



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :25.02.2021  
Kabul Tarihi :30.06.2021

Received Date : 25.02.2021  
Accepted Date : 30.06.2021

### VAKUM ATMOSFERİNDE YAPILAN ISIL İŞLEMİN KAVAK ODUNUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAT TREATMENT IN VACUUM ATMOSPHERE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POPLAR WOOD

Bekir Cihad BAL<sup>1\*</sup> (ORCID: 0000-0001-7097-4132)

Murat KILAVUZ<sup>2</sup>, (ORCID: 0000-0003-4385-9707)

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Malzeme Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Bekir Cihad BAL, bcbal@hotmail.com

#### ÖZET

Ardıç, sedir, servi, akasya gibi bazı ağaç türleri doğal dayanıklılığı yüksek olan ağaç türleridir. Ancak, bu ağaç türleri ormanlarda bol miktarda bulunmamaktadır. Ayrıca hızlı büyüyen ağaç türleri değildir. Kavak ise hızlı büyüyen bir ağaç türüdür. Kavak odunun kötü özelliklerinden birisi biyolojik olarak dayanıksız bir tür olmasıdır. Isıl işlem modifikasyonu, biyolojik olarak dayanıklılığı artırmak için kullanılan yöntemlerden birisidir. Ancak, Isıl işlem ile muamele edilen odunun biyolojik dayanıklılığı artmakta, mekanik özellikleri ise kötüleşmektedir. Bu nedenle, yapılan bilimsel çalışmalarda, mekanik özellikleri etkilemeyen ısıl işlem metotları araştırılmaktadır. Bu çalışmada, vakum atmosferinde uygulanan ısıl işlemin kavak odununun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Isıl işlem vakumlu etüvde uygulanmıştır. Isıl işlem görmüş kavak odununun yoğunluğu, eğilme direnci, elastikiyet modülü, şok direnci kontrol grubu ile karşılaştırılarak araştırılmıştır. Eğilme direnci, kontrol grubunda ve 0, 200, 400 ve 600 mbar vakum uygulanan deney gruplarında sırasıyla; 75.6, 57.1, 58.9, 60.1 ve 61.3 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, ısıl işlemin kavak odunun mekanik özelliklerini azalttığı belirlenmiştir. Vakum miktarının ısıl işlem üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Vakum atmosferi, mekanik özellikler, ısıl işlem, kavak odun

#### ABSTRACT

Some tree species such as juniper, cedar, cypress, and acacia are tree species with high natural durability. Poplar is a fast-growing tree species. One of the bad features of poplar wood is that it is a biologically unstable species. Heat treatment modification is one of the methods used to increase biological durability. However, the biological durability of the wood treated with heat treatment increases and its mechanical properties deteriorate. For this reason, heat treatment methods that do not affect mechanical properties are being investigated in scientific studies. In this study, the effect of heat treatment applied in vacuum atmosphere on mechanical properties of poplar wood was investigated. Heat treatment was applied in a vacuum oven. The density, bending strength, modulus of elasticity and shock resistance of heat-treated poplar wood were compared with the control group. The bending strength, in the control group and in the experimental groups applied 0, 200, 400 and 600 mbar vacuum, 75.6, 57.1, 58.9, 60.1 and 61.3 N/mm<sup>2</sup>, respectively. According to the data obtained, it was determined that heat treatment reduced the mechanical properties of poplar wood. It has been determined that the amount of vacuum has an effect on the heat treatment.

**Keywords:** Vacuum atmosphere, mechanical properties, heat treatment, poplar wood

**To Cite:** BAL B.C., & KILAVUZ M., (2021). VAKUM ATMOSFERİNDE YAPILAN ISIL İŞLEMİN KAVAK ODUNUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24,3.

## GİRİŞ

Odunun çalışmasını ve şekil değiştirmesini önlemek için ve daha geniş ve düzgün yüzeyler elde edilebilmesi için uygulanan endüstriyel yöntemler bulunmaktadır. Örneğin soyma kaplamalardan kontrplak elde edilmesi, odun yongalarından yonga levha elde edilmesi, odun liflerinden lif levha elde edilmesi bu yöntemlerdendir. Ayrıca, odunun istenmeyen özelliklerini iyileştirebilmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmesi, yüksek sıcaklıkla muamele edilmesi, bazı yağlarla yüzey muamelesi, boya veya vernik uygulanması gibi yöntemler odunun doğal dayanıklılığını artırmayı amaçlayan yöntemlerdir.

Bu yöntemlerden olan, ısı işlem modifikasyonu son yıllarda endüstriyel olarak çok uygulanan yöntemlerdendir. Farklı ülkelerde farklı ısı işlem modifikasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Günümüzde Thermowood ve Oil Heat Treatment (OHT) yöntemi en fazla kullanılan yöntemlerdendir (Korkut & Kocaefe 2009).

Isıl işlemin eğilme direnci, elastiklik modülü ve dinamik eğilme direnci gibi mekanik özellikleri azalttığı yapılan birçok çalışma ile belirlenmiştir (Jamsa & Viitaniemi 2001; Bal 2013; Bal & Bektaş 2013; Bal 2018). Ayrıca, ısı işlem esnasında kullanılan ısıtma aracı olan sıcak yağ ile sıcak havanın fiziksel özellikler üzerine etkisi (Sailer vd., 2000; Calonigo 2012; Bal 2016), azot atmosferi ve vakum atmosferinin mekanik özellikler üzerine etkisi (Bal 2018) bazı araştırmacılar tarafından belirlenmiştir.

Daha önce yapılan birçok bilimsel çalışmada, farklı yöntemlerle ısı işlem uygulanan odun örnekleri üzerinde bazı teknolojik testler yapılmıştır. Yapılan bu testlerle, odun örneklerinin fiziksel özelliklerinde, mekanik özelliklerinde (Jamsa & Viitaniemi 2001; Esteves & Pereira 2009; Bal 2014), kimyasal içeriğinde (Brito vd., 2008; Candelier vd., 2013a; Bektaş vd., 2017), biyolojik dayanıklılığında, yüzey renginde, parlaklığında (Ayata vd., 2018a; Ayata 2020) ve pürüzlülüğünde (Korkut ve Güller 2008; Ayata vd., 2018b) ne gibi değişikliklerin meydana geldiğini tespit edilmeye çalışılmıştır. Özellikle bazı çalışmalarda, ısı taşıma aracının (azot gazı, su buharı, kızgın yağ vs.) ısı işlem sıcaklığının ve süresinin ısı işlemin etkisini nasıl değiştirdiği belirlenmeye çalışılmıştır (Candelier vd., 2013a; Candelier 2013b).

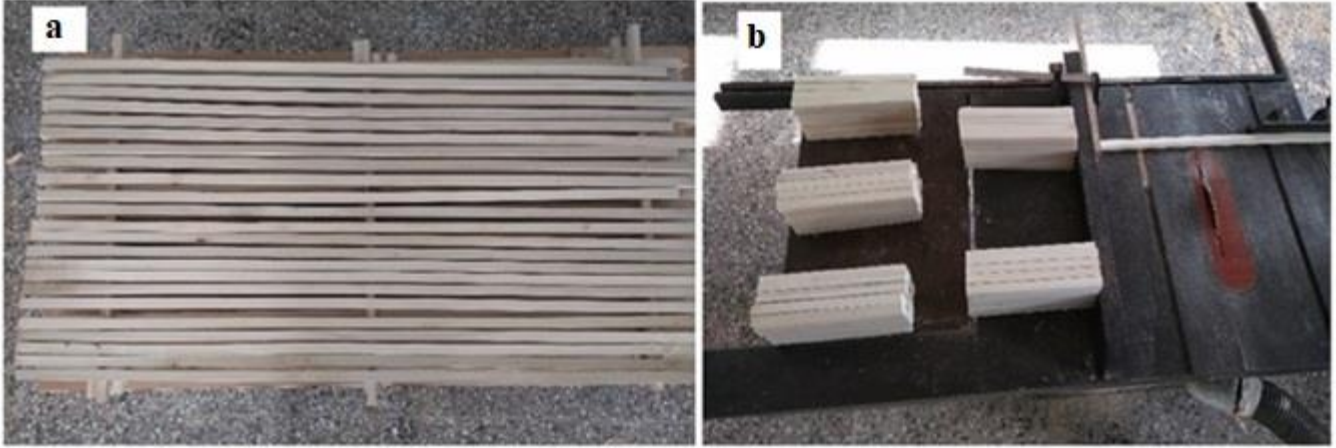
Isının transferi ile ilgili olarak üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon) yöntemleridir. İletim yönteminde direk temas eden katı malzemeler vasıtasıyla ısı iletimi yapılmaktadır. Taşınım yönteminde ise hava veya sıvı madde ile ısı taşınmaktadır. Isının elektromanyetik dalgalar vasıtası ile iletildiği ısı transferi ise ışınım olarak adlandırılmaktadır (Göktürkler 2002). Vakum ortamında yapılan ısı işlem metodunda, ortamdaki hava miktarı uygulanan vakumla azaltılmaktadır. Isıl işlem gören keresteler, yüzeylerine temas eden metal plakalar vasıtasıyla temas yöntemi ile ısıtılmaktadır (Candelier vd., 2013a). Böylece, daha hızlı ve etkin bir ısı iletimi yapılmaktadır. Ayrıca, vakum ortamında hava miktarı azaltıldığı için, odun bileşenlerinin havadaki oksijenle reaksiyona girip bozulmaları önlenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, vakum ortamında ve taşınım yöntemiyle ısı iletimi yapılarak uygulanan ısı işlem metodunda, vakum miktarının, ısı işlem esnasında odunun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesidir. Bu amaç için, tam kuru yoğunluk, statik eğilme direnci, elastiklik modülü, dinamik eğilme(şok) direnci gibi bazı mekanik özellikler araştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### *Materyal*

Bu çalışmada, testler için kavak (*Populus subsp.*) odunu kullanılmıştır (Alt tür belirlenmemiştir). Kavak odunu Kahramanmaraş iline bağlı bir köyden, özel bir kavak yetiştiricisinden tomruk olarak satın alma yoluyla temin edilmiştir. Tomruklar bir kereste atölyesinde biçilmiş ve keresteye dönüştürülmüştür. Biçme işlemi TS 2470'e göre yapılmıştır. Tomruklar kaba biçme sonrası, tahtalara biçilmiş ve bu haliyle doğal kurutmaya bırakılmıştır. Doğal kurutma sonucun istenilen rutubet seviyesine ulaşılması nedeniyle, iki aylık süreden sonra bu tahtalardan 2 x 2 x150 cm ölçüsünde çıtalar elde edilmiştir (Şekil 1-A). Bu çıtalardan, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve şok direnci testleri için test örnekleri hazırlanmıştır (Şekil 1-B). Aynı çıta ya da tahtalardan yan yana kesilen test örnekleri ile test grupları oluşturulmuştur.



Şekil 1. a. Test Örneklerinin Hazırlandığı Çıtalar, b. Test Örneklerinin Hazırlanması

### Metot

Test örnekleri hem tam kuru yoğunluk için ve hem de mekanik özellikler için dört farklı deney grubu ve birde kontrol grubu olarak hazırlanmıştır. Her grup için 30 adet test örneği hazırlanmıştır. Her bir örneğin yoğunluk değeri tam kuru hale getirildikten sonra hesaplanmıştır. Sonra test örnekleri hava kurusu rutubet haline gelmesi için  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  ve  $\%65\pm 5$  bağıl nem şartlarında bekletilmiştir. Daha sonra ısı işlem uygulanmıştır. Kontrol grubuna ısı işlem uygulanmamıştır. Deney gruplarından, 0 mbar vakum grubuna ısı işlem uygulanmış ancak vakumlu etüv içerisine vakum uygulanmamıştır. 200, 400 ve 600 mbar deney gruplarına vakum ve ısı işlem uygulanmıştır. Isıl işlem,  $210^{\circ}\text{C}$  sıcaklık altında, ısıtma periyodu dahil 3 saat boyunca Şekil 2’de görülen vakumlu etüvde uygulanmıştır. Test örnekleri bu sürenin sonunda etüvden çıkarılmış ve naylon poşetlere bırakılarak hava ile teması önlenmiştir.



Şekil 2. Test Örneklerine Vakumlu Etüvde Isıl İşlem Uygulaması

Tam kuru yoğunluk değeri TS 2472’de belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Statik eğilme direnci testleri TS 2474’e ve elastikiyet modülü TS 2478’e göre yapılmıştır. Test örnekleri  $2\times 2\times 30$  cm boyutlarındaki hazırlanmıştır. Testlerde mesnet açıklığı 24 cm olarak alınmıştır. Kuvvet teğet yönde uygulanmıştır. Dinamik eğilme (şok) direnci testleri TS 2477’ye göre  $2\times 2\times 30$  cm’lik örnekler üzerine yapılmıştır.

### İstatistik Analizlerin Yapılması

Laboratuvar denemeleri sonrası, mekanik özelliklerle ilgili testlerden elde edilen bulgular Excel programına kaydedilmiş ve düzenlenmiştir. Bazı istatistik değerler (aritmetik ortalama, standart sapma, maksimum değer ve minimum değer) bu program vasıtasıyla elde edilmiştir. Gruplar arasında önemli bir fark olup olmadığı basit varyans analizi ile (One-Way ANOVA) SPSS programında belirlenmiştir. Duncan testi ile farklılık gösteren gruplar belirlenmiştir.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Eğilme direncine ait elde edilen veriler Tablo 1’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, en yüksek eğilme direnci değerinin kontrol grubunda ve deney gruplarından ise 600 mbar vakum uygulanan gruptan elde edildiği görülmektedir. Tabloda ayrıca her grubun yoğunluk değeri verilmiştir. Uygulanan ısıl işlem sonucunda yoğunluk değerlerinde azalma olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** Eğilme Direncine Ait İstatistik Değerler (Kılavuz, 2019)

|     | Kontrol grubu     |                   | 0 mbar            |                   | 200 mbar          |                   | 400 mbar          |                   | 600 mbar          |                   |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|     | D                 | ED                | D                 | ED                | D                 | ED                | D                 | ED                | D                 | ED                |
|     | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> |
| x   | <b>409</b>        | <b>75,6B</b>      | <b>388</b>        | <b>57,1A</b>      | <b>389</b>        | <b>58,9A</b>      | <b>388</b>        | <b>60,1A</b>      | <b>385</b>        | <b>61,3A</b>      |
| ss  | 18                | 3,8               | 20                | 5,6               | 19                | 6,2               | 21                | 7,6               | 18                | 6,7               |
| min | 363               | 67,5              | 352               | 44,8              | 354               | 44,9              | 354               | 47,2              | 344               | 50,5              |
| mak | 448               | 83,3              | 432               | 68,4              | 448               | 69,6              | 442               | 76,5              | 412               | 83,0              |

D: tam kuru yoğunluk, ED: eğilme direnci, \*Duncan testi sonuçları küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. En küçük değer “A” ile gösterilmiştir.

Tespit edilen eğilme direnci test sonuçları arasında önemli bir farklılık olup olmadığını belirlemek için ANOVA testi yapılmıştır. Bu test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre elde edilen eğilme direnci testi sonuçları arasında çok ileri düzeyde farklılık vardır. Hangi grupların diğerlerinden farklı olduğunu belirlemek için Duncan çoklu ayırım testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Bu Duncan testi sonuçlarına göre, kontrol grubu ile deney grupları arasında fark vardır. Deney grupları arasında önemli bir farklılık belirlenmemiştir.

**Tablo 2.** Eğilme Direnci Gruplarına Ait ANOVA Testi Sonuçları

| Varyans kaynağı | Kareler toplamı | SD  | Kareler ortalaması | F oranı | Önem seviyesi |
|-----------------|-----------------|-----|--------------------|---------|---------------|
| Gruplar arası   | 6645            | 4   | 1661               | 44.47   | 0.000         |
| Gruplar içi     | 5417            | 145 | 37                 |         |               |
| Toplam          | 12062           | 149 |                    |         |               |

Eğilmede elastikiyet modülüne ait elde edilen bazı istatistik değerler Tablo 3’de verilmiştir. Ayrıca, her grubun yoğunluk değeri de karşılaştırma yapabilmek için verilmiştir. Tabloda verilen elastikiyet modülü değerlerine göre, çok küçük bir farkla en yüksek değer 600 mbar vakum uygulanan gruptan elde edilmiştir. En küçük elastikiyet modülü değeri ise vakum uygulanmayan gruptan elde edilmiştir. Bu değerler diğer mekanik özelliklerle karşılaştırıldığında ısıl işlemten en az etkilenen mekanik özelliğin elastikiyet modülü olduğu söylenebilir.

**Tablo 3.** Eğilmede Elastikiyet (EM) Modülüne Ait İstatistik Değerler (Kılavuz, 2019)

|     | Kontrol grubu     |                   | 0 mbar            |                   | 200 mbar          |                   | 400 mbar          |                   | 600 mbar          |                   |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|     | D                 | EM                | D                 | EM                | D                 | EM                | D                 | EM                | D                 | EM                |
|     | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | N/mm <sup>2</sup> |
| x   | <b>409</b>        | <b>5986B*</b>     | <b>388</b>        | <b>5605A</b>      | <b>389</b>        | <b>5763AB</b>     | <b>388</b>        | <b>5812AB</b>     | <b>385</b>        | <b>5987B</b>      |
| ss  | 18                | 428               | 20                | 617               | 19                | 427               | 21                | 670               | 18                | 645               |
| min | 363               | 4870              | 352               | 3966              | 354               | 4698              | 354               | 4715              | 344               | 4709              |
| mak | 448               | 6739              | 432               | 6621              | 448               | 6577              | 442               | 7174              | 412               | 7457              |

\*Duncan testi sonuçları küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. En küçük değer “A” ile gösterilmiştir.

Elde edilen elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığı ANOVA testi ile test edilmiştir. Elde edilen ANOVA testi sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Buna göre, uygulanan ısı işlem prosesinin kavak odununun elastikiyet modülü üzerine etkisinin sınır değerinde olduğu ( $P = 0.05$ ) tespit edilmiştir. Duncan çoklu ayırım testi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre bazı gruplar arasında küçük farklar tespit edilmiştir.

**Tablo 4.** Elastikiyet Modülü Gruplarına Ait ANOVA Testi Sonuçları

| Varyans kaynağı | Kareler toplamı | SD  | Kareler ortalaması | F oranı | Önem seviyesi |
|-----------------|-----------------|-----|--------------------|---------|---------------|
| Gruplar arası   | 3133443         | 4   | 783361             | 2,4     | 0,05015       |
| Gruplar içi     | 46703572        | 145 | 322094             |         |               |
| Toplam          | 49837015        | 149 |                    |         |               |

Denemeler sonunda elde edilen şok direncine ait istatistik değerler Tablo 5’de verilmiştir. Gruplar arasındaki yoğunluk farklarının görülebilmesi için ayrıca her grubun yoğunluk değeri de tabloda gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde, ısı işlem uygulanan deney gruplarının şok direnci değerlerinin kontrol grubuna göre oldukça azaldığı görülmektedir. En fazla azalan şok direnci vakum uygulanmayan grupta elde edilmiştir.

**Tablo 5.** Şok Direncine Ait İstatistik Değerler (Kılavuz, 2019)

|     | Kontrol grubu     |                     | 0 mbar            |                     | 200 mbar          |                     | 400 mbar          |                     | 600 mbar          |                     |
|-----|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
|     | D                 | ŞD                  | D                 | ŞD                  | D                 | ŞD                  | D                 | ŞD                  | D                 | ŞD                  |
|     | kg/m <sup>3</sup> | kgm/cm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | kgm/cm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | kgm/cm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | kgm/cm <sup>2</sup> | kg/m <sup>3</sup> | kgm/cm <sup>2</sup> |
| x   | <b>413</b>        | <b>0,42C</b>        | <b>387</b>        | <b>0,20A*</b>       | <b>386</b>        | <b>0,21A</b>        | <b>389</b>        | <b>0,22A</b>        | <b>394</b>        | <b>0,26B</b>        |
| ss  | 21                | 0,06                | 24                | 0,04                | 23                | 0,05                | 21                | 0,03                | 19                | 0,05                |
| min | 363               | 0,28                | 347               | 0,10                | 328               | 0,15                | 333               | 0,16                | 358               | 0,18                |
| mak | 454               | 0,52                | 449               | 0,27                | 436               | 0,33                | 440               | 0,30                | 427               | 0,35                |

\*Duncan testi sonuçları küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. En küçük değer “A” ile gösterilmiştir.

Isıl işlemin şok direnci değeri üzerine etkisinin olup olmadığını gösteren ANOVA testi sonuçları ise Tablo 6’da gösterilmiştir. Bu tabloya göre ısı işlem uygulamasının çok ileri düzeyde ( $P < 0.001$ ) şok direnci üzerine etkili olduğu görülmektedir.

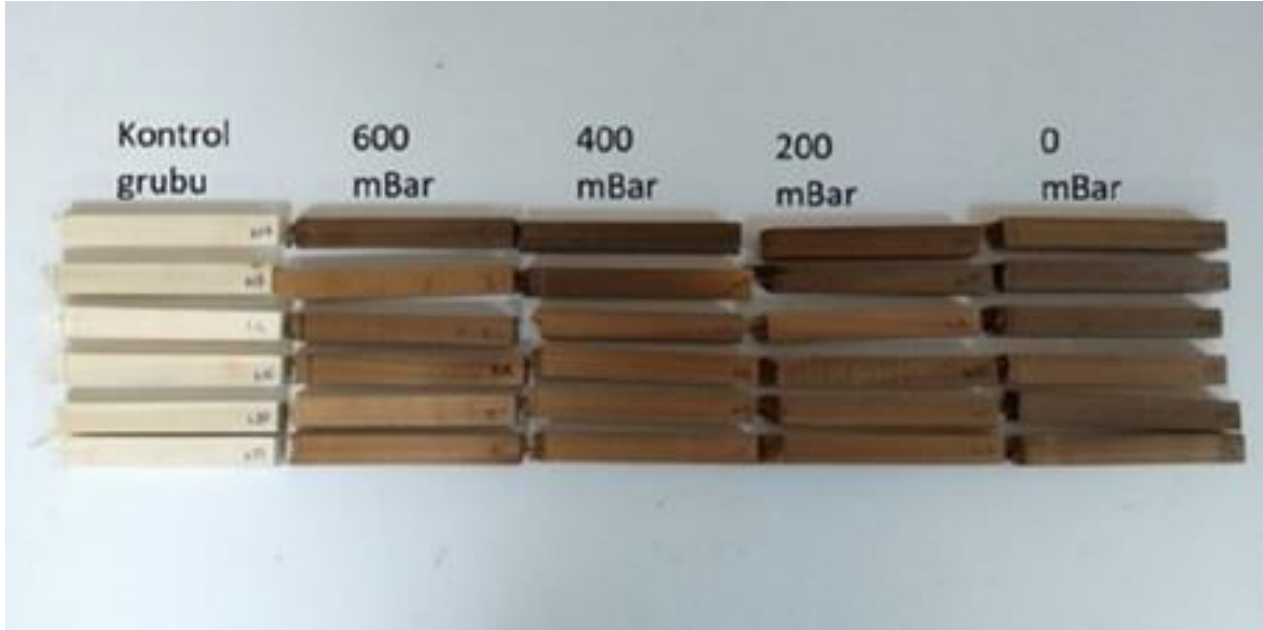
**Tablo 6.** Dinamik Eğilme Direnci Test Gruplarına Ait ANOVA Testi Sonuçları

| Varyans kaynağı | Kareler toplamı | SD  | Kareler ort. | F oranı | Önem sev. |
|-----------------|-----------------|-----|--------------|---------|-----------|
| Gruplar arası   | 1,05            | 4   | 0,26         | 111,17  | 0,000     |
| Gruplar içi     | 0,34            | 145 | 0,00         |         |           |
| Toplam          | 1,39            | 149 |              |         |           |

Dinamik eğilme direnci test örneklerinin test sonrası görüntüsü, aşağıda Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, çıplak gözle yapılan muayene sonrasında, deney grupları arasında kontrol grubuna kıyasla en fazla renk değişimi vakum uygulanmayan 0 mbar grubunda ve en az renk değişimi ise 600 mbar vakum uygulanan grupta elde edilmiştir. Diğer iki grubun renk değişimleri benzerlik göstermektedir. Renk değişimi, ısı işlem uygulanmış ahşap malzemede işlemin şiddetine dair bilgi vermesi bakımından göz önünde bulundurulacak özelliklerden sayılmaktadır. Bu konuda birçok araştırmacı ısı işlem uygulanmış ahşap malzemenin renk değişimi üzerine araştırmalar yapmıştır (Bourgeois vd., 1991; Patzelt vd., 2003; Bekhta & Niemz 2003; Ayata vd., 2018; Karamanoğlu & Kaymakçı 2018). Yapılan bu çalışmalar sonunda ısı işlem uygulanmış ahşap malzemenin renk değişimine uğradığı belirlenmiştir. Bu çalışmalarda genel olarak ışıklılık ( $L^*$ ) ve kırmızı renk ( $a^*$ ) sarı renk ( $b^*$ ), kırmızı ve sarı renk farkı ve toplam renk farkı değeri ( $\Delta E^*$ ) gibi renk değerleri incelenmiş ve değişim miktarları rapor edilmiştir.

## Tartışma

Yapılan bu çalışmada, biri ısı işlem uygulanmayan kontrol grubu birisi vakum uygulanmayan ısı işlem uygulanan grup ve 3 farklı vakum seviyesinde ısı işlem görmüş 3 deney grubu olmak üzere 5 test grubu oluşturulmuş ve bu test gruplarının eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve şok direnci gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen mekanik özelliklere ait veriler ve istatistik testleri bulgular kısmında verilmiştir. Elde edilen verilere göre; eğilme direnci ısı işlem gören gruplarda, ısı işlem görmeyen kontrol grubuna göre, azalmıştır. En fazla azalma, vakum uygulanmayan (0 mbar) deney grubunda ölçülmüştür. Vakum uygulanan deney grubu test örneklerinde en yüksek eğilme direnci 600 mbar deney grubunda elde edilmiştir. Bu konuda yapılan önceki çalışmalarda da, ısı işlem uygulanan odunun eğilme direncinde azalma olduğu bir çok çalışmada belirlenmiştir (Bekta & Niemz 2003; Korkut ve Güler 2008; Borrega 2008; Kocaefe vd., 2008; Bal & Bektaş 2013; Bal 2014).



Şekil 3. Dinamik Eğilme Direnci Test Örneklerinin Test Sonrası Görüntüsü

Elastikiyet modülü üzerine ısı işlemin etkisine ait çalışmalarda farklı bazı sonuçlar rapor edilmiştir. Bazı araştırmacılar elastikiyet modülünün azaldığını belirlemişlerdir (Bekhta & Niemz 2003; Jimenez vd., 2011; Calonego vd., 2012). Ancak, Santos (2000), arttığını belirlemiştir. Elastikiyet modülündeki artmanın, kristalimsi selülozun nispi miktarındaki artma sebebiyle meydana geldiği belirtilmiştir. Ayrıca, ısı işlem uygulaması görmüş odunun, ısı işlem görmemiş oduna göre hücre çeperi içerisinde daha az bağlı su içermesinden dolayı daha az elastiktir. Bu nedenle elastikiyet modülü daha yüksek ölçülmektedir (Korkut & Kocaefe 2009).

Şok direnci ise ısı işlem uygulamasından en fazla etkilenen mekanik özelliktir. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Jimenez vd., 2011; Bal & Bektaş, 2013). Şok direnci diğer mekanik özelliklerden kuvvetin uygulanma süresi bakımından çok farklıdır. Diğer mekanik özellikler (statik yüklemeler) 1-2 dakikalık kuvvet uygulaması sonucu ölçülen mekanik özelliklerdir. Ancak, şok direnci dinamik bir yükleme sonucunda ve 1 saniyenin altında meydana gelen yüklemeler sonunda ölçülen bir özelliktir. Bu şekildeki şok yüklemelerine karşı ahşap malzeme şoku absorbe edebilen bir yapıya sahipken, ısı işlem görmüş ahşap malzemenin şok direnci çok aşağı düşmektedir. Bunun önemli sebepleri, ısı işlem esnasında odunun bileşenlerinin değişmesi ve odunun rutubet miktarının azalmasıdır. Odunun rutubet miktarı azaldıkça daha gevrek-kırılğan bir hale gelmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sonunda elde edilen verilere göre şu sonuçlar söylenebilir;

- Kavak odununun eğilme direnci ve şok direnci, uygulanan ısı işlem sonrası, kontrol grubuna göre önemli derecede azalmıştır.
- Eğilmede elastikiyet modülünde ise önemli bir değişim meydana gelmemiştir.
- Eğilme direncinde ve şok direncinde en fazla azalma vakum uygulanmayan grupta meydana gelmiştir.
- Vakum uygulanan gruplarda ise en fazla azalma 200 mbar vakum uygulanan grupta meydana gelmiştir.

- Elde edilen test sonuçlarına göre; vakum ortamında yapılan ısıl işlemin odunun mekanik özelliklerini normal atmosfer şartlarında yapılan uygulamalara göre daha az etkilediği tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu makale, Murat Kılavuz isimli yazarın “Vakum atmosferinde yapılan ısıl işlemin kavak odununun teknolojik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Çalışma herhangi bir fon tarafından desteklenmemiştir.

## KAYNAKLAR

- Ayata, Ü , Gürleyen, T , & Gürleyen, L . (2018a). Effect of heat treatment on color and glossiness properties of zebrano, sapeli and merbau woods . *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 11-20. <https://doi.org/10.33725/mamad.428913>
- Ayata, Ü , Gürleyen, T , Gürleyen, L , & Çakıcıer, N . (2018b). Determination of surface roughness parameters of heat-treated and untreated scotch pine, oak and beech woods. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 46-50. <https://doi.org/10.33725/mamad.433945>
- Ayata, Ü . (2020). Ayous odununun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi ve ısıl işlemle sonra renk ve parlaklık özellikleri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 22-33. <https://doi.org/10.33725/mamad.724596>
- Bal, B.C., (2014). Some physical and mechanical properties of thermally modified juvenile and mature black pine wood, *European Journal of Wood and Wood Products*. 72: 61–66, <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0753-9>
- Bal, B.C., & Bektaş, İ, (2013). The Effects of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of Juvenile Wood and Mature Wood of Eucalyptus grandis, *Drying Technology*, 31 (4), 479-485. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.742910>
- Bal, BC. (2013). A comparative study of the physical properties of thermally treated poplar wood and plane wood, *BioResources*, 8 (4), 6493-6500.
- Bal BC, (2016). Sıcak bitkisel yağ ile muamele edilen Toros göknarı odununun bazı fiziksel özellikleri, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 20-26. <https://doi.org/10.17780/ksujes.58765>
- Bal, BC, (2018). A Comparative Study of Some of the Mechanical Properties of Pine Wood Treated in Vacuum, Nitrogen, and Air Atmospheres, *Bioresources*, 13(3), 5504-5511.
- Bekhta, P. & P. Niemi (2003). Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforchung* 57:539–546. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>
- Bektaş, İ, Düzkale, G, Bal BC, & Altuntaş, E., (2017) Kavak Odununun Kimyasal Özellikleri Üzerine Termal ve Basıncılı Termal Modifikasyon İşlemlerinin Etkisi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (1), 31-37. <https://doi.org/10.17780/ksujes.287672>
- Bourgeois, P.J., G. Janin and R. & Guyonnet (1991). The color measurement: A fast method to study and to optimize the chemical transformations undergone in the thermally treated wood. *Holzforchung* 45(5), 377–382. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0541-xf>
- Borrega, M. & Karenlampi, P.P.(2008). Mechanical Behavior of heat-treated spruce (Picea abies) Wood at Constant moisture content and ambient humidity, *Holz als Roh-und Werkstoff* 66:63-69. <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0207-3>
- Brito, J.O., Silva, F.G., LEao, M.M. & Almeida, G., (2008), Chemical Composition changes in Eucalyptus and Pinus Woods submitted to Heat Treatment, *Bioresource Technology*, 99 (2008) 8545-8548. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.069>
- Calonego, FW, Severo, ETD, & Ballarin, AW. (2012). Physical and mechanical properties of thermally modified wood from E. Grandis, *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(4), 453-460. <https://doi.org/10.1007/s00107-011-0568-5>
- Candelier, K., Dumarçay, S., Pétrissans, A., Desharnais, L., Gérardin, P., & Pétrissans, M. (2013a). Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: Nitrogen

or vacuum. *Polymer degradation and Stability*, 98(2), 677-681. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.10.022>

Candelier, K., Dumarçay, S., Pétrissans, A., Gérardin, P., & Pétrissans, M. (2013b). Comparison of mechanical properties of heat-treated beech wood cured under nitrogen or vacuum. *Polymer degradation and stability*, 98(9), 1762-1765. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.05.026>

Esteves, BM., & Pereira, HM. (2009). Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources* 4(1), 370-404

Göktürkler, G. (2002). Yer bilimlerinde ısı transferi modellemesi: kararlı-hal kondüktif ısı iletimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 67-80.

Karamanoğlu, M, & Kaymakçı, A . (2018). Higrotermal yaşlandırma işleminin ısı işlem görmüş kestane odununun renk ve sertlik özellikleri üzerine etkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 31-37. <https://doi.org/10.33725/mamad.429726>

Kılavuz M., (2019). Vakum atmosferinde yapılan ısı işlem kavak odununun teknolojik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması, KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.

Kocaefe, D., Poncsak, & S., Boluk, Y. (2008). Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *Bioresources*, 3(2) 517-537.

Korkut DS., & Güller B., (2008). The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood, *Bioresource technology*, 99: 2846-2851.

Korkut, S., & Kocaefe, D. (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.

Jamsa S, & Viitaniemi P (2001). Heat treatment of wood - Better durability without chemicals, Review on heat treatments of wood, in proceedings of Special Seminar held in Antibes, France.

Jimenez JP, Acda MN, Razal RA, & Madamba PS, (2011). Physico-mechanical properties and durability of thermally modified Malapapaya (*Polyscias nodosa* seem) wood, *Philip. J. of Sci.* 140 (1), 13-23.

Patzelt, M., G. Emsenhuber & R. Stingl (2003). Colour Measurement as means of Quality Control of Thermally Treated Wood. Proceedings of the first European conference on wood modification, Ghent, Belgium. April 3-4 2003.

Sailer, M., Rapp, A. O., Leithoff, H., & Peek, R. D. (2000). Upgrading of wood by application of an oil-heat treatment. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 58(1/2), 15-22.

Santos, J.A. (2000). Mechanical behavior of Eucalyptus Wood Modified by Heat, *Wood Science and Technology* 34: 39-43. <https://doi.org/10.1007/s002260050006>

TS 2470 Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneylemler İçin Numune Alma Metotları ve Genel Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2472 Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneylemler İçin Hacim Yoğunluk Değerinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2474 Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2477 Odunun Çarpmada Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2478 Odunun Statik Eğilmede Elastiklik Modülünün Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.