

## Karaçam ve karakavak odunlarının bazı mekanik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma

Bekir Cihad Bal<sup>a</sup> , Ümit Ayata<sup>b,\*</sup> 

**Özet:** Çam ve kavak odunları Türkiye’de birçok yerde yetişmektedir. Her ağaç türü sahip oldukları anatomik yapılarından dolayı farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Bu çalışmada, karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ve karakavak (*Populus nigra* L.) odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, karaçam odununda rutubet içeriği, hava kuru yoğunluk, eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci, şok direnci sırasıyla %9.77, 508 kg/m<sup>3</sup>, 118.7 N/mm<sup>2</sup>, 9789 N/mm<sup>2</sup>, 57 N/mm<sup>2</sup>, 0.416 kgm/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Ayrıca, karakavak odununda rutubet içeriği, hava kuru yoğunluk, eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci, şok direnci sırasıyla %9.81, 396 kg/m<sup>3</sup>, 75.1 N/mm<sup>2</sup>, 5438 N/mm<sup>2</sup>, 42 N/mm<sup>2</sup>, 0.438 kgm/cm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çam, Kavak, Fiziksel özellikler, Mekanik özellikler

## A comparative study on some mechanical properties of black pine and black poplar woods

**Abstract:** Pine and poplar wood types grow in many places in Turkey. Each tree species has different physical and mechanical properties due to its anatomical structures. In this study, some physical and mechanical properties of black pine (*Pinus nigra*) and black poplar (*Populus nigra* L.) wood were investigated, and compared with each other. According to the results of the research, moisture content, air-dried density, bending strength, modulus of elasticity, compression strength and impact bending strength of black pine wood were 9.77%, 508 kg/m<sup>3</sup>, 118.7 N/mm<sup>2</sup>, 9789 N/mm<sup>2</sup>, 57 N/mm<sup>2</sup>, 0.416 kgm/cm<sup>2</sup>, respectively. In addition, moisture content, air-dried density, bending strength, modulus of elasticity, compression strength and impact bending strength of black poplar wood were 9.81%, 396 kg/m<sup>3</sup>, 75.1 N/mm<sup>2</sup>, 5438 N/mm<sup>2</sup>, 42 N/mm<sup>2</sup>, 0.438 kgm/cm<sup>2</sup>, respectively.

**Keywords:** Pine, Poplar, Physical properties, Mechanical properties

### 1. Giriş

Çam ve kavak ağaç türleri Türkiye’nin birçok bölgesinde bulunmaktadır (Şanivar ve Zorlu, 1980).

Karaçam (*Pinus nigra*) ağacı öz odunlu olup, diri odunu geniş, öz odunu dar, çok reçineli, başkesitinde yıllık halkalarının görünüşü açık ve belirli olup yumuşak yapılıdır. Karaçam yapıların iç ve dış bölümlerinde, gemi ve vagonların iç bölümlerinde, köprü ayaklarında, maden direklerinde ve ambalaj sanayinde geniş bir kullanıma sahip olmaktadır (Şanivar ve Zorlu, 1980). Karaçam odununu üzerinde yapılan önceki çalışmalarda; radyal yönde genişleme %6.57, hacimsel genişleme %14.23, teğet yönde genişleme %7.19, radyal yönde daralma %5.69, teğet yönde daralma %7.12, hacimsel daralma %12.40 (Kardaş, 2014), selüloz %48.27, ekstraktif madde içeriği %8.71, holoselüloz %64.27, α-selüloz %40.10, lignin %34.32, sıcak su çözünürlüğü %8.688, soğuk su çözünürlüğü %7.42, kül içeriği %0.60, %1’lik NaOH çözünürlüğü, %19.75 (Akyürek, 2019), statik kalite değeri 8.0 (Var ve Kardaş, 2017), ısı iletkenlik değeri 0.143 W/m.K (Çavuş vd., 2019) ve *Coniophora puteana* mantarına karşı 12 haftalık süre sonrasındaki kütle kaybı %43.9 (Lykidis vd., 2013) olarak belirlenmiştir.

Karakavak (*Populus nigra* L.) ağaç türü ise çoğunlukla silindirik gövdeli, uzun yapılı, basit yapraklı, dağınık gözenekli ağaç grubundandır. Kolay biçilir, zor rendelenir ve güç yarıdır. Kavak, yapı işlerinde, soyma ve kesme kaplama üretiminde, kontrplak üretiminde ambalaj sanayinde, kâğıt hamuru üretiminde, oturma mobilyasının iskeletinde kullanılmaktadır (Dinçel vd., 1970). Türkiye’de karakavak türünün iki taksonu olduğu ve bu taksonlara ait çeşitli mutantlarının olduğu bildirilmiştir (Küçükosmanoğlu, 2009). Karakavak odunu üzerinde yapılan önceki çalışmalarda, basınç direnci 25.46 MPa, Brinell sertlik değeri teğet ve radyal yüzeylerde sırası ile 1.84 kN ve 1.10 kN (Hashemi vd., 2010), %1’lik NaOH çözünürlüğü %15.02, ekstraktif madde miktarı %2.35, holoselüloz miktarı %69.63, hemiselüloz miktarı %28.46, alfa selüloz miktarı %41.17, inorganik madde miktarı %0.39 (Narlıoğlu, 2012) ve *Trametes versicolor* mantarına karşı ağırlık kaybı %47.5 (Karimi vd., 2013) olarak bulunmuştur.

İğne yapraklı ağaçlar ile geniş yapraklı ağaçların birbirlerinden önemli bazı farklılıkları bulunmaktadır. Büyüme özellikleri, görünüş özellikleri, lif morfolojisi, kabuk, tohum ve odun özellikleri arasında önemli farklılıklar vardır. İğne yapraklı ağaç odunları yumuşak odunlar ve geniş yapraklı ağaç odunları ise sert odunlar

✉ <sup>a</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Malzeme Bölümü, Kahramanmaraş

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

@ \* **Corresponding author** (İletişim yazarı): umitayata@bayburt.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 16.09.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 30.11.2020



**Citation** (Atıf): Bal, B.C., Ayata, Ü., 2020. Karaçam ve karakavak odunlarının bazı mekanik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma. Turkish Journal of Forestry, 21(4): 461-467. DOI: [10.18182/tjf.795698](https://doi.org/10.18182/tjf.795698)

olarak adlandırılmaktadır. Bazı türler hariç, geniş yapraklı ağaç türleri daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Odunun fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyolojik dayanıklılığı gibi özelliklerini, odun yoğunluğu, odunun rutubet içeriği, ekstraktif içeriği ve lif özellikleri gibi faktörler etkilemektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Önceki çalışmalarda, odun yoğunluğu arttıkça daralma ve genişleme yüzdesinin arttığı, içerisine aldığı su miktarının azaldığı belirlenmiştir (Kollmann ve Cote, 1968; Bozkurt ve Göker, 1996; Bal ve Bektaş, 2018a). Odun yoğunluğunun artması ile mekanik özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir (Kollmann ve Cote, 1968; Bozkurt ve Göker, 1996; Bal vd., 2012; Bal ve Bektaş, 2018b). Genel bir kural olarak yüksek yoğunluğa sahip olan odunların aynı zamanda yüksek mekanik özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir (Kollmann ve Cote, 1968; Bozkurt ve Göker, 1996).

Önceki çalışmalar incelendiğinde, yazarların ulaşabildiği kadariyle, Türkiye’de endüstriyel olarak çok fazla kullanılan karaçam ve karakavak odunlarının mekanik özellikleri üzerine yeterli içerikte karşılaştırmalı bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada, farklı yoğunluk değerlerine sahip olan iğne yapraklı bir ağaç türü olan karaçam odunu ve geniş yapraklı bir ağaç türü olan karakavak odununun mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Materyal

Denemelerde kullanılan karaçam (*Pinus nigra*) ve karakavak (*Populus nigra* L.) odunu, Kahramanmaraş ili keresteciler sitesinden tomruk olarak temin edilmiştir. Her iki tür de Kahramanmaraş ilinde yetişmiş türlerdir.

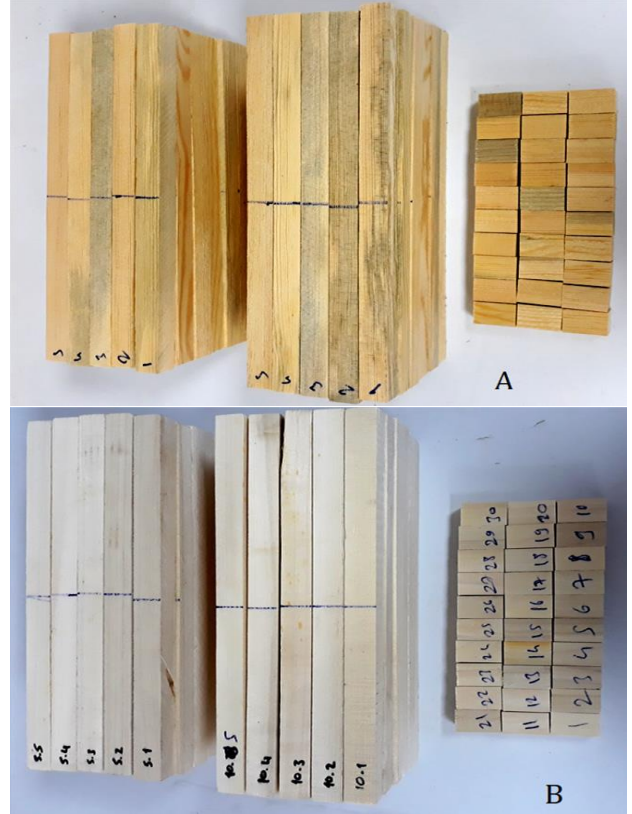
Test örnekleri budak, çatlak, böcek yuvası, mantar çürüklüğü, reçine kesesi, lif kıvrıklığı gibi odun kusurları olmayan temiz kısımlardan hazırlanmıştır. Test örneklerinin görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.

### 2.2. Yöntem

#### 2.2.1. Fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Odunun rutubeti TS 2471’e göre ve yoğunluk değeri TS 2472’e göre hesaplanmıştır. Eğilme direnci TS 2474’e, eğilmede elastikiyet modülü TS 2478’e, şok direnci TS 2477’ye, liflere paralel basınç direnci TS 2595 numaralı standartta belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır.

Eğilme direnci ve şok direnci denemelerinde kuvvet test örneğinin radyal yüzeyine uygulanmıştır. Eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci testlerinde test hızı 8 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Eğilme direnci test örneği 2x2x30 cm ölçülerinde hazırlanmıştır. Mesnet açıklığı 24 cm olarak ayarlanmıştır. Bu testler hidrolik sistemle çalışan statik malzeme test cihazında Şekil 2-A ve 2-C’de görüldüğü gibi yapılmıştır. Şok direnci testleri Şekil 2-B’de görüldüğü gibi şok direnci test cihazı ile yapılmıştır. Denemeler sonunda elde edilen test sonuçları, her iki ağaç türünün rutubet miktarı birbirine çok yakın olduğu için, %12 rutubet seviyesine tahvil işlemi yapılmamıştır.



Şekil 1. Eğilme direnci, şok direnci ve basınç direnci test örnekleri (A: Karaçam, B: Karakavak)

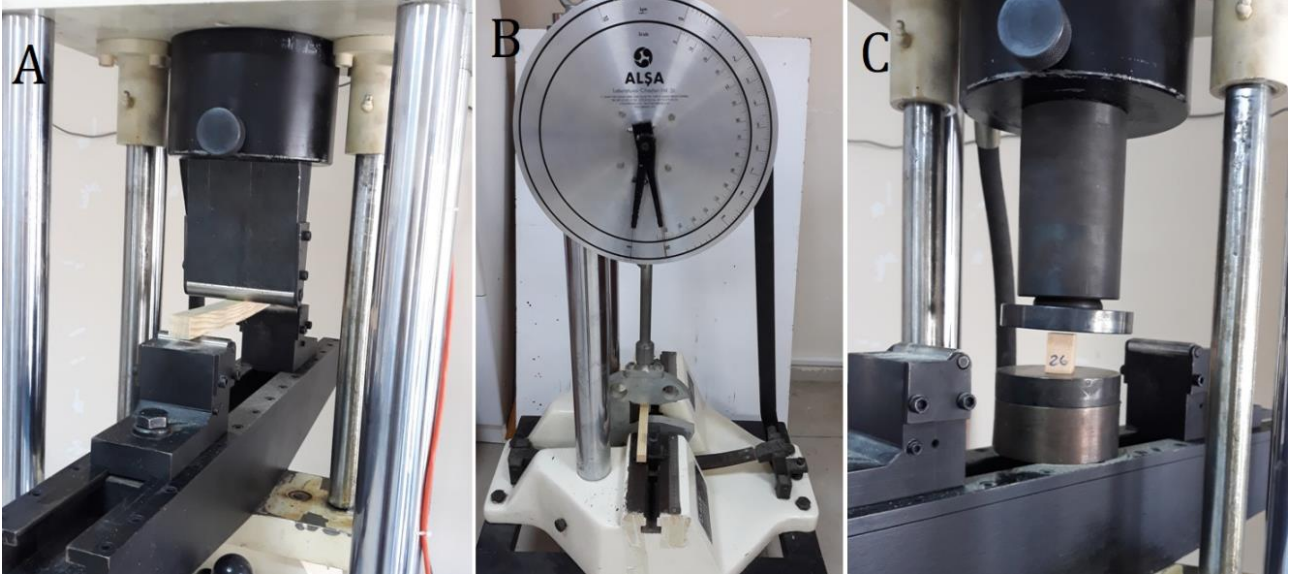
### 2.3. İstatistiksel analiz

Çalışmada yapılmış olan testlere ait minimum ve maksimum ölçüm sonuçları, standart sapmaları ve ortalamaları belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuştur.

## 3. Bulgular ve tartışma

Denemelerden elde edilen rutubet, yoğunluk, eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci ve şok direnci test sonuçları, aşağıda Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1’e göre, rutubet içeriklerinin birbirlerine çok yakın olduğu, karaçam odununun hava kuru yoğunluk değeri, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direncinin karakavak odunununkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Şok direnci ise diğer mekanik özelliklerin aksine karakavak odununda daha yüksek belirlenmiştir. Çizelge 1’de verilen rutubet içerikleri göz önüne alındığında, mekanik özellikler arasında belirlenen farkların rutubet içeriğinden kaynaklandığı söylenemez.

Hava kuru yoğunluk değerleri incelendiğinde, karaçam odununun yoğunluğunun karakavak odunundan önemli derecede daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda, yoğunluğu yüksek olan karaçam odununun tüm mekanik özelliklerinin karakavak odunundan daha yüksek olması beklenir.



Şekil 2. Testlerin yapılması (A: Eğilme direnci, B: Şok direnci, C: Basınç direnci)

Çizelge 1. Rutubet, yoğunluk ve mekanik özelliklere ait test sonuçları

Ağaç türü	İstatistik değerler	Rutubet (%)	Hava kuru yoğunluk ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Eğilme direnci ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Elastikiyet modülü ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Basınç direnci ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Şok direnci ( $\text{kgm}/\text{cm}^2$ )
Karaçam	Ortalama	9.77	508	118.7	9789	57.0	0.416
	Standart sapma	0.28	29	11.4	1630	4.4	0.104
	Minimum	9.11	447	95.5	7012	48.2	0.224
	Maksimum	10.29	584	138.7	12661	65.2	0.600
Karakavak	Ortalama	9.81	396	75.1	5438	42.0	0.438
	Standart sapma	0.31	15	4.5	782	2.5	0.085
	Minimum	9.09	361	68.8	4394	37.1	0.277
	Maksimum	10.41	430	84.3	7893	45.8	0.602

Önceki çalışmalarda yoğunluk ile mekanik özellikler arasında doğrusal güçlü bir ilişki olduğu ve yoğunluk arttıkça mekanik özelliklerin de arttığı belirlenmiştir (Kollmann ve Cote, 1968; Malkoçoğlu 1994; Bozkurt ve Göker, 1996; Kantay vd., 2000; Gündüz, 1999; Bal vd., 2012; Bal ve Bektaş, 2018b; Çavuş, 2020). Ancak, Çizelge 1 incelendiğinde eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci karaçam odununda, şok direnci ise karakavak odununda daha yüksektir.

Efe ve Çağatay (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, geniş yapraklı kayın, meşe, kestane ve ceviz odunu ile iğne yapraklı bir tür olan sarıçam odunun mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, rutubet içeriği çok yakın olan ve yoğunluk değeri birbirine eşit olan kestane ile sarıçam odunun eğilme direnci, basınç direnci, makaslama direnci ve çekme direnci birbirinden önemli derecede farklılık göstermiştir. Elastikiyet modülü, makaslama direnci, eğilme direnci ve çekme direnci sarıçam odununda daha yüksek belirlenmiş ancak, basınç direncinde kestane odunu daha yüksek belirlenmiştir. Ayrıca, Efe ve Kasal (2007) tarafından yapılan çalışmada, kayın ve sarıçam odunu ve ayrıca bazı odun esaslı kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan testler sonucu elde edilen verilere göre; kayın odununun yoğunluk değeri, basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü değeri, makaslama direnci ve liflere paralel çekme direncinin sarıçam odununun değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise; basınç direnci iğne yapraklı bir ağaç olan göknar

odununda  $44.5 \text{ N}/\text{mm}^2$  ve geniş yapraklı bir ağaç olan gürgen odununda ise  $72,2 \text{ N}/\text{mm}^2$  olarak belirlenmiştir.

Efe ve Çağatay (2011) tarafından yapılan çalışmada, şok direnci testi yapılmamıştır. Bu nedenle şok direnci karşılaştırması yapılamamıştır. Diğer yapılan testler göz önünde bulundurularak şu sonuca varılabilir. İğne yapraklı ağaçlar ile geniş yapraklı ağaçların odunlarının mekanik özelliklerinin karşılaştırılmasında rutubet ve yoğunluk değerleri benzer olsa bile farklılık gösterebilmektedir. Bu durum, mekanik özellikleri etkileyen diğer odun özellikleri olan lif morfolojisi, yıllık halka yapısı ve odunun kimyasal içeriği ile ve ayrıca test ile ilgili olarak odun heterojenliği ile açıklanabilir. Geniş yapraklı ağaç odunları ile iğne yapraklı ağaç odunları lif morfolojisi bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. İğne yapraklı ağaç odunları daha basit yapıdadır ve traheidler ile öz ışınları çok fazla oranda bulunur. Geniş yapraklı ağaç odunlarında ise odun lifleri, traheler, paraşim hücreleri ve öz ışınları bulunmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997). Hücre tiplerinin farklı olması mekanik özellikleri etkilemektedir. Odunun kimyasal içeriğinin farklı olması statik mekanik testler ile dinamik mekanik testler arasında farklılıklara neden olabilmektedir. Odunun selüloz içeriği eğilme direnci ve çekme direncini, lignin içeriği ise çekme ve şok direncini etkilemektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997; Örs ve Keskin, 2001). Ayrıca, yapılan bir çalışmada, iğne yapraklı bir ağaç olan sedir odununda ekstraktif maddelerin yoğunluğu artırdığı ancak mekanik özellikleri artıran bir etki yapmadığı rapor edilmiştir (Bal vd., 2012). Odunun heterojen bir yapıda olması da yapılan testleri önemli derecede etkilemektedir

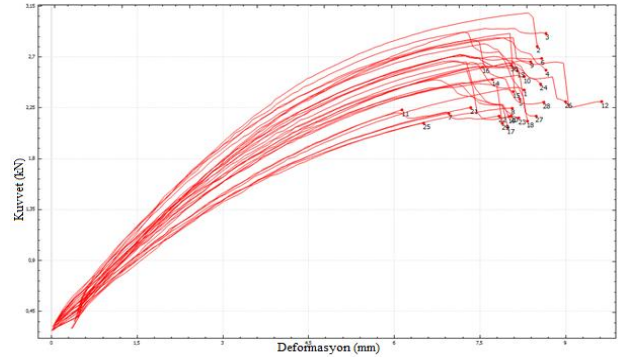


(Garcia vd., 2012). Test örneklerinin ağacın, genç odun-olgun odun veya öz odun-diri odun gibi farklı yerlerinden alınması genel sonucu etkilemektedir (Bal, 2011; Bal vd., 2012; Bal ve Bektaş, 2013). Yapılan bazı önceki çalışmalarda, ağaç türü aynı olsa bile, farklı yörelerde yetişen ağaçların odunlarının farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Örneğin Bektaş (1997) tarafından yapılan çalışmada; Kızılcım (*Pinus Brutia* ten.) odununun teknolojik özellikleri ve yörelere göre değişimi incelenmiştir. Yapılan testler sonunda elde edilen verilere göre yoğunluk, daralma-genişleme gibi fiziksel özelliklerin yanında, eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci ve şok direnci gibi mekanik özelliklerin yöreler arasında farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise; Kayın odununun toprak ve yetişme yeri ile ilgili değişkenlere göre fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Arazi meyili, rakım, toprağın asitliği, azot içeriği, fosfor ve potasyum gibi faktörlerin odun özellikleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir (Bircan, 2008).

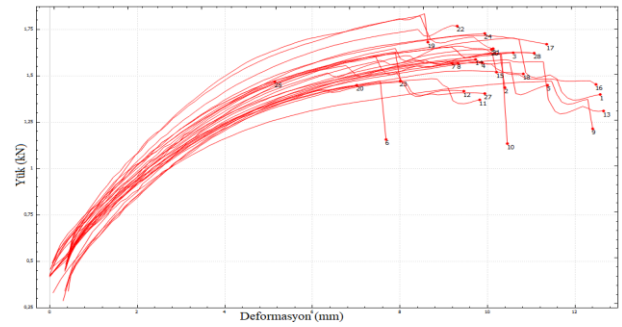
Şekil 3'te karaçam odununun eğilme direnci testi verileri ile oluşturulmuş yük-deformasyon grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, ön yük miktarı 0.250 kN sınırından sonra, deformasyon miktarının mm cinsinden kaydedildiği, elastik bölge sınırının yaklaşık olarak 3 ile 4.5 mm'ye kadar devam ettiği ve testin yaklaşık olarak 7 ile 8 mm'lik bir deformasyon sonunda tamamlandığı görülmektedir.

Şekil 4'te karakavak odununun eğilme direnci testine ait yük-deformasyon grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde ön yük miktarı aşıldıktan sonra, elastik bölge sınırının yaklaşık olarak 2 ile 4 mm aralığında olduğu ve testin yaklaşık olarak 8 ile 11 mm'lik bir deformasyon sonunda tamamlandığı (bazı istisnalar hariç) görülmektedir. Grafikten elde edilen bu veriler ve Çizelge 1'de verilen veriler göz önünde bulundurulduğunda karaçam odunun karakavak odununa göre daha gevrek olduğu söylenebilir.

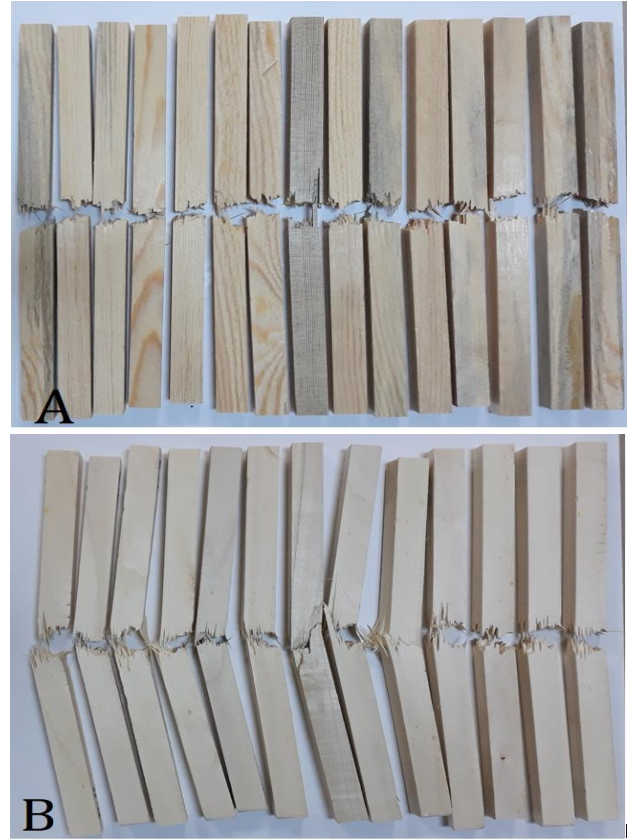
Şekil 5'te şok direnci testi sonrasında, karaçam ve karakavak odunları bazı test örneklerinin kırılma şekilleri görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde karaçam odunu test örneklerinin çoğu genel olarak kıymıksız kırılma şekline sahip oldukları ve karakavak odunu test örneklerinin çoğunun ise kıymıklı kırılma şekline sahip oldukları ve hatta bazı test örneklerinin kırılma sonrası tam olarak iki parçaya ayrıldıkları görülmektedir. Bu durum, şok direnci ile ilgili standartta (TS 2477) açıkça belirtilmiştir. Kıymıklı ve kıymıksız kırılma aslında odunun gevrek veya sünek olmasının göstergesidir. Uzun kıymıklı (3 mm'den uzun) kırılmalar kırılma olmayan, sünek (dayanıklı) odunu ve çok kısa kıymıklı (3 mm'den küçük) veya kıymıksız kırılmalar ise gevrek odunu göstermektedir. Şekil 5'e göre ve Çizelge 1'de verilen şok direnci test sonuçlarına göre, bu çalışmada testleri yapılan karaçam odununun karakavak odununa göre daha gevrek yapıda olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3. Karaçam odununun eğilme direnci testine ait yük-deformasyon grafiği



Şekil 4. Karakavak odununun eğilme direnci testine ait yük-deformasyon grafiği



Şekil 5. Şok direnci testi sonrası test örneklerinin görüntüsü (A: Karaçam, B: Karakavak)

Çizelge 2. Karaçam ve karakavak odununun mekanik özellikleri üzerine yapılan önceki çalışmalar

Ağaç Türü	Hava kuruşu yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Dinamik eğilme (Şok) direnci (kgm/cm <sup>2</sup> )	Kaynak
Karaçam ( <i>Pinus nigra</i> Arnold)	508	118.70	9789.00	57.00	0.416	Tespit
	567	72.39	8616.00	44.75	-	Doğan (2018)
	-	112.00	-	60.00	-	Gündüz ve Aydemir (2009)
	-	137.62	7742.03	56.09	-	Karademir (2012)
	-	94.01	2321.32	41.44	-	Genç (2013)
	532	68.12	-	-	-	Doruk vd. (2010)
	460	82.28	-	38.59	-	Çolak (2005)
	-	107.99	7654.90	48.86	-	Yaldız (2017)
	-	71.45	-	47.61	-	Döğdü (2006)
	-	129.80	-	53.89	-	Akman (2018)
	-	99.55	-	44.54	-	Var ve Kardeş (2017)
	-	92.87	-	43.74	0.420	Göker (1977)
	-	107.48	-	46.90	0.560	Göker (1977)
	-	61.85	-	46.48	-	Erten ve Sözen (1997)
	-	63.30	5450.00	-	0.330	Bal (2014)*
	-	75.60	6800.00	-	0.470	Bal (2014)**
	-	119.91	7061.75	56.94	-	Gündüz (1999)
-	131.76	15276.53	62.29	-	Kamperidou ve Barboutis (2017)	
Karakavak ( <i>Populus nigra</i> L.)	396	75.10	5438.00	42.00	0.438	Tespit
	-	62.80	4214.20	-	0.528	Orhan (2017)
	-	75.60	5986.00	-	0.420	Kılavuz (2019)
	-	71.20	-	42.26	-	Şahin vd. (2006)
	380	62.03	-	22.78	-	Çolak (2005)
	-	51.92	7190.80	48.03	-	Taghiyari (2011)
	404	61.04	7088.00	32.64	-	Yorulmaz (2019)
	-	-	5449.00	-	-	Örs vd. (2006)
	-	64.30	5460.50	45.20	-	Taghiyari vd. (2013)
	441	82.86	8694.85	40.84	-	Dağlıoğlu (2010)
<i>Populus tomentosa</i> Carrière	-	122.83	10520.00	-	-	Li vd. (2019)
<i>Populus tomentosa</i> Carr.	-	72.75	4355.83	-	-	Yan vd. (2015)
<i>Populus tremula</i> L.	-	47.00	4566.70	-	-	Aydemir vd. (2010)
<i>Populus tremula</i> L.	370	57.88	5321.00	34.12	-	Emiroğlu (2018)
<i>Populus alba</i>	-	83.80	6987.20	-	-	Aydemir vd. (2010)
<i>Populus cathayana</i> Rehd.	-	74.80	5722.00	-	-	Wang vd. (2012)
<i>Populus canadensis</i>	-	74.22	4886.24	45.59	-	Karademir (2012)
<i>Populus canadensis</i>	-	76.69	9302.99	-	-	Zhang vd. (2017)
<i>Populus alba x glandulosa</i>	-	64.43	-	34.61	-	Kyu ve Kyo (1987)
<i>Populus deltoides</i> R.89 (Lena)	385	64.76	-	27.19	-	Tunçtaner vd. (2004)
<i>Populus deltoides</i> S.307-26	405	57.22	-	26.72	-	Tunçtaner vd. (2004)
<i>Populus deltoides</i> Samsun	400	83.99	-	29.15	-	Tunçtaner vd. (2004)
<i>Populus x euramericana</i> 10/62	380	62.17	-	21.11	-	Tunçtaner vd. (2004)
<i>Populus x euramericana</i> Cima	400	73.91	-	27.88	-	Tunçtaner vd. (2004)
<i>Populus x euramericana</i> L. Avanzo	385	71.11	-	26.88	-	Tunçtaner vd. (2004)
<i>Populus euroamericana</i>	-	63.09	4724.42	35.16	-	Gökmen (2017)
<i>Populus x euramericana</i> I-214***	351	45.80	4357.00	31.60	0.300	Bal (2011)
<i>Populus x euramericana</i> I-214****	337	64.10	5882.00	37.80	0.459	Bal (2011)
<i>Populus euramericana</i> cv. I-214	320	53.89	-	28.88	-	Tunçtaner vd. (2004)

\* Genç odun, \*\* Olgun odun, \*\*\* Öz odun, \*\*\*\* Diri odun

Karaçam ve karakavak odununun mekanik özellikleri üzerine yapılan önceki çalışmalar Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, yapılan bu çalışma ile önceki çalışmalarda tespit edilen yoğunluk, eğilme direnci ve basınç direnci gibi fiziksel ve mekanik özelliklerde hem çam odunu ve hem de kavak odunu için önemli veya önemsiz farklar içerdiği görülmektedir. Bu farklılıkların temel nedenlerinin ağaç türü varyetesi, yetiştirme yeri, coğrafi bölge, test örneklerinin ağaçtan alındığı yer, odun rutubeti, odun kusurları, test metodu olduğu söylenebilir (Bozkurt ve Göker, 1996; Bozkurt ve Erdin, 1997; Örs ve Keskin, 2001).

#### 4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada iğne yapraklı ağaçlardan karaçam odunu ile geniş yapraklı ağaçlardan karakavak odununun bazı mekanik özellikleri benzer rutubet içeriğine sahip test örnekleri üzerinde karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Yapılan testler sonunda elde edilen veriler doğrultusunda şu sonuçlar söylenebilir;

- Karaçam odununun hava kuruşu yoğunluk değeri karakavak odunundan daha yüksektir. Önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlarda dikkate alındığında, yoğunluğun, farklı ağaçlardan elde edilen odun örnekleri üzerinde yapılan testleri etkileyen en önemli odun özelliği olduğu söylenebilir.

- Karaçam odununun eğilme direnci, elastikiyet modülü, basınç direnci test sonuçları karakavak odununkinden daha yüksektir. Bu sonuçlar üzerine odun yoğunluğunun etkisi büyüktür. Ayrıca, önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, odun lif yapısı, kimyasal içeriği, reçine miktarı gibi faktörlerde mekanik özellikler üzerinde etkilidir.
- Karaçam odununun şok direnci karakavak odunundan daha düşüktür. Şok direnci kırılma şekillerine göre karaçam odunu karakavak odununa göre daha gevreklerdir. Eğilme direnci testlerine ait yük-deformasyon grafikleri de bu sonucu doğrulamaktadır.
- Karaçam ve karakavak odunlarının bu çalışmada yapılamayan, çekme testleri, makaslama testleri, sertlik testleri ve çivi-vida tutma testleri gibi testlerinin yapılarak karşılaştırılması olarak çalışılması önerilir.

### Kaynaklar

- Akman, M., 2018. Isıl işlem uygulanmış ebe karaçamının bazı mekanik özellikleri ve yetiştirme muhiti için toprak özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Akyürek, Ş., 2019. Isıl işlemin karaçam (*Pinus nigra* J. F. var. *seneriana*) odunu hücre çeperi bileşenleri ve çözünürlükleri üzerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Aydemir, D., Zor, M., Özden, S., Gündüz, G., 2010. Isıl işlem görmüş titre kavağı (*Populus tremula*) ve ak kavağı (*Populus alba*) odunlarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü üzerine muamele süresinin etkisi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, s. 1810-1818.
- Bal, B.C., 2011. Okaliptüs grandis (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex maiden) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri ve lamine ağaç malzeme üretiminde kullanılması üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- 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. DOI 10.1007/s00107-013-0753-9.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2013. The mechanical properties of heartwood and sapwood of *E. Grandis* grown in Karabucak, Turkey. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 9(1): 71-77.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2018a. Kayın ve kavak odunlarında bazı fiziksel özelliklerle yoğunluk ilişkisinin belirlenmesi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1): 1-10. DOI: 10.33725/mamad.420917.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2018b. Odunun yoğunluğu ile bazı mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(2): 51-61. DOI: 10.33725/mamad.467353.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., Kaymakçı, A. 2012. Toros sedirinde genç odun ve olgun odunun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. *Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2): 17-27.
- Bektaş, İ., 1997. Kızılcım (*Pinus Brutia* ten.) odununun teknolojik özellikleri ve yörelere göre değişimi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bircan, Ş., 2008. Batı Karadeniz kıyı bölgesinde yetişen kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinin yetiştirme ortamı değişkenleriyle ilişkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1997. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., 1996. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Çavuş, V., 2020. Koku lu ardıç odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3(1): 1-9. DOI: 10.33725/mamad.717060.
- Çavuş, V., Sahin, S., Esteves, B., Ayata, U., 2019. Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey. *Bioresources*, 14(3): 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
- Çolak, A.M., 2005. Ahşap konstrüksiyonlarda zarar yapan böceklerin ahşabın mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri üzerinde araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Dağlıoğlu, N., 2010. Tanalith-e ile emprenye etmenin ağaç malzemelerin bazı teknolojik özelliklerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Diñel, K., Çelebi, N., Şanıvar, N., 1970. Ağaç Teknolojisi, Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Yayınları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Genel: No: 292, Seri C, 270 sayfa, No: 15.
- Doğan, B., 2018. Boraks ve borik asit ile emprenye edilmiş ve ısı işlem görmüş karaçam odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Doruk, Ş., Altınok, M., Perçin, O., 2010. Isıl işlemin ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3): 262-270.
- Döğdü, Y.C., 2006. Camiyanı karaçam'ın (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) bazı teknolojik özellikleri ve kurutma cetvelerinin oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Efe H., Kasal, A., 2007. Çeşitli masif ve kompozit ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 10(3): 303-311.
- Efe, H., Çağatay, K., 2011. Çeşitli masif ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(1): 55-61.
- Emiroğlu, F., 2018. Termo-mekanik yoğunlaştırılmış ahşap malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine su itici maddelerin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Erten, P., Sözen, R.M. 1997. Fıstık çamı (*Pinus pinea*), Camiyanı karaçamı (*Pinus nigra* Amold) ve çınar yapraklı akçağaç (*Acer platanoides*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, İç Anadolu Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, No: 266, Ankara.
- Garcia, R.A., Carvalho, A.M., Latorraca, J.V.F., Matos, J.L.M., Santos, W.A., Silva, R.F.M. 2012. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. *Wood Science and Technology*, 46: 41-52.
- Genç, A. 2013. Afyonkarahisar Ömer-Gecek jeotermal kaynaklarında emprenye maddelerinin ve bu kaynaklarla işlem görmüş ahşabın bazı özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Göker, Y., 1977. Deneme Ağaçlarının Alındığı Dursunbey ve Elekdağ ormanlarının tanıtımı ve karaçam hakkında genel bilgiler, T.C. Orman Bakanlığı Yayınları, Sıra No: 613, Seri No: 22.
- Gökmen, K., 2017. Tall yağı emprenyesi ile ısı işlemin ağaç malzemenin özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Gündüz, G., 1999. Camiyanı Karaçamının (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) bazı anatomik, teknolojik ve kimyasal özellikleri. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Gündüz, G., Aydemir, D. 2009. The influence of mass loss on the mechanical properties of heat-treated black pine wood. *Wood Research*, 54(4): 33-42.
- Hashemi, S.K.H., Latibari, A.J., Eslam, H.K., Alamuti, R.F., 2010. Effect of boric acid treatment on decay resistance and mechanical properties of poplar wood. *BioResources*, 5(2): 690-698.
- Kamperidou, V., Barboutis, I., 2017. Mechanical performance of thermally modified black pine (*Pinus nigra* L.) wood. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 20(1): #02. DOI:10.30825/5.ejpau.20.2017.20.1.
- Kantay, R., As, N., Ünsal, Ö., 2000. Ceviz (*Juglans regia* L.) odununun yoğunluğu ve bazı mekanik özellikleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24(6): 751-756.
- Karademir, E., 2012. Jeotermal akışkanlarla emprenye edilen ahşabın performansı: Uşak yöresi örneği. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Kardaş, İ., 2014. Kütahya-Simav yöresi jeotermal kaynaklarının emprenye maddeleri açısından incelenmesi ve bu kaynakların ahşabın bazı özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Karimi, A., Taghiyari, H.R., Fattahi, A., Karimi, S., Ebrahimi, G., Tarmian, A., 2013. Effects of wollastonite nanofibers on biological durability of poplar wood (*Populus nigra*) against *Trametes versicolor*. *BioResources*, 8(3): 4134-4141.
- Kılavuz, M., 2019. Vakum atmosferinde yapılan ısıtılma işlemi kavak odununun teknolojik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kollmann, F., Cote, W.A., 1968. Principles of Wood Science and Technology. Springer Verlag, New York.
- Küçükosmanoğlu, F., 2009. Türkiye'deki bazı karakavak (*Populus nigra* L.) klonlarının morfolojik çeşitliliği üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Kyu, P.Y., Kyo, C.D., 1987. A study on the physical and mechanical properties of hot-compressed wood. *Wood Science and Technology*, 15(4): 45-58.
- Li, L.M., Feng, L.C., Long, L.Y., 2019. Physical and mechanical properties of modified poplar wood by heat treatment and impregnation of sodium silicate solution. *Wood Research*, 64(1): 145-154.
- Lykidis, C., Mantanis, G., Adamopoulos, S., Kalafata, K., Arabatzis, I., 2013. Effects of nano-sized zinc oxide and zinc borate impregnation on brown rot resistance of black pine (*Pinus nigra* L.) wood. *Wood Material Science & Engineering*, 8(4): 242-244. DOI: 10.1080/17480272.2013.834969.
- Malkoçoğlu, A., 1994. Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odununun teknolojik özellikleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Narlıoğlu, N., 2012. Kimyasal kâğıt hamuru üretiminde sodyum borhidrür'ün verim ve kristalite üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Orhan, H., 2017. Kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine azot gazı varlığında yapılan ısıtılma işlemi etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Örs, Y., Atar, M., Keskin, H., Yavuzcan, G.H., 2006. Impacts of impregnation with imersol-aqua on the modulus of elasticity in bending. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(6): 3210-3217. DOI: 10.1002/app.22035.
- Örs, Y., Keskin, H., 2001. Ağaç Malzeme Bilgisi Ders Kitabı. Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Şahin, S., Karaman, S., Özüng, İ., 2006. Tokat-Niksar yöresinde yetiştirilen ve yöredeki tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan kavak ağacının önemli fiziksel ve mekanik özellikleri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1): 61-66.
- Şarıvar, N., Zorlu, İ., 1980. Ağaççileri Gereç Bilgisi Temel Ders Kitabı, Mesleki Ve Teknik Öğretim Kitapları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.
- Taghiyari, H.R., 2011. Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated *Populus nigra*. *Wood Science and Technology*, 45: 399-404. DOI: 10.1007/s00226-010-0343-5.
- Taghiyari, H.R., Enayati, A., Gholamiyan, H., 2013. Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods. *Wood Science and Technology*, 47: 467-480.
- TS 2471, 1976. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için rutubet miktarı tayini. TSE, Ankara.
- TS 2472, 1976. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. TSE, Ankara.
- TS 2474, 1976. Odunun statik eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS 2477, 1976. Odunun çarpmada eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS 2478, 1976. Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini. TSE, Ankara.
- TS 2595, 1977. Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- Tunçtaner, K., As, N., Özden, Ö., 2004. Bazı Kavak Klonlarının Büyüme Performansları, Odunlarının Bazı Teknolojik Özellikleri ve Kâğıt Üretimine Uygunlukları Üzerine Araştırmalar. Çevre ve Orman Bakanlığı, Teknik Bülten Serisi, No: 196, Ankara.
- Var, A.A., Kardaş, İ., 2017. Simav yöresi jeotermal sularıyla muamele edilen çam odunlarının eğilme direnci, liflere paralel basınç direnci ve statik kalite değeri, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1): 93-101. DOI: 10.24011/barofd.295682.
- Wang, W., Cao, J., Cui, F., Wang, X., 2012. Effect of pH on chemical components and mechanical properties of thermally modified wood. *Wood and Fiber Science*, 44(1): 1-8.
- Yaldız, M.Y., 2017. Derişimi yükselttilen jeotermal sularla emprenyeli ağaç malzeme bazı özelliklerin incelenmesi: Aydın-Germencik yöresi örneği. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yan, Y., Dong, Y., Li, J., Zhang, S., Xia, C., Shi, S.Q., Cai, L., 2015. Enhancement of mechanical and thermal properties of poplar through the treatment of glyoxal-urea/nano-SiO<sub>2</sub>. *Royal Society of Chemistry Advances*, 5(67): 54148-54155. DOI: 10.1039/C5RA07294H.
- Yorulmaz, R., 2019. Isıl işlemler ve termo-mekanik yoğunlaştırılmış doğu ladini (*Picea orientalis*) ve karakavak (*Populus nigra*) odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Zhang, Y., Feng, D., Dou, Y., 2017. Wood physical and mechanical properties of *Populus x canadensis* Moench and *Populus x euramericana* (Dode) Guinier cv. Gelrica. *Agricultural Science & Technology*, 18(12): 2532-2535.