



## Doğu Kayını ve Saplı Meşe Odunlarının Bazı Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi

Gökçe BÜRÜÇ<sup>1</sup>, Deniz AYDEMİR<sup>1\*</sup>, Kıvanç BAKIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 74100, Bartın

<sup>2</sup>Bartın Üniversitesi, Bartın Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşletme Teknolojileri Bölümü, 74100, Bartın

### Öz

Ahşap, birçok sektörde kolay işleme, direnç değerleri ve fiyat gibi birçok avantaj için kullanılmıştır. Tüm bunlar için, ahşap malzemelerin yüksek hidrofilik davranış, düşük termal kararlılık gibi birçok dezavantajı vardır. Dezavantajların azaltılması için çeşitli teknikler kullanılmıştır. Ahşap malzemelerin ısıtılması bu tekniklerden biridir. Bu çalışmanın amacı 180°C ve 220°C'de 8 saat ısıtılmış ahşabın bazı fiziksel, mekanik ve termal özelliklerini araştırmaktır. Isıtılma sonrası; yoğunluk, su alma ve renk değişikliği gibi fiziksel özellikler, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, basınç direnci ve yapışma direnci gibi mekanik özellikler ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile morfolojik özellikler ve termogravimetrik analiz (TGA) ile termal özellikler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ısıtılma görmüş ahşap malzemelerin yoğunluk ve su alma oranları azaldı ve ısıtılma sonrası odun renginde koyulaşma meydana gelmiştir. Isıtılma, muamele sıcaklığına bağlı olarak tüm mekanik özellikleri düşürmüştür. Isıtılma sıcaklığı 180°C'den 220 °C'ye yükselirken, mekanik özelliklerdeki düşüş daha da artmıştır. Isıtılma ayrıca her iki ahşap materyalin de termal kararlılığını arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Odun, ısıtılma, odun modifikasyonu, malzeme karakterizasyonu.

## The Effects of Heat Treatment on the Some Properties of Beech and Oak Wood

### Abstract

Wood has been used to many advantages such as their easy processing, strength values, and price in the many sectors. For all that, wood materials have many disadvantages such as high hydrophilic behavior, low thermal stability. The various treatment technics were used to overcome the disadvantages. The heat treatment of wood materials is one of the technics. The aim of this study was to determine some physical, mechanical and thermal properties of heat-treated wood at 180°C and 220°C for 8 h. After heat treatment process; physical properties such as density and water absorption and color changes, mechanical properties such as flexural strength and flexural modulus, compression strength and lap shear strength, and morphological characterization with scanning electron microscopy (SEM) and thermal stability with thermogravimetric analysis (TGA) were investigated. According to the obtained results, density and water absorption of heat-treated wood materials decreased, and after the heat treatment, the colour of the wood materials changed. The heat treatment also decreased all mechanical properties according to the treatment temperature. While temperature in the heat treatment was rising from 180°C to 220°C, the mechanical properties decreased more. Thermal stability of wood materials also was determined to increase with heat treatment.

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

### \*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Deniz AYDEMİR (Dr): Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, 74100, Bartın. Tel: 0 (378) 223 5094, Fax: 0 (378) 223 5062. E-mail: [denizaydemir@bartin.edu.tr](mailto:denizaydemir@bartin.edu.tr) ORCID: 0000-0002-7484-2126

Geliş (Received) : 12.06.2019  
Kabul (Accepted) : 29.07.2019  
Basım (Published) : 15.12.2019

## 1. Giriş

Isıl işlemin ahşap malzemenin çeşitli özellikleri üzerine etkileri konusunda birçok çalışma yapılmıştır (Chotikhun ve Hızıroğlu 2016, Kesik vd. 2014, Gündüz vd. 2009, Kaygın vd. 2009a, Kaygın vd. 2009b). Ahşap materyal yüksek sıcaklıklarda ısıtıldığında yapısında kalıcı değişimler meydana gelmektedir. Kimyasal bileşenlerin yüksek sıcaklıklarda bozulmasıyla ahşap materyalin boyutsal kararlılığı iyileşmektedir. Ligninde meydana gelen değişimlerle odun rengi kahverengi bir hal almaktadır. Aynı zamanda ahşap materyaldeki kütle kaybı hem yoğunluğu hem de mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir (Bourgeois vd. 1991, Obayata vd. 2000, Gündüz vd. 2007, Gündüz vd. 2008). Isıl işlem yöntemiyle odunun özellikleri değiştirilebilmekte ve farklı uygulama yerlerine uygun ahşap materyal üretilebilmektedir. Bu nedenle ahşap materyalin ısı işlemi sonucunda fiziksel ve mekanik karakterizasyonu önem arz ettiği için bu konuda birçok bilimsel çalışma yürütülmüştür. Yapılan bir çalışmada Kol (2010) tarafından endüstriyel olarak önemli olan iki ağaç türü, Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve göknar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) thermowood işlemi kullanılarak muamele edilmiştir. Isıl işlem sonucunda her iki ahşap türünün basınç direnci dışındaki mekanik özelliklerinin azalttığı belirlenmiştir. Isıl işlemle eğilmede elastikiyet modülü, çam için %13,1 ve göknar için %9,5 oranında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, ısı işlem sırasıyla çam ve göknar için eğilme direncinde %59,5 ve %10,5 oranında azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Yapılan başka bir çalışmada, Yıldız vd. (2011) ısı işlem uygulanmış kızılğaçında doğal hava koşullarının biyolojik direnç, mekanik özellikler ve renk kararlılığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ısı işlem uygulanmış kızılğaç örneklerinin bozunma endeksinin, kontrollerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Toprak mikroorganizmalarının neden olduğu çürüme, ısıdan daha fazla kopma modülü kaybına yol açmıştır. Ayrışma sürecinin dikkate değer renk değişikliklerine neden olduğu belirtilmektedir. Ding vd. (2011) ısı işlem uygulanmış çam kerestesini sırasıyla atmosferik buharda ve basınçlı buharda işlemiş kerestesinin fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırmıştır. Sonuçlar, her iki işlemde de dinamik kırılma tokluğunun, paralel basınç mukavemetinin, elastikiyet modülünün ve numunelerdeki kopma modülünün istatistiksel olarak farklı olmadığını göstermiştir. Basınçlı buharda işleminden geçirilen numunelerin, atmosferik buharda işlenenlere kıyasla önemli ölçüde higroskopisiteyi azalmış ve yüksek boyutsal stabiliteye sahip oldukları belirlenmiştir. Diğer bir çalışmada Kocaeve vd. (2012) tarafından Kuzey Amerika ağaç türlerinden çam, huş ağacı ve kavak odunları ısı ile muamele edilmiş ve yapay hava koşullarında farklı zamanlarda ahşap yüzey üzerinde meydana gelen kimyasal değişiklikleri değerlendirmek için X-ışını foto elektron spektroskopisi (XPS) çalışması gerçekleştirilmiştir. XPS spektrum sonuçları, hava şartlarına bağlı olarak O/C (oksijen/karbon) oranının arttığını ve ısı ile işlenmiş ahşap yüzeylerin oksitlendiğini göstermektedir. Isıl işlem sonucu odun yüzeyleri selüloz bakımından zenginleşmiştir ve oksidasyonun neden olduğu oksitlenmenin bir sonucu olarak lignin açısından zayıf olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, ligninin, ısı ile işlenmiş ahşap yüzeylerindeki diğer bileşenlerden hava koşullarına karşı daha duyarlı olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca ısı işlemin ağaç malzemenin ki asiditesinin azalmasına neden olduğu saptanmıştır. Buna hemiselülozların bozunmasının ve hemiselülozlarda esas olarak bulunan karboksilik asit fonksiyonlarının azalmasının neden olduğu tahmin edilmektedir. Ökalyptus ve çam odunları 170,190 ve 210 °C sıcaklıklarda ısıyla muamele edilmiş, Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) spektroskopik analizi ile kimyasal özellikler üzerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Isıl işlemin, polisakaritler ve lignin yapısını değiştirerek ahşabın kimyasal bileşimi ve yapısında önemli değişiklikler meydana getirdiği görülmüştür. Bu durum FTIR analizi ile gözlemlenebilmiştir. Hemiselülozların destilasyon nedeniyle bozulan ilk bileşenler olduğu belirlenmiştir. Sert odundaki ligninin, alifatik yan zincirlerin kopması nedeniyle yumuşak odundaki lignininden daha fazla değiştiği görülmüştür (Estaves vd. 2013). Yapılan başka bir çalışmada, Araujo vd. (2016) 3 farklı Brezilya türü olan *Aspidosperma populifolium*, *Dipteryx dorata* ve *Mimosas cabrella* odunları 180, 200 ve 220 °C sıcaklıkta 1 saat muamele edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, muamele sonrasında üç tür için de daha düşük denge rutubeti elde edilmiştir. Buna karşın boyutsal kararlılığındaki azalma çok düşük oranlarda kalmıştır. Ayrıca odunun su alışveriş davranışlarının değiştiği saptanmıştır. Mekanik özelliklere bakıldığında üç odun türü içinde hem sertlik değerleri hem de eğilme direnç değerlerinde artışlar saptanmıştır.

Bütün bu çalışmalar sonucunda çalışmamızın amacı, 180 ve 220°C sıcaklıkta 8 saat süre ile Doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.) ve Saplı meşe (*Quercus petraea* L.) odunlarının muamelesi sonrasında bazı fiziksel, mekanik, morfolojik ve termal özelliklerini araştırmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

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

%12'ye ulaşınca kadar iklimlendirme dolabında tutulmuştur.

## 2.2. Metot

Bartın Üniversitesi Mobilya Atölyesinde meşe ve kayın odunları test örnekleri hazırlanmış ve hazırlanan örnekler ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Testler öncesinde numuneler iklimlendirme kabiniinde %65 bağıl nem ve 20 °C sıcaklığa sahip ortamda 1 ay bekletilmiştir. Kondisyonlama sonrasında ısıtma işlemi uygulanmış parçalardan TS 2474 (2005) standardına göre eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü için 20x20x360 mm, TS 2471 (2005) standardına göre basınç direnci için 20x20x30 mm ve TS EN 392 (1999) standardına göre ise yapışma direnci için 2x0,5x150 mm ölçülerinde dikdörtgen prizması şeklinde 10'ar adet test örneği hazırlanmıştır. Bu örnek hazırlama aşaması hem ısıtma işlemi görmüş numuneler için hem de kontrol numuneleri için ayrı ayrı yürütülmüştür.

## 2.3. Isıl İşlem

Isıl işlem yöntemi; kurutma, ısıtma ve dengeleme olmak üzere 3 kademe uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan ısıtma işlemi Viitaniemi'nin çalışmasında (Viitaniemi, 1997b) uyguladığı yöntemle benzer şekilde uygulanmıştır. Buna göre, hava kurusu rutubetteki (%12) test örnekleri  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  sıcaklık duyarlılığı olan bir etüv içerisinde hava akımı sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir. Isıl işlem boyunca ahşap malzemelerin zarar görmesini azaltmak için her 30 dakikada bir kabine su buharı verilmiştir. Isıl işlem 180°C ve 220°C sıcaklıkta 8 saat süreyle yapılmıştır. Isıl işlem bitiminde kabinden alınan örnekler, kütle kaybının belirlenmesi için 0,01 mm duyarlı dijital bir tartı yardımıyla tam kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra örnekler 20°C sıcaklık ile %65 bağıl nem koşullarına getirilen iklimlendirme cihazında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Isıl işlem uygulaması her iki ağaç türü için iki ayrı sıcaklık iki ayrı tür ve tek süre kombinasyonu ile toplam 4 varyasyonda yapılmış olup formülasyonlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1. Isıl işlemde kullanılan parametreler.

Ağaç Türü	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	Örnek Sayısı
Meşe	180	8	10
Meşe	220	8	10
Kayın	180	8	10
Kayın	220	8	10

## 2.4. Metot

### 2.4.1. Fiziksel Özellikler

#### Yoğunluk

Örneklerin ısıtma işlemi uygulaması sonrası yoğunluk değişimleri 20x20x30 mm boyutlarındaki numuneler kullanılarak TS 53 (2005) esaslarına göre yapılmıştır.

#### Su Alma

20x20x30 mm boyutlarında hazırlanan numunelerin su alma oranları TS 4084 (1983) standartlarında belirtildiği gibi belirlenmiştir.

#### Renk Değişimi

Renk ölçümleri beyaz renge göre  $a=4,91$ ;  $b=3,45$ ;  $c=6,00$ ;  $L=324,9$  olacak biçimde kalibre edilebilen renk ölçüm cihazı ile önce kontrol örnekleri, sonrada muamele sırasına göre ısıtma işlemi uygulanmış örneklerdeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca kırmızı renk tonu ( $a^*-a$  (yeşil) $\leftrightarrow$ ++a (kırmızı)), sarı renk tonu ( $b^*-b$  (mavi) $\leftrightarrow$ ++a (sarı)) ve renk açısı ( $L^*-L$  (siyah) $\leftrightarrow$ ++L (beyaz)) değerleri birbirinden ayrı olacak şekilde incelenmiştir. Buna ek olarak, toplam renk değişimi ( $\Delta E$ )'de belirlenmiştir.

### 2.4.2. Mekanik Özellikler

#### Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesi için TS 2474 (2005), standartlarına uygun olarak 20x20x360 mm boyutlarında 10 adet kontrol ve ısıtma işlemi görmüş örnekler hazırlanarak yürütülmüştür. Eğilme testi TS 2474 (2005) standardına göre yapılmış olup yine aynı standarda göre eğilme dirençleri ve

eğilimde elastikiyet modülleri belirlenmiştir.

#### *Basınç Direnci*

20x20x30 mm boyutlarında kesilen 10'şar adet kontrol ve ısıl işlem görmüş örnekler hazırlanarak TS 2595 (1977) standardına göre basınç dirençleri belirlenmiştir.

#### *Yapışma Direnci*

Çekme testinde kullanılan örnekler TS EN 392 (1999) standardına göre hazırlanmıştır. Örnekler hazırlanırken tutkal olarak poliüretan kullanılmış ve yüzeylere 220 g/m<sup>2</sup> olacak şekilde fırçayla tatbik edilmiştir. Birbirine yapıştırılan numuneler sertleşmenin gerçekleşmesi için 1 MPa basınç altında ve soğuk pres yardımıyla yapılmıştır.

### **2.4.3. Elektron Mikroskobu ile Morfolojik Karakterizasyon**

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

### **2.4.4. TGA Analizi**

Örnek ağırlığının; deney esnasındaki sıcaklık ve zamana göre değişiminin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 10 mg'lık örnekler üzerinde gerçekleştirilen TGA deneyinde Perkin Elmer marka TG-DTA cihazı kullanılmıştır. Bu deneyde oksidasyonu önlemek için 20 ml/dk akış hızında azot gazı kullanılmıştır. Test sırasında 10 °C/dk ısıtma hızıyla sıcaklık oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar arttırılmıştır.

### **2.4.4. İstatistiki Analizi**

Çalışmada istatistiki analiz için SPSS 16 paket programı kullanılmıştır. Örnekler için öncelikle tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) yapılarak istatistiki olarak değişimlerin anlamlı olup olmadığı tespit edilmiştir. Değişimlerin anlamlı olduğu durumlarda hangi gruplar arasındaki değişimlerin olduğu tespit etmek için Duncan testi gerçekleştirilmiştir ve anlamlı fark olan gruplar A, B, C...vb. gibi harflerle kodlanmıştır.

## **3. Bulgular ve Tartışma**

### **3.1. Fiziksel Özellikler**

Kayın ve Meşe odunlarının ısıl işlem sonrasında fiziksel özelliklerindeki değişimler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'ye bakıldığında yoğunluk değeri meşe odunu için 0,59-0,68 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Isıl işlem sıcaklığı 180°C'den 220 °C'ye artarken düşmüştür. En düşük yoğunluk 0,59 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Benzer bir trend Kayın odunu için de tespit edilmiştir. Ayrıca Meşe odununda en yüksek azalma oranı %13 iken, Kayın odununda en yüksek azalma oranı ise %19 olarak saptanmıştır. Yapılan bir çalışmada, Yüksek sıcaklıklarda, odunun uçucu bileşenleri ve hemiselülozlardaki parçalanmadan dolayı gerek kütlede gerekse denge rutubet oranlarında azalma sağladığı ve bu durumun yoğunluğu düşürücü etkiye sebebiyet verdiği saptanmıştır (Won vd. 2012). Isıl işlem sonrasında ahşap malzemedeki yoğunluk kaybı diğer yapılan çalışmalarda da saptanmıştır (Gündüz vd., 2009, Ayan ve Ciritcioğlu 2012). Su alma değerlerine bakıldığında ise ısıl işlem sıcaklığı hem Meşe hem de Kayın odununun su alma oranını azaltmıştır. Özkan vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada sarıçam ve uludağ göknar odunları 190 °C'de ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem görmüş sarıçam ve göknar odun örneklerinin su alma oranlarında azalma gözlenmiştir. Ayrıca sarıçam odununun su alma kapasitesi göknar odununa göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlem sonrasında odunun su alma ve denge rutubetindeki azalma hemiselülozun asit hidrolizi ve de-karboksilasyon reaksiyonlarının yanında lignindeki kondenzasyon reaksiyonları, eter bağlarındaki kırılmalar ve demetoksilasyon oluşumlarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca selülozun amor kısımlarındaki parçalanma sonucunda selüloz zincirlerinin kristallik oranlarındaki artış da bu düşüşe katkı sağlayabileceği birçok çalışmada ifade edilmektedir (Källbom vd. 2016, Tjeerdsma ve Militz 2005, Altgen vd. 2016, Nuopponen vd. 2015, Tjeerdsma vd. 1998, Windeisen vd. 2007).

Tablo 2. Isıl işlem sonrasında Meşe ve Kayın odununun fiziksel özelliklerindeki değişimler.

Örnekler	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Su alma (%)	ΔL	Δa	Δb	ΔE
MK	0,68 B	35,4 B	69,4 C	6,9 B	20,1 B	72,5 C
180M	0,62 A	25,9 A	51,2 B	8,2 C	18,2 B	54,9 B
220M	0,59 A	22,2 A	30,3 A	3,6 A	4,2 A	30,8 A
KK	0,62 B	47,3 C	67,9 C	11,1 B	20,0 B	71,6 C
180K	0,58 B	37,1 B	54,7 B	10,6 B	18,9 B	58,8 B
220K	0,50 A	32,9 B	29,6 A	3,8 A	5,7 A	30,4 A

Isıl işlem sonrası renk değişimleri CIE Lab renk sistemine göre belirlenmiştir. Tablo 2'ye göre ΔL değeri ısıl işlem sıcaklığı artarken düşmüştür. Δa değeri de genellikle düştüğü belirlenmiştir. Δb değerine bakıldığında ise ısıl işlem sıcaklığı ısıl işlem sıcaklığıyla düşmüştür. Toplam renk değişimine bakıldığında ise benzer bir trend belirlenmiş olup ΔE değeri Meşe için 72,5'den 30,8'e ve Kayın için 71,6'dan 30,4'e düştüğü belirlenmiştir. Isıl işlem sonrası renk değişimi üzerine yapılan bir çalışmada, Li vd. (2011) uludağ göknar odununu 160, 180, 200 ve 220°C sıcaklıklarda ısıl işleme tabii tutmuştur. Test sonuçları ısıl işlemin odunun rengini koyulaştırdığını göstermiştir. Yapılan çalışmalarda odunun 180-250°C ısıyla muamelesi sonrasında odunda koyulaşma meydana geldiği saptanmıştır. Bu koyulaşmanın yüksek sıcaklıklarda lignin, selüloz ve hemiselülozların asit hidrolizi sonucunda parçalanmalarından kaynaklandığı özellikle lignin kimyasal yapısındaki değişimlerin renk değişimi üzerinde önemli etkilerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bası Ekstraktif maddelerin ve reçinenin odunun renk değişimini etkilediği ifade edilmektedir (Bekhta ve Niemz 2003, Hill 2006, Srinivas ve Pandey 2012, Barcik vd. 2015).

### 3.2. Mekanik Özellikler

Isıl işlem sonrası Kayın ve Meşe odunlarının mekanik özelliklerindeki değişimler Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca yapılan istatistik sonuçlarına göre anlamlı değişim saptanan gruplarda yapılan Duncan Test sonuçları da Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Isıl işlem sonrasında Meşe ve Kayın odununun mekanik özelliklerindeki değişimler.

Örnekler	Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Yapışma Direnci (N/mm <sup>2</sup> )
MK	107 C	9780 A	66,5 A	6,4 B
180M	73,1 B	8040 B	50,7 A	5,7 AB
220M	49,1 A	6290 B	46,7 A	4,1 A
KK	99,5 C	9260 A	67,4 A	6,7 C
180K	89,4 B	8350 B	58,7 A	4,0 B
220K	29,4 A	4980 B	54,5 A	1,3 A

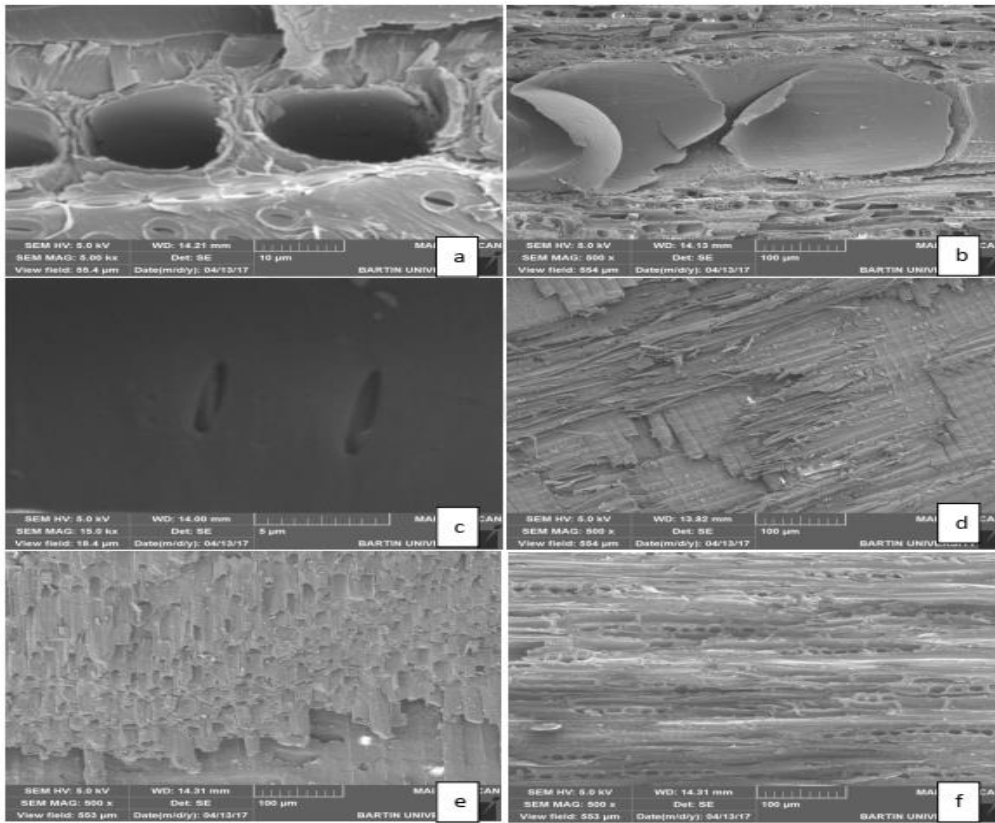
Tablo 3'e bakıldığında mekanik özelliklerdeki değişimler görülmektedir. Eğilme direnci değerlerinin ısıl işlemle beraber düştüğü görülmektedir. Özellikle ısıl işlem sıcaklığının artması düşüş oranlarını artırmıştır. En yüksek eğilme direnci değeri kontrol meşe odunları için saptanırken, en düşük eğilme direnci değeri ise 220 °C'de Kayın odunlarında saptanmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü değerine göre en yüksek değerler yine kontrol odunları için saptanmıştır. En düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ise 220 °C'de Kayın odunlarında gerçekleşmiştir. Basınç direncine bakıldığında eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülündeki değişim trendine benzer bir değişim görülmektedir. Yapışma direnci değerlerine bakıldığında, ısıl işlemin yapışma direncini düşürdüğü görülmektedir. Özellikle Kayın odununda ısıl işlemin ciddi zararlar verdiğini söylemek zor değildir. Özellikle 220°C sıcaklıktaki yapışma direnci %80,6 oranında düşerek en düşük yapışma direnci olmuştur. Sonuç olarak, tüm mekanik testlerde en yüksek değerler kontrol odunları için saptanırken en düşük değerler en yüksek muamele sıcaklığı olan 220 °C sıcaklıkta gerçekleştiği görülmektedir. Bu düşüşlerin gerek yapıda meydana gelen mikro çatlaklar gerekse odun bileşenlerinin bozunmasıyla meydana gelen yoğunluk kaybından oluştuğu söylenebilir. Yapılan başka bir çalışmada, sarıçam odunu kullanılarak 150 °C, 170 °C ve 190 °C'ler de ısıl işleme tabii tutulmuştur. En düşük elastikiyet modülü 190 °C'de ısıl işlem görmüş sarıçam



odununda tespit edilmiştir. En yüksek kontrol sarıçam odununda tespit edilmiştir. En düşük basınç direnci kontrol sarıçam odununda tespit edilmiştir. En yüksek 170 °C'de ısı işlem görmüş sarıçam odununda tespit edilmiştir. En düşük eğilme direnci 150 °C'de ısı işlem görmüş sarıçam odununda tespit edilmiştir. En yüksek 190 °C'de ısı işlem görmüş sarıçam odununda tespit edilmiştir (Özçiftçi vd., 2009). Başka bir çalışma da ise doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* L.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kara kavak (*Populus nigra* L.) odunları 150, 175 ve 200 °C'de ısı işleme tabi tutmuşlardır. Kontrol örneklerine göre en yüksek yapışma direnci kaybı 200 °C'de ısı işlem gören örneklerde gerçekleşmiştir (Perçin ve Uzun, 2014). Literatürler incelendiğinde çalışmamız da elde edilen sonuçlara benzerlik gösterdiği görülmektedir.

### 3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu

Isıl işlem sonrası ahşap malzeme yapısında kimyasal değişimler sonucunda yapısal değişimlerde meydana gelmektedir. Çalışmamızda Kayın ve Meşe odununun morfolojik yapısındaki değişimlerde ayrıca taramalı elektron mikroskobuyla incelenmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil 1'de verilmiştir.

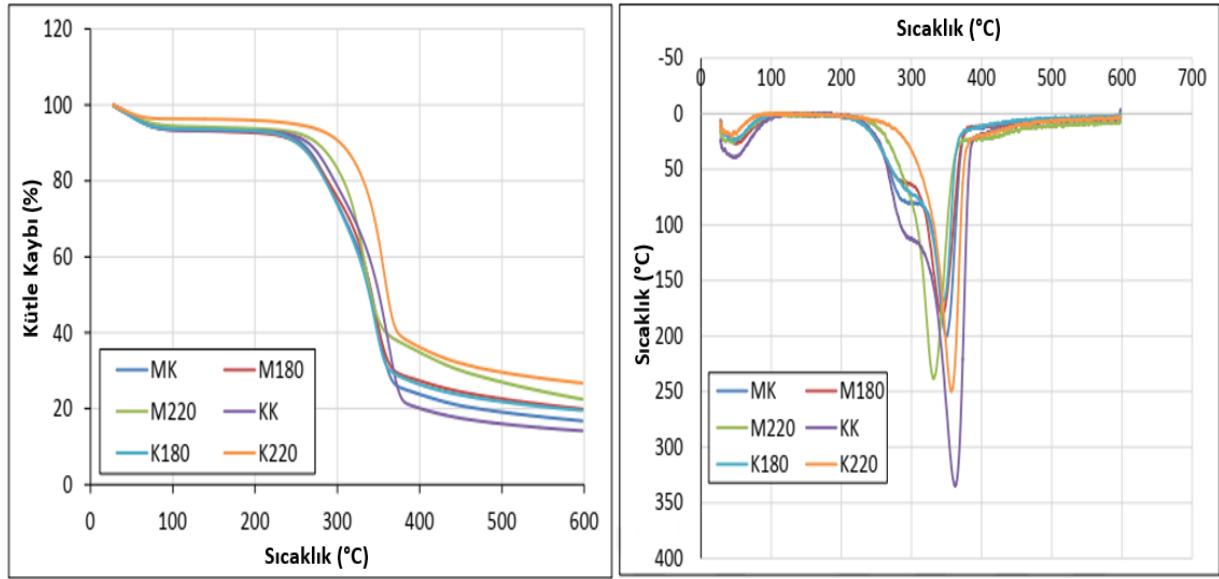


Şekil 1. Isıl işlem görmüş ahşap malzemenin içyapı görüntüleri (a-b-c: Odunun trahe ve geçitleri, d-e-f: Odun hücrelerinin görünümü).

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

### 3.4. Termogravimetrik Analiz

Isıl işlem görmüş ve kontrol odunlarının termogravimetrik analizi sonucunda elde edilen termogravimetrik (TG) eğriler ve derivatif termogravimetre (DTG) eğrileri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Isıl işlem sonrasında Kayın ve Meşe odunlarının termogravimetrik ve derivatif termogravimetre eğrileri.

Şekil 2'ye bakıldığında 220°C sıcaklıkta muamele görmüş ahşap malzemenin termal bozunma eğrilerinin kontrol numunelerine ve 180°C sıcaklıkta muamele görmüş ahşap malzemelere göre daha yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği saptanmıştır. TG eğrilerine göre en iyi termal stabilizasyon değerlerini 220 °C sıcaklıkta muamele edilmiş kayın odunu göstermiştir. En düşük termal kararlılık ise kontrol kayını için saptanmıştır. Örneklerin maksimum kütle kaybı verdiği sıcaklık ( $DTG_{max}$ ) noktalarına bakıldığında en yüksek  $DTG_{max}$  değeri, kontrol kayın odunun da saptanmıştır. Yapılan bir çalışma da, gürgen ve uludağ göknarı 170 °C, 190 °C ve 210 °C ısıtılma tabi tutulmuştur. Termal gravimetrik analiz (TGA) sonuçları, kontrol numunelere kıyasla ısıtılma işleminden geçmiş numuneler için ana bozunma bölgesinde daha az ağırlık kaybının olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca, benzer bozulma bölgesinde uludağ göknarı örneklerinin ağırlık kaybı gürgen örneklerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Aydemir vd., 2011). Bu durum ağaç malzemenin anatomik farklılıklarından kaynaklanabileceği söylenebilir. Isıl işlem sonrası odunun termal kararlılığı üzerine yapılan çalışmalarda, yüksek sıcaklıklarla muamele edilmiş odunun, yapısal bileşenleri olan hemiselüloz, lignin ve selülozun parçalanması sonucunda odun termal olarak daha kararlı hale geldiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda ısıya hassas olan bileşenlerin muamele süresince uzaklaştığı ve odunun kimyasal yapısında böylece değişimler meydana geldiği ve bu durumun ısı ile muamele edilmemiş oduna göre ısıtılma işlem görmüş odunu biraz daha yüksek termal kararlılığa sahip olmasını sağladığı sonucuna varılmıştır (Kandem vd. 1999, Hill 2006, Zang vd. 2019, Martinka vd. 2014). Sonuç olarak buradan da yola çıkarak yüksek sıcaklıklarda muamele edilmiş ahşap malzemenin yanmaya karşı daha kararlı hale geldiği söylenebilir.

#### 4. Öneriler

Isıl işlem sonrasında Kayın ve Meşe odunlarının fiziksel, mekanik, morfolojik ve termal özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yoğunluk, su alma değerlerinin ısıtılma işlemle birlikte düştüğü saptanmıştır. Bu sonuçlara dayanılarak ısıtılma işlem uygulanmış ağaç malzeme daha az su absorbe ettiği söylenebilir. Buna karşın yoğunluklardaki düşüş mekanik özellikleri olumsuz etkileyeceği şüphesizdir. Renk değişimi analizlerinde görüldüğü üzere ısıtılma işlem uygulanmış odunlarda renk değişimi artmaktadır. Özellikle dekorasyon amaçlı ısıtılma işlem uygulanmış ağaçların kullanılabilirliği söylenebilir. Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin; eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci ve yapışma direnci değerleri ısıtılma işlem sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Mekanik özelliklere ait en yüksek direnç değerleri kontrol örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük değerleri ise 220°C'de ısıtılma işlem uygulanmış örneklerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlem uygulanmış örneklerin mekanik özelliklerinin zayıfladığı anlaşılmaktadır. Bu yüzden yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlem görmüş malzemenin yük taşıma yapı elemanı olarak kullanılmaması önerilebilir. SEM resimleri incelendiğinde, ısıtılma işlem sonucunda kontrol örneklerine göre bir değişim olduğu tespit edilememiştir. İçyapısında kırılma, çatlak vb. değişimler gözlenmemiştir. TGA analiz sonuçlarına göre, ısıtılma işlem görmüş örneklerin termal bozunma eğrilerinin kontrol örneklerine göre daha yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği gözlenmiştir. TG eğrilerine göre en iyi termal stabilizasyon 220°C' de ki kayın odunu olduğu saptanmıştır. Sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere ısıtılma

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

## Bilgi Notu

Bu çalışma, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Gökçe BÜRÜÇ'ün "Doğu kayını ve Saplı meşe odunlarının bazı özellikleri üzerine ısı işlemi etkisi" isimli Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir. Bu makalenin özeti International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2018, 26-27 Nisan, 2018 Ankara, Turkey) konferansında poster olarak sunulmuştur.

## Kaynaklar

1. **Altgen, M., Hofmann, T., Militz, H. (2016).** Wood moisture content during the thermal modification process affects the improvement in hygroscopicity of Scots pine sapwood. *Wood Sci. Technol.* 50, 1–15.
2. **Araujo, S. O., Vital, B. R., Oliveira, B., Cassia, A., Carneiro, O., Louranço, A. ve Pereira, H. (2016).** Physical and mechanical properties of heat treated wood from *Aspidosperma populifolium*, *Dipteryx odorata* and *Mimosa scabrella*. *Maderas Ciencia y tecnología*, 18(1): 143-156.
3. **Ayan, S. ve Ciritoglu, H. H. (2012).** Isıl İşlemin Ahşap Lamine Panellerin Bazı Fiziksel Özellikleri ve Vida Tutma Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 1(1): 35-46.
4. **Aydemir, D., Gündüz, G., Altuntaş, E., Ertas, M., Şahin, H. T. ve Alma, M. H. (2011).** Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood. *BioResources*, 6(2): 1308-1321.
5. **Bakar, B. F. A., Hızıroğlu, S. ve Tahir, P.M. (2013).** Properties of some thermally modified wood species. *Materials & Design*, 43: 348-355.
6. **Barcik, S., Gašparik, M., Razumov, E. (2015).** Effect of temperature on the color changes of wood during thermal modification. *Cellulose Chemistry and Technology*, 49(9-10), 789-798.
7. **Bekhta, P., Niemz, P. (2003).** Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, 57, 539–546.
8. **Bourgeois, J., Janin G, Guyonnet R. (1991).** Measuring color: a method of studying and optimizing the chemical transformations of thermally-treated wood. *Holzforschung*, 45(5):377–82.
9. **Chotikhun, A. and Hiziroglu, S. (2016).** Measurement of dimensional stability of heat treated southern red oak (*Quercus falcata* Michx.). *Measurement*, 87, 99-103.
10. **Ding, T., Gu, L. ve Li, T. (2011).** Influence of steam pressure on physical and mechanical properties of heat-treated Mongolian pine lumber, *Eur. J. Wood Prod*, 69: 121–126.
11. **Estaves, B., Marques, A. V., Domingos, I. ve Pereira, H. (2013).** Chemical changes of heat treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR. *Maderas Ciencia y tecnología*, 15(2): 245 – 258.
12. **Gündüz G, Korkut S, Aydemir D, Bekar İ (2009).** The Density, Compression Strength and Surface Hardness of Heat Treated Hornbeam (*Carpinus betulas*) Wood. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 10(1): 61-70.
13. **Gündüz G, Korkut S, Sevim Korkut D. (2007).** The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyanı Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) wood. *Biores Technol.* 99:2275–80
14. **Gündüz G, Niemz P, Aydemir D. (2008).** Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat-treated fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* Mattf.) wood. *Dry Technol.* 26(9):1135–9.
15. **Gündüz, G. Aydemir, D., Kaygin, B. and Aytekin, A. (2009a).** The effect of treatment time on dimensionally stability, moisture content and mechanical properties of heat treated anatolian chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood. *Wood Research*, 54 (2), 117-126.
16. **Hill C. A. S. (2006).** Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 260 p.
17. **İçel, B. ve Şimşek, Y. (2017).** Isıl işlem görmüş ladin ve dişbudak odunlarının mikroskopik görüntüleri üzerine değerlendirmeler. *SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2: 414 – 420.
18. **Källbom, S., Rautkari, L., Wälinder, M., Johansson, L.S., Campbell, J.M., Segerholm, K., Jones, D., Laine, K. (2016).** Water vapour sorption characteristics and surface chemical composition of thermally modified spruce (*Picea abies* karst). *Int. Wood Prod. J.* 7, 116–123.
19. **Kamdem, D.P., Pizzi, A., Guyonnet, R. Jermannaud, A. (1999).** Durability of Heat-treated Wood, IRG/WP 99, 40145, p. 15.



20. Kaygin, B., Gündüz, G. and Aydemir, D. (2009a). Some Physical Properties of Heat-Treated Paulownia (*Paulownia elongata*) Wood. *Drying Technology*, 27 (1), 89-93.
21. Kaygin, B., Gündüz, G. and Aydemir, D. (2009b). The effect of mass loss on mechanic properties of heat-treated paulownia wood. *Wood Research*, 54 (2), 101-108.
22. Kesik, H.I., Korkut, S., Hızıroglu, S. and Sevik, H. (2014). An evaluation of properties of four heat treated wood species. *Industrial Crops and Products*, 60, 60-65.
23. Kocaefe, D., Huang, X., Kocaefe, Y. ve Boluk, B. (2012). Quantitive characterization of chemical degradation of heat – treated wood surfaces during artificial weathering using XPS. *Surface and Interface Analysis*, s. 639-649.
24. Kol, H. Ş. (2010). Characteristics of heat-treated turkish pine and fir wood after thermowood processing. *Journal of Environmental Biology*, 31(6): 1007-1011.
25. Li, X., Cai, Z., Mou, Q., Wu, Yi. ve Liu, Y. (2011). Effects of heat treatment on some physical properties of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) wood. *Advanced materials research*, Vols. 197-198, 90-95.
26. Martinka, J., Hroncová, E., Chrebet, T., Balog, K. (2014). The influence of spruce wood heat treatment on its thermal stability and burning process. *European Journal of Wood And Wood Products*, 72(4), 477-486.
27. Nuopponen, M., Vuorinen, T., Jämsä, S., Viitaniemi, P. (2005). Thermal Modifications in Softwood Studied by FT-IR and UV Resonance Raman Spectroscopies. *J. Wood Chem. Technol.* 24, 13–26.
28. Obataya, E., Tanaka, F., Norimoto, M., Tomita, B. (2000). Hygroscopicity of heat-treated wood 1. Effects of after-treatments on the hygroscopicity of heat-treated wood. *J Wood Sci.* 46:77–87.
29. Özcan, Z. E., Onat, S. M. Aydemir, D. (2017). Sariçam ve uludağ göknar odunlarının bazı özellikleri üzerine termal muamelenin etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 187-193.
30. Özçiftçi, A., Altun, S. ve Yapıcı, F. (2009). Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük Üniversitesi, 13 15 Mayıs 2009, s. 1-2.
31. Perçin, O. Uzun, O. (2014). Isıl işlem uygulanmış bazı ağaç malzemelerde yapışma direncinin belirlenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15: 72-76.
32. 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.
33. Tjeerdsma, B.F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P., Militz, H. (1998). Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. *Holz Als Roh-Und Werkst.* 56, 149–153.
34. Tjeerdsma, B.F., Militz, H. (2005). Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Als Roh-Und Werkst.* 63, 102–111.
35. TS 2471, (1976). Odunda mekanik ve fiziksel deneyler için rutubet miktarı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
36. TS 2474, (2005). Odunun statik eğilmede dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
37. TS 2595, (1977). Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
38. TS 4084, (1983). Odunda radyal teğet doğrultuda şişmenin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
39. TS 53, (2005). Odunun fiziksel özelliklerini tayin için numune alma, muayene ve deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
40. TS EN 392, (1999). Yapıştırılmış lamine kereste–Yapıştırılmış tabakaların makaslama deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
41. Viitaniemi, P. (1997). Decay-resistant wood created in a heating process. *Industrial Horizons*, 23: 77-85.
42. Windeisen, E., Strobel, C., Wegener, G. (2007). Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. *Wood Sci. Technol.* 41, 523–536.
43. Won, K. R., Kim, T. H., Hwang, K. K., Chong, S. H., Hong, N. E., Byeon, H. S. (2012). Effect of heat treatment on the bending strength and hardness of wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 40(5), 303-310.
44. Yıldız, S., Yıldız, Ü. Tomak, E. D. (2011). The effects of natural weathering on the properties of heat – treated alder wood. *Bio Resources*, 6(3): 2504-2521.
45. Zhang, N., Xu, M., Cai, L. (2019). Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO<sub>2</sub> precursor. *Scientific Reports*, 9(1), 982.