



### Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerine ait odunlarda shore D sertlik değerleri üzerine ısıtılmanın etkisi

Mutlu Türk<sup>2</sup>, Ümit Ayata<sup>1\*</sup>

#### Öz

Günümüzde, çeşitli ülkelerde farklı yöntemler kullanılarak yapılan patentli ısıtılma yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi de, ThermoWood yöntemi olmaktadır. Isıtılma işlemi ile ahşabın yapısının değişmesi ile ahşabın sahip olduğu birçok özelliğinin de (mekanik, fiziksel, kimyasal, biyolojik, vb.) buna sebep olarak değiştiği bilinen bir gerçektir. Bu özelliklerin başında sertlik kavramı ahşap için önemli bir konuya vurgu yapmaktadır. Bu çalışmada, akçaağaç, adi kızılcağaç, üvez, kestane, adi gürgen, Uludağ göknarı, söğüt, ıstranca meşesi ve dişbudak odunlarının ThermoWood yöntemine göre 212°C’de 1 ve 2 saat süreleri ile ısıtılma sonlarında ve öncesinde meydana gelen shore D sertlik değerleri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, varyans analizi sonuçları anlamlı olarak elde edilmiştir. Ağaç türleri arasında en yüksek azalma oranı 212°C’de 2 saat süre ile ısıtılma görmüş Uludağ göknarında elde edilirken, en düşük 212°C’de 1 saat süre ile ısıtılma adi gürgen odununda belirlenmiştir. Bütün ağaç türlerinde ısıtılma işlemi ile sertlik değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, ısıtılma süresinin de artması ile sonuçların azaldığını göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Shore D sertlik, ısıtılma işlemi, yoğunluk, ahşap

### The effect of heat treatment on shore D hardness values of woods of some tree species grown in Turkey

#### Abstract

Today, there are patented heat treatment methods using different methods in various countries. One of these methods is the ThermoWood method. It is a known fact that many properties of wood (mechanical, physical, chemical, biological, etc.) change as a result of the change in the structure of wood with heat treatment. At the beginning of these features, the concept of hardness emphasizes an important issue for wood. In this study, the shore D hardness values of maple, common alder, rowanberry, chestnut, hornbeam, Uludağ fir, willow, Strendzha Oak and ash woods that occur at 212°C for 1 and 2 hours after and before heat treatment were investigated according to the ThermoWood method. According to the results of the research, variance analysis results were obtained as significant. The highest reduction rate among wood species was obtained in Uludağ fir, which was heat-treated at 212°C for 2 hours, while the lowest was determined in common hornbeam wood, which was heat-treated at 212°C for 1 hour. It was determined that the hardness values of all tree species decreased with heat treatment. In addition, it was shown that the results decreased with the increase of the heat treatment time.

**Keywords:** Shore D hardness, heat treatment, density, wood

Makale tarihçesi: Geliş: 05.10.2021, Kabul: 27.11.2021, Yayınlanma: 27.12.2021, \*e-posta: umitayata@bayburt.edu.tr

<sup>1</sup>Aydın/Efeler-Mesleki Eğitim Merkezi, Efeler, Efeler Blv. No:17, D:No:17, Aydın, Türkiye.

<sup>2</sup>Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

Atıf: Türk, M., Ayata, Ü., (2021), Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerine ait odunlarda shore D sertlik değerleri üzerine ısıtılmanın etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 166-173,

DOI: 10.33725/mamad.1005127.

## **1. Giriş**

Ahşap, birçok uygulama için kullanılan yenilenebilir ve çevre dostu doğal malzemelerden biri olup (Chotikhun ve Hiziroglu, 2016), selüloz (%35-55), hemiselüloz (%20-35) ve lignin (%15-36) ve diğer inorganik ve organik bileşiklerden (%3-10) oluşan karmaşık ve doğal bir malzemedir (Čermák ve Dejmál, 2013). Ahşabın çeşitli mukavemet özellikleri vardır. Bunlardan bir tanesi de sertliktir (Akpan, 2008). Ahşabın sertliği, çeşitli mekanik özellikleri ile iyi bir ilişkiye sahiptir (Kollmann, 1951). Bir ahşap türünün sertliği, döşeme veya mobilyada kullanım ve özellikle enine yönde kullanım için inşaat mühendisliği gibi ticari uygulamalarının önemli bir ölçümüdür (Peng ve ark., 2016; Hansson ve Antti, 2006).

Sertlik, bir malzemenin deformasyona direnme yeteneğini ifade etmektedir. Statik girinti, çizik, geri tepme, sönümleme, kesme, aşınma ve erozyon testleri dâhil olmak üzere çok çeşitli sertlik değerlendirme yöntemleri mevcuttur (Tabil ve ark., 2002; Briscoe ve Sinha, 2003). Sertlik, esas olarak yoğunluk ve nem içeriği ile pozitif ve negatif korelasyon gösterdiğinden, önemli bir ahşap mekanik özelliğidir (Kollmann, 1936). Aynı zamanda anatomik yöne de bağlıdır ve aynı tür içinde %50'ye kadar değişiklik gösterebilir (Holmberg, 2000).

Sertlik, mekanik davranışın yanı sıra yapısal parametrelere de duyarlı olan, rutin olarak ölçülen bir mekanik özelliktir (Zamfirova ve ark., 2003; Mina ve ark., 2004; Balta' Calleja ve ark., 1998). Sertlik, ağaçtan ağaca büyük farklılıklar göstermektedir (Şanıvar ve Zorlu, 1980). Sertliğin, test edilen malzemelerin ortalama kalitesini belirtmek için kullanılmakta olduğu ve ahşaba ait sertlik özelliğinin ayrıntılı olarak bilinmesi ile özelliklerinin daha net hale geleceği böylece yeni özelliğinin ortaya çıkaracağı bildirilmiştir (Hirata ve ark., 2001).

Düşük yoğunluklu ahşapların döşeme için kullanımı, düşük yüzey sertlikleri ve aşınma direnci nedeniyle sınırlı olmaktadır (Gong ve ark., 2010). Ahşap malzemenin sertliğini belirlemek için genellikle Brinell ve Janka gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu testler, çelik bir yarım kürenin test edilen yüzeye uygulanması şeklinde gerçekleştirilmektedir (Hansson ve Antti, 2006).

Termal olarak modifiye edilmiş ahşap, aşırı yüksek sıcaklıklarda yoğun işlem den geçirilerek elde edilir. Masif ahşabın ısı işlemi, birçok özelliğini kalıcı olarak değiştirir (Jamsa ve Viitaniemi, 2001; Tjeerdsma ve Militz, 2005; Bekhta ve Niemz, 2003; Johansson ve Moren, 2006; Shi ve ark., 2007; Gonzales-Pena ve Hale, 2009). Bu tür bir modifikasyon, termal olarak modifiye edilmiş ahşap kalitesinin ve kullanılabilirliğinin çok önemli bir göstergesi olan sertlikte değişikliğe neden olmaktadır (Todorović ve Popović, 2011).

Bu çalışmada, adi kızılâğaç, üvez, kestane, akçaağaç, adi gürgen, Uludağ göknarı, söğüt, ıstranca meşesi ve dişbudak odunlarının ThermoWood metoduna göre 212°C'de 1 ve 2 saat süreleri ile ısı işlem sonrasında meydana gelen shore D sertlik değerleri araştırılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Materyal**

Bu çalışmada, adi kızılâğaç (*Alnus glutinosa* L. Gaertn.), adi gürgen (*Carpinus betulus* L.), Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.), üvez (*Sorbus* L.), akçaağaç (*Acer trautvetteri* Medw.), kestane (*Castanea sativa* Mill.), söğüt (*Salix alba*), ıstranca meşesi (*Quercus hartwissiana* Steven) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odunları seçilmiştir.

Malzemeler üzerinde iklimlendirme işlemleri yapılmıştır (ISO 554, 1976). Malzeme ölçüleri 100 mm x 100 mm x 10 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) şeklinde hazırlanmıştır.

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Isıl işlem uygulaması

Ahşap malzemeler üzerinde gerçekleştirilen ısıl işlem uygulaması, 212°C’de 1 ve 2 saat süre ile bilgisayar destekli fırınlara sahip Bolu Gerede Organize Sanayi Bölgesi’nde bulunan Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.’n de gerçekleştirilmiştir. ThermoWood metoduna göre ısıl işlem uygulaması ThermoWood kitabında (Anonim, 2003) anlatıldığı şekliyle uygulanmıştır. Isıl işlem görmüş örnekler ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar iklimlendirme odasında %50±5 bağıl nem ve 23±2°C’de bekletilmiştir (ISO 554, 1976).

### 2.2.2. Hava kurusu yoğunluğunun belirlenmesi

Isıl işlemlili ve işlemsiz ahşap malzemeler üzerinde dijital kumpasla boyutları ölçüldükten sonra, malzemelerin hacimleri hesaplanarak, aşağıda verilen formül ile hava kurusu yoğunluklar belirlenmiştir (TS 2472, 1976);

$$D_{12} = (M_{12} / V_{12}) \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

$M_{12}$ : %12 rutubetteki örnek ağırlığı (gr)

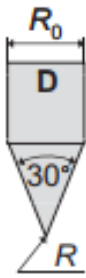


$V_{12}$ : %12 rutubetteki örnek hacmi (cm<sup>3</sup>)

$D_{12}$ : %12 rutubetteki yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)

### 2.2.3. Shore D sertlik değerinin belirlenmesi

Isıl işlemsiz ve işlemlili ahşap malzemelerin shore D sertlik değerleri ASTM D 2240 (2010)’a göre shore D meter cihazında (Stand: model Ld-J Loyka ve Durometer: Shenzhen Yibai Network Technology Co., Ltd., Çin) (Çizelge 1) 5 kg’lık yük uygulamalı olacak şekilde 10 ölçüm alınarak belirlenmiştir.

**Çizelge 1.** Shore D sertlik cihazının yapısı hakkında bilgiler (Grellmann ve Seidler, 2014)

Girinti Geometrisi - Malzemesi	Görünüş
Küresel kapaklı Kesik koni $R_o = 1.25 \text{ mm}$ $R = 0.1 \text{ mm}$	
Test Kuvveti - Girinti Derinliği	
$0 \text{ N} \leq F \leq 44.5 \text{ N}$ $0 \text{ mm} \leq h \leq 2.5 \text{ mm}$	

## 2.3. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada, bir SPSS programı yardımıyla standart sapmalar, homojenlik grupları, varyasyon katsayıları, minimum ve maksimum değerleri, ortalama değerleri ve varyans analizi hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Ağaç türlerinde belirlenmiş olan shore D sertlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, shore D sertlik için ağaç türü (A), ısıtma işlem (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur.

**Çizelge 2.** Elde edilen shore D sertlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0,05$
Ağaç Türü (A)	24647.467	8	3080.933	1589.189	0.000*
Isıl İşlem (B)	5020.956	2	2510.478	1294.940	0.000*
Etkileşim (AB)	1091.978	16	68.249	35.204	0.000*
Hata	471.100	243	1.939		
Toplam	923919.000	270			
Düzeltilmiş toplam	31231.500	269			

\*: Anlamlı

Ağaç türlerinde belirlenmiş olan shore D sertlik değerleri ve yoğunluklarına ait sonuçlar Çizelge 3’de gösterilmektedir. Verilen bu sonuçlara göre, bütün ağaç türlerinde ısıtma işleminden sonra sertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ağaç türleri arasında en yüksek azalma oranı Uludağ göknarında elde edilirken, en düşük adi gürgen odununda belirlenmiştir. Ayrıca ısıtma işlem süresinin artması ile de sertlik değerinin azaldığı görülmektedir.

Literatürde, ısıtma işlem görmüş ahşap malzemelerin shore D sertlik çalışmaları incelendiğinde; Ayata ve Bal (2021a) tarafından yapılan çalışmalarında, 200°C’de ısıtma işlem görmüş ve görmemiş kırmızı karaağaç (*Ulmus rubra*) odununda shore D sertlik değeri sırasıyla 47.30 ve 57.70 olarak belirlenmiş olup, azalma oranı %18.02 olarak elde edilmiştir. Ayata ve Bal (2021b) tarafından yapılan çalışmada, 200°C’de 3 saat ısıtma işlem ile shore D sertlik değerlerinde fukadi (*Terminalia amazonia*) için %7.62, kopie (*Goupia glabra*) için %7.34 ve porsuk (*Taxus baccata* L.) için %6.79 oranlarında azaldıkları bildirilmiştir. Ayata (2021) tarafından yapılan çalışmada, ThermoWood metoduna göre 212°C’de 2 saat sürede ısıtma işlem uygulanmış ve uygulanmamış Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) odununda shore D sertlik değerini sırasıyla 29.60 ve 37.20 olarak elde etmiş olup, azalma oranını %20.43 olarak bulmuştur. Türk (2021), çalışmasında 200°C’de 3 saat süre ile ısıtma işlem görmüş ve görmemiş jequitiba (*Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze), eyong (*Eribrroma oblonga*) ve koto (*Pterygota macrocarpa* K. Schum.) ağaç türlerinde shore D sertlik değerlerini belirlemiştir. Sonuçlara göre, ısıtma işlem ile sertlik değerinin azaldığını rapor etmiştir. Esteves ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmada sipo (*Entandrophragma utile*), afrormosia (*Pericopsis elata*), merbau (*Intsia bijuga*), wenge (*Millettia laurentii*), teak (*Tectona grandis* L.), sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), zebrano (*Microberlinia brazzavillensis*), santos (*Myroxylon balsamum*), doussié (*Afzelia africana*), gül (*Dalbergia nigra*), limba/fraké (*Terminalia superba*), acajou d’Afrique (*Khaya anthotheca*), tali (*Erythrophleum suaveolens*) ve duka (*Tapirira guianensis*) ağaç türlerine uygulanmış olan ThermoWood metoduna göre 212°C’de 1 ve 2 saat süreli varyasyonlardan oluşan ısıtma işlemlerden sonra shore D sertlik değerlerinin ısıtma işlem ile azaldığını bildirmişlerdir. Bu çalışmalarda da ısıtma işlem sonrası shore D sertlik değerlerinin ve yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar literatürle benzerlik göstermektedir. Isıtma işlem sonrası sertliğin azalmasının nedeni olarak literatürde yapılan açıklamalar doğrultusunda; “mukavemet kaybının birincil nedeni, selüloz ve lignine göre ısıya daha az dirençli olan hemiselülozların bozunması olup, yüksek sıcaklıklarda ısıtılan ahşabın mukavemet özelliklerinde hemiselüloz değişikliklerinin anahtar rol oynadığı iyi bilinen bir gerçektir (Hillis, 1984)” şeklinde ifade edilmiştir.

**Çizelge 3.** Testler sonunda elde edilen shore D sertlik değerleri ve yoğunluklara ait veriler

Ağaç Türü	İşlem Türü	Ölçüm Sayısı	Ortalama	Sertlikte Değişim Oranı (%)	Standart Sapma	Homojenlik Grubu	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm	Varyasyon Katsayısı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Adi kızılgağaç ( <i>Alnus glutinosa</i> L. Gaertn.)	Kontrol	10	59.60	-	1.26	G	58.00	61.00	2.11	0.546
	212°C'de 1 saat	10	54.90	↓7.89	0.74	H	54.00	56.00	1.35	0.475
	212°C'de 2 saat	10	46.50	↓21.98	1.84	J	44.00	49.00	3.96	0.470
Adi gürgen ( <i>Carpinus betulus</i> L.)	Kontrol	10	72.10	-	0.88	B	70.00	73.00	1.22	0.804
	212°C'de 1 saat	10	68.80	↓4.58	0.42	C	68.00	69.00	0.61	0.789
	212°C'de 2 saat	10	68.10	↓5.55	1.45	C	66.00	69.00	2.13	0.783
Uludağ göknarı ( <i>Abies bornmülleriana</i> Mattf.)	Kontrol	10	54.30	-	2.41	H	49.00	57.00	4.44	0.437
	212°C'de 1 saat	10	40.30	↓25.78	1.42	M	39.00	42.00	3.52	0.408
	212°C'de 2 saat	10	36.40	↓32.97	0.52		36.00	37.00	1.43	0.402
Üvez ( <i>Sorbus</i> L.)	Kontrol	10	65.60	-	0.84	D	64.00	66.00	1.28	0.587
	212°C'de 1 saat	10	61.60	↓6.10	0.52	F	61.00	62.00	0.84	0.494
	212°C'de 2 saat	10	58.80	↓10.37	1.55	G	56.00	60.00	2.64	0.351
Akçaağaç ( <i>Acer trautvetteri</i> Medw.)	Kontrol	10	68.20	-	0.63	C	67.00	69.00	0.92	0.682
	212°C'de 1 saat	10	63.70	↓6.60	0.67	E	63.00	65.00	1.05	0.626
	212°C'de 2 saat	10	63.30	↓7.18	0.48	E	63.00	64.00	0.76	0.594
Kestane ( <i>Castanea sativa</i> Mill.)	Kontrol	10	59.00	-	2.26	G	55.00	61.00	3.83	0.521
	212°C'de 1 saat	10	50.30	↓14.75	1.42	I	49.00	53.00	2.82	0.457
	212°C'de 2 saat	10	44.50	↓24.58	1.08	K	43.00	46.00	2.43	0.404
Söğüt ( <i>Salix alba</i> )	Kontrol	10	54.90	-	1.45	H	53.00	57.00	2.64	0.525
	212°C'de 1 saat	10	47.20	↓14.03	1.55	J	45.00	49.00	3.28	0.471
	212°C'de 2 saat	10	42.30	↓22.95	1.16	L	41.00	44.00	2.74	0.464
Istranca meşesi ( <i>Quercus hartwissiana</i> Steven)	Kontrol	10	58.50	-	3.34	G	55.00	62.00	5.71	0.593
	212°C'de 1 saat	10	49.80	↓14.87	1.62	I	48.00	53.00	3.25	0.538
	212°C'de 2 saat	10	46.10	↓21.20	1.45	J	44.00	48.00	3.15	0.514
Dişbudak ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	Kontrol	10	76.40	-	0.52	A*	76.00	77.00	0.68	0.793
	212°C'de 1 saat	10	72.70	↓4.84	0.67	B	72.00	74.00	0.92	0.736
	212°C'de 2 saat	10	68.60	↓10.21	0.70	C	68.00	70.00	1.02	0.730

\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, bazı ağaç türlerinin odunlarına ısıtılma işlemi uygulanması sonrası, sertlik değerinde meydana gelen değişimler araştırılmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bu makale, üvez, kestane, akçaağaç, adi kızılgağaç, Uludağ göknarı, söğüt, adi gürgen, ıstranca meşesi ve dişbudak odunlarına ait shore D sertlik değerlerinin ve yoğunluk değerlerinin ThermoWood metoduna göre 212°C'de 1 ve 2 saat süreleri ile ısıtılma işlemi uygulanması ile azaldığını göstermektedir. Farklı türlerden elde edilen ahşap malzemeler ısıtılma süresinin artması ile düşük veriler ortaya koyduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Isıtılmalı malzemelerin kullanım alanları hakkında önemli bilgiler sunması adına çalışmada kullanılan ağaç malzemeler üzerinde yapay ve doğal yaşlandırma işlemlerinin ve testlerinin yapılması önerilmektedir.

## **Teşekkür**

Yazarlar, ısıl işlem uygulamaları için NOVA ThermoWood Fabrikasına (Bolu-Gerede, Türkiye) teşekkür etmektedir.

## **Yazar Katkıları**

**Mutlu Türk:** Laboratuvar çalışmalarının yapılması, verilerin elde edilmesi, makalenin yazılması, **Ümit Ayata:** Laboratuvar çalışmalarının yapılması, verilerin elde edilmesi, makalenin yazılması.

## **Kaynaklar**

- Akpan, M., (2008), Studies on hardness property of neem wood growing in Nigeria, *ProLigno*, 4(2), 11-18.
- Anonim, (2003), ThermoWood® Handbook, Finnish ThermoWood Association, Helsinki, Finland.
- ASTM D 2240, (2010), Standard test method for rubber property-durometer hardness, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- Ayata, Ü., (2021), Sibirya’da iç ve dış mekânlarda kullanılan Sibirya çamı odununun yüzey pürüzlülüğü parametreleri ve shore D sertlik değeri üzerine ısıl işlemin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-8. DOI: 10.33725/mamad.911611.
- Ayata, Ü., Bal, B.C., (2021a), 200°C’de ısıl işlem görmüş kırmızı karaağaç (*Ulmus rubra*) odununda bazı yüzey özelliklerinin ve shore D sertlik değerinin araştırılması, 5. Asya Pasifik Uluslararası Modern Bilimler Kongresi 16-18 Temmuz 2021, Sydney, Avustralya, 258-270.
- Ayata, Ü., Bal, B.C., (2021b), Kopie, fukadi ve porsuk ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik üzerine ısıl işlemin etkisi, Hoca Ahmet Yesevi, 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 5-6 Kasım 2021 Nahçıvan Devlet Üniversitesi, Azerbaycan, 166-180.
- Balta´ Calleja, F.J., Boneva, D., Krumova, M., Fakirov, S., (1998), Microhardness under strain, 4. Reversible micro hardness in polyblock thermoplastic elastomers with poly (butylene terephthalate) as hard segments, *Macromolecular Chemistry and Physics*, 199, 2217-2220.
- Bekhta, P., Niemi, P., (2003), Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, *Holzforschung*, 57, 539-546.
- Briscoe, B.J., Sinha, S.K., (2003), Scratch resistance and localised damage characteristics of polymer surfaces—a review, *Mat- wiss U Werkstofftech*, 34(10/11), 989-1002.
- Čermák, P., Dejmál, A., (2013), The effect of heat and ammonia treatment on colour response of oak wood (*Quercus robur*) and comparison of some physical and mechanical properties, *Maderas. Ciencia y tecnología* 15(3), 375-389. DOI: 10.4067/S0718-221X2013005000029.

- Chotikhun, A., Hiziroglu, S., (2016), Measurement of dimensional stability of heat treated southern red oak (*Quercus falcata* Michx.), *Measurement*, 87, 99-103. DOI: 10.1016/j.measurement.2016.02.064.
- Esteves, B., Şahin, S., Ayata, Ü., Domingos, I., Ferreira, J., Gurleyen, L., (2021), The effect of heat treatment on shore - D hardness of some wood species, *BioResources*, 16(1), 1482-1495. DOI: 10.15376/biores.16.1.1482-1495.
- Gong, M., Lamason, C., Li, L., (2010), Interactive effect of surface densification and post-heat-treatment on aspen wood, *Journal of Materials Processing Technology*, 210(2), 293-296. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2009.09.013.
- Gonzales-Pena, M., Hale, M., (2009), Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine, Part 2: Property predictions from colour changes, *Holzforschung*, 63(4), 394-401.
- Grellmann, W., Seidler, S., (2014), Part 3: Mechanical and Thermomechanical Properties of Polymers: Subvolume A: Polymer Solids and Polymer Melts, K.-F. Arndt and M. D. Lechner (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Hansson, L., Antti, A.L., (2006), The effect of drying method and temperature level on the hardness of wood, *Journal of Materials Processing Technology*, 171(3), 467-470. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.08.007.
- Hillis, W.E., (1984), High temperature and chemical effects on wood stability, *Wood Science and Technology*, 18(4), 281-293. DOI: 10.1007/BF00353364.
- Hirata, S., Ohta, M., Homna, Y., (2001), Hardness distribution on wood surface, *Journal of Wood Science*, 47, 1-7.
- Holmberg, H., (2000), Influence of grain angle on Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), *Holz als Rohund Werkstoff*, 58, 91-95.
- ISO 554, (1976), Standard Atmospheres for Conditioning and/or Testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Jamsa, S., Viitaniemi, P., (2001), Heat treatment of wood - better durability without chemicals. in: review on heat treatments of wood, Proceedings of the special seminar on heat treatments, 9 February 2001, Luxembourg: 17-22.
- Johansson, D., Moren, T., (2006), The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood. *Holz Roh Werkst*, 64, 104-110.
- Kollmann, F., (1936), *Technologie des Holzes*, 1st ed.; Springer: Berlin, Germany.
- Kollmann, F., (1951), *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*, vol 1. Springer, Berlin, pp 910-926.
- Mina, M.F., Ania, F., Balta´ Calleja, F.J., Asano, T., (2004), Microhardness studies of PMMA/natural rubber blends, *Journal of Applied Polymer Science*, 91(1), 205-210. DOI: 10.1002/app.13246.
- Peng, H., Jiang, J., Zhan, T., Lu, J., (2016), Influence of density and equilibrium moisture content on the hardness anisotropy of wood, *Forest Products Journal*, 66(7-8), 443-452. DOI: 10.13073/FPJ-D-15-00072.

- Shi, L.J., Kocaefe, D., Zhang, J., (2007), Mechanical behaviour of Quevec wood species heat treated using Thermo Wood process, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65, 255-259.
- Şanıvar, N., Zorlu, İ., (1980), Ağaç işleri Gereç Bilgisi Temel Ders Kitabı, Mesleki Ve Teknik Öğretim Kitapları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları No: 43, 472 sayfa.
- Tabil, L.G., Jr., Sokhansanj, S., Crerar, W.J., Patil, R.T., Khoshtaghaza, M.H., Opoku, A., (2002), Physical characterization of alfalfa cubes: I. Hardness, *Canadian Biosystems Engineering*, 44, 55-63.
- Tjeerdsma, B., Militz, H., (2005), Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63, 102-111.
- Todorović, N., Popović, Z., (2011), Relationship between colour change and surface hardness in thermally modified sessile oak wood, *Forestry Ideas*, 17(2), 183-190.
- TS 2472, (1976), Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, T.S.E. Standardı, Ankara.
- Türk, M., (2021), Eyong, jequtiba ve koto ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik değerleri üzerine ısı işlemin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 51-60, DOI: 10.33725/mamad.928381.
- Zamfirova, G., Lorenzo, V., Benavente, R., Perena, J.M., (2003), On the relationship between modulus of elasticity and microhardness, *Journal of Applied Polymer Science*, 88(7), 1794-1798. DOI: 10.1002/app.11788.