesi 2006

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği 2010

Yüksek Lisans: Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği ABD 2011-2013

Çalıştığı Kurum: Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Arş. Gör. 2010-...

### Yayımları (SCI ve diğer) :

Olgun, Ç., **Özkan, O. E.**, & Vurdu, H. (2012). Kastamonu'da yetişen mürver türlerinin botanik ve kullanım özellikleri. *Kastamonu'nun Doğal Zenginlikleri Sempozyumu*, 46-49 sf.

Vurdu, H., Kesik, H. İ., Kurtuluş, O. Ç., & **Ozkan, O. E.** (2013). "Some physical and mechanical properties of antique and fresh cut *Pinus sylvestris* and *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* woods", Int. Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millennium-ICWSE 2013", November 7-9, 2013, *Pro Ligno*, 9(4), pp. 562-567, Brasov-Romania.

Ates, S., Kara, R., & **Ozkan, O. E.** (2013). Effects of thermal treatment on medium density fiberboard. *International Wood Composites Symposium*, April 3-4, 2013, Seattle, Washington.

Esen, R., Özcan C., Likos E., & **Özkan, O. E.** (2012). The effects of exposed to sea water steam on thermal conductivity of varnished fir wood. IUFRO-14th *International Fir Symposium*, 12-14 September, 2012. Kastamonu-Turkey.

Köse, G., Temiz, A., Akbaş, S., & **Özkan, O. E.** (2013). Effect of climate factors on wood veneers exposed to outdoor conditions in black sea region. *International Caucasian Forestry Symposium*, 24-26 October, 2013, pp. 870-877, Artvin-Turkey.