

# Isıl İşlem Görmüş Kara Kavak (*Populus nigra* L.) Odunlarının Bazı Özelliklerinin Yoğunlaştırma ile Geliştirilmesi

Abdullah Canıyılmaz<sup>1\*</sup>, Samim Yaşar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

## Makale Tarihiçesi

Gönderim: 03.10.2022

Kabul: 06.12.2022

Yayın: 15.12.2022

## Araştırma Makalesi



**Öz** – Bu çalışmada, kara kavak (*Populus nigra* L.) odunu 120, 160 ve 200 °C’lerde ısıtılma tabii tutulmuş, devamında %25 ve %50 oranında presleme uygulamasıyla örneklerle yoğunlaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem görmüş örneklerin FTIR spektrumları, örneklerin kristallik indeksinde ısıtılma işleminden kaynaklanan kayda değer bir farklılaşmanın oluşmadığını ortaya koymuştur. Isıl işlem görmüş örneklerin TGA ve DTG termogramlarındaki esas bozunma aşamasında, kontrol örneklerine göre daha düşük oranlarda madde kaybı olduğu anlaşılmıştır. TGA ve DTG bulguları, ısıtılma işlemde uygulanan sıcaklık derecesinin artışıyla örneklerde önemli düzeyde holoselüloz kaybı olduğunu göstermiştir. Isıl işlem görmüş ve yoğunlaştırılmış örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirildiğinde, yoğunlaştırılmış kara kavak örneklerinin suyla temasa geçebileceği ortamlarda kullanılmasında, yoğunlaştırmadan önce ısıtılma uygulamasının önerilebileceği ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, kara kavak odununun taşıyıcı uygulamalar ile dış mekan (dış cephe kaplaması, park ve bahçe mobilyaları, vb.) veya iç mekanda (lambri, parke, sauna, mobilya elemanları, vb.), yine kısmen yanmaya dayanıklı yapılarda kullanılabilme olasılığını arttırmak için ısıtılma işlem ve yoğunlaştırma modifikasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasının önerilebileceği kanısına varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Kara kavak, ısıtılma işlem, yoğunlaştırma, özellikler

# Improving of some Properties of Heat-treated Black Poplar (*Populus nigra* L.) Woods using Densification

<sup>1</sup> Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Products Engineering, Isparta, Turkey

## Article History

Received: 03.10.2022

Accepted: 06.12.2022

Published: 15.12.2022

## Research Article

**Abstract** – In this study, black poplar (*Populus nigra* L.) wood was subjected to heat treatment at 120, 160 and 200 °C, and then the samples were densified by pressing at a rate of 25% and 50%. FTIR spectra of the heat-treated samples revealed that there was no significant variation in the crystallinity index of the samples due to heat treatment. In the main decomposition stage of the TGA and DTG thermograms of the heat-treated samples, it was understood that the heat-treated samples lost less material than the control samples. TGA and DTG findings showed that with the increase of the temperature applied in the heat treatment, significant holocellulose loss occurred in the samples. When the physical and mechanical properties of the heat-treated and densified samples were evaluated, it was revealed that applying heat treatment before densification can be recommended if densified black poplar samples are used in environments where they can come into contact with water. For increase the possibility of using black poplar wood in load-bearing applications, outdoors (siding, park and garden furniture, etc.) or indoors (panel, parquet, sauna, furniture elements, etc.), also in partially fire-resistant structures, it can be recommended to use heat treatment and densification together.

**Keywords** – Black poplar, heat treatment, densification, properties

<sup>1</sup>  [abdullahcaniyilmaz@gmail.com](mailto:abdullahcaniyilmaz@gmail.com)

<sup>2</sup>  [samimyasar@isparta.edu.tr](mailto:samimyasar@isparta.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

Dünyadaki artan nüfus, teknolojik gelişmeler ve paralelindeki sanayileşme ile tüketim giderek artış göstermiştir. Ancak yeryüzündeki mevcut kaynakların sınırlı olması, söz konusu kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını zorunluluk haline getirmiştir. Özellikle son yıllarda çevresel açıdan yaşanan küresel boyuttaki olumsuz gelişmeler erişilmesi kolay ve sağlık açısından değerli olan orman ürünlerinin önemini daha da artırmıştır. İnsanlığın varoluşuyla beraber ahşap malzeme insan hayatında önemli yer kaplayan ısınma, barınma ve avlanma gibi amaçlar için kullanılmaktayken günümüzde kullanım alanları giderek çoğalmıştır (Bozkurt ve Erdin, 1997). Ancak, ahşap malzemenin kullanım alanlarını sınırlayan ya da kullanım esnasında problemlerle karşılaşmamıza neden olabilecek olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Odunun çeşitli biyolojik zararlılarca tahrip edilebilmesi, tam kuru hal ile lif doygunluk noktası (LDN) arasında rutubet farklılaşması nedeniyle boyutlarını değiştirebilmesi ve biyolojik bozunmalara uğrayabilmesi gibi durumlar son kullanım alanında sorun oluşturan olumsuz özellikler olarak ortaya çıkabilmektedir (Mayes ve Oksanen, 2002; Karakaş, 2008).

Ahşap malzemenin olumsuz taraflarının en aza indirilmesine yönelik, odun modifikasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında yer alan ve en önemlilerinden birisi olan ısıl işlem, termal bir modifikasyon yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu uygulama, hücre çeperinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişikliklere neden olmaktadır. Uygulamadaki temel amaç, kimyasal tepkimelerin hızlandığı 100 ile 250°C arasındaki sıcaklıklarda ağaç malzemenin muamele edilmesidir. Diğer pek çok modifikasyon yöntemine kıyasla uygulanması kolay olan ısıl işlem sürecinde kimyasal maddelerin kullanılmaması, doğada ve insan sağlığında oluşabilecek tahribatların engellenmesine de katkı sağlamaktadır (Yıldız, 2002; ITWA, 2003; Esteves ve Pereira, 2009; Korkut ve Kocaefe, 2009; Akkılıç vd., 2014; Tosun, 2021).

Oduna ısıl işlem uygulanması temelde iki amaca hizmet etmektedir. Bunlardan ilki böcek ve mantar gibi tahrip edici unsurlar karşısında ahşap malzemenin biyolojik dayanıklılığını geliştirmek, ikincisi ise denge rutubet miktarının (DRM) azaltılması vasıtasıyla çalışmasını en az düzeye taşıyarak odunu boyutsal stabiliteye ulaştırmaktır (Karakaş, 2008; Aydemir ve Gündüz, 2009; Güller, 2012). Ayrıca, ısıl işlem ahşap malzemenin dış mekanlarda kullanılmasına, dekoratif özelliklerinin geliştirilmesine ve kullanım süresinin uzamasına katkı sağlamaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2009).

Endüstriyel ölçekli ısıl işlem uygulaması “ThermoWood”, 90'lı yılların başında Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından geliştirilmiş ve o zamandan bu yana en çok ilgi gören proses olarak pazarda yerini almıştır (Aydemir ve Gündüz, 2009; Korkut, 2009; Güller, 2012; Icel vd., 2015; Icel ve Beram, 2017).

Ahşap taşıyıcı sistemlerde ve aşınma direncinin önemli bulunduğu çalışmalarda yoğunluğu yüksek ağaç malzeme kullanımı tercih edilmektedir. Orman ürünleri endüstrisinde öncelikli olarak arzu edilmeyen yoğunluğu düşük ahşap malzeme yoğunlaştırma işlemleriyle modifiye edilerek, performansı yükseltilmiş değerli ürünlere dönüştürülebilmektedir. Bununla birlikte, yoğunluğu yüksek türler de yoğunlaştırma işlemine tabi tutularak elde edilen ürünlerin bazı direnç özelliklerinde gelişmeler sağlanabilmektedir (Blomberg ve Person, 2004; Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit, 2014).

Basınç altında sıkıştırma ile gerçekleştirilen yoğunlaştırma işleminde hücre çeperinde çökertme meydana getirilerek boşluk hacminin azaltılması suretiyle ağaç malzemenin yoğunlaştırılması sağlanmaktadır (Pelit ve Sönmez, 2015). Fakat yoğunlaştırma işlemi sonrasında karşılaşılan en önemli problemlerden birisi elde edilen malzemede gerçekleşen geri esnemedir. Bu dezavantaj ise sıcaklık ve buhar etkisiyle önlenabilmektedir. Yoğunlaştırılmış ürünlerde elde edilen değerler genellikle ağacın rutubetine, yoğunluğuna, sıkıştırma yönüne ve hücre çeperi hacmine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Kutnar ve Šernek, 2007; Rautkari vd., 2010; Pelit, 2014).

Kara kavak (*Populus nigra* L.) Kuzey Afrika, Orta ve Batı Asya ile Avrupa'da özellikle nehir kenarlarındaki sulak alanlarda yayılış göstermektedir (Rathmacher vd., 2010). Türkiye'de 68 000 hektarlık kara kavak plantasyonundan yıllık 1.9 milyon m<sup>3</sup> odun elde edilebilmektedir (Kahraman vd., 2011). Kara kavak odunu mobilya üretiminde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, ambalaj sektöründe (kutu, sandık, palet, vs.), model, kontrplak, kibrit, kompozit panel ve protez yapımında hammadde olarak kendisine yer bulabilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2000; Gaudet vd., 2008).

Çalışmada, kara kavak (*Populus nigra* L.) odunu örneklerine öncelikle farklı sıcaklıklarda (120, 160 ve 200°C) ısıl işlem uygulanmış, devamında örnekler %25 ve %50 oranlarında termal preslenerek yoğunlaştırılmıştır. Örneklerdeki, ısıl işlemde kaynaklanan kimyasal ve termal özelliklerdeki değişimler işlem görmemiş kontrol örnekleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Isıl işlem ve yoğunlaştırma işlemlerinin peş peşe uygulanmasının, örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Kara kavak türüne ait materyal Isparta Gökaslan Kereste Firmasından sağlanmıştır. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan kontrol ve işlem grubu deney örnekleri ilgili standartlar doğrultusunda hazırlanmıştır (TS 2470, 1976; TS 53, 1981).

### 2.2. Yöntem

Örneklerin yerleştirildiği laboratuvar tipi etüv, hedeflenen ısıl işlem sıcaklıklarına (120, 160 ve 200°C) ulaştırıldıktan sonra sıcaklık 2 saat süreyle sabit bırakılmıştır. Örnekler, 120°C'de 5, 160°C'de 7 ve 200°C'de 9 saat ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem uygulamasından sonra, deney örnekleri %65±5 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklık ortamına getirilmiş iklimlendirme kabini içinde değişmez kütleye ulaşmaya kadar kondisyonlamaya tabi tutulmuştur.

Yoğunlaştırma işlemi, tabla alanı 60×60 cm<sup>2</sup> olan basınç ve sıcaklık kontrol paneline sahip bir hidrolik test presinde gerçekleştirilmiştir. Yoğunlaştırma işlemi, 120±5°C pres sıcaklığı, 5 MPa pres basıncı altında iki farklı varyasyon oluşturularak %25 ve %50 sıkıştırma oranında 30 dakika süreyle yapılmıştır. Yoğunlaştırılan numuneler sürenin tamamlanmasıyla prestren alınarak, yine ısıl işlem sonrası uygulanan koşullardaki gibi kondisyonlamaya tabi tutulmuştur.

#### 2.2.1. Fiziksel Deneyler

Yoğunluk tayini, boyutsal değişim ve su alma deneyleri 20x20x30 mm<sup>3</sup> hacmindeki örneklerle gerçekleştirilmiştir. Örneklerin yoğunluk tayini TS 2472, boyutsal değişim tayini TS 4084 ve su alma tayini TS EN 317 standartlarına uygun olarak yapılmıştır (TS 2472, 1976; TS 4084, 1983; TS EN 317, 1999).

#### 2.2.2. Mekanik Deneyler

Eğilme direnci tayini TS 2474 ve elastikiyet modülü tayini TS 2478'e göre yapılmıştır (TS 2474, 1976; TS 2478, 1976). Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini 20x20x300 mm<sup>3</sup> hacmindeki örneklerle gerçekleştirilmiştir. Liflere paralel basınç direnci tayini 20x20x30 mm<sup>3</sup> hacmindeki örnekler kullanılarak TS 2595 (1977) standardı kurallarına uyularak yerine getirilmiştir.

#### 2.2.3. Kimyasal Analizler

Çalışma örnekleri öncelikle yongalanmış ve devamında hava kurusu hale getirilmiştir. Örnekler, Retsch SK1 değirmeninde 40-100 mesh aralığında öğütüldükten sonra moulinex değirmeni vasıtasıyla homojen odun unu haline dönüştürülmüş ve kimyasal analizlere hazır hale getirilmiştir.

FTIR analizlerinde 10 mg odun unu örneği kullanılmıştır. Peletler, 10 mg örneğin 1000 mg KBr ile preslenmesiyle oluşturulmuştur. Peletlerin FTIR spektrumları, Perkin Elmer BX FTIR spektrometre cihazı kullanılarak 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısı aralığında elde edilmiştir.

TGA analizleri 5 mg odun unu örneği ile gerçekleştirilmiştir. Örnekler, azot ortamındaki Perkin Elmer SII Diamond termal analiz cihazında dakikada 10°C sıcaklık artışında 25-900°C aralığında analiz edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada elde edilen kara kavağa ait kontrol ve ısıl işlem uygulanmış numunelerin fiziksel özelliklerinin ortalama değerleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1.

Isıl işlemsiz ve ısıl işlem uygulanmış kara kavak numunelerinin fiziksel özellikleri

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Yoğunluk	Boyutsal değişim	Boyutsal değişim	Boyutsal değişim	Su alma (2 saat)	Su alma (24 saat)
		( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	(hava kurusu) ( $\text{cm}^3$ )	(2 saat) ( $\text{cm}^3$ )	(24 saat) ( $\text{cm}^3$ )	(%)	(%)
		Kara kavak	Kara kavak	Kara kavak	Kara kavak	Kara kavak	Kara kavak
		$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
Knt1	Knt2	0.38 (0.02) <sup>1</sup> b <sup>2</sup>	12.40 (0.14) j	13.21 (0.15) g	13.95 (0.15) h	36.07 (4.95) b	76.19 (7.02) c
	25	0.46 (0.02) d	9.52 (0.24) f	11.85 (0.51) c	13.45 (0.12) f	49.69 (17.69) c	107.15 (13.10) g
	50	0.72 (0.05) h	6.33 (0.20) a	9.32 (1.36) a	12.34 (0.28) b	54.28 (25.02) c	128.18 (8.87) i
120°C	Knt2	0.37 (0.02) b	12.27 (0.26) i	13.04 (0.34) g	13.66 (0.36) g	32.60 (6.52) b	67.19 (6.55) b
	25	0.46 (0.01) e	9.84 (0.38) g	12.36 (0.53) d	13.23 (0.25) e	54.44 (9.18) c	89.38 (7.17) d
	50	0.59 (0.01) f	8.41 (0.22) d	12.74 (0.12) f	13.05 (0.07) d	101.36 (5.23) f	117.01 (3.08) h
160°C	Knt2	0.36 (0.03) b	11.89 (0.30) h	12.66 (0.42) e, f	13.22 (0.48) e	32.11 (9.21) b	64.13 (12.03) b
	25	0.44 (0.02) e	9.19 (0.07) e	12.42 (0.08) d, e	12.95 (0.17) d	74.65 (6.75) e	95.87 (5.02) e
	50	0.59 (0.04) g	7.55 (0.15) b	12.30 (0.52) d	12.53 (0.41) c	103.30 (15.68) f	118.06 (12.28) h
200°C	Knt2	0.35 (0.02) a	11.88 (0.13) h	12.29 (0.23) d	12.64 (0.20) c	22.84 (7.96) a	53.06 (12.19) a
	25	0.41 (0.03) c	9.80 (0.13) g	11.40 (0.20) b	11.64 (0.20) a	64.54 (9.65) d	101.29 (14.66) f
	50	0.50 (0.01) g	7.72 (0.42) c	11.24 (0.51) b	11.54 (0.59) a	-	-

1: Standart sapma, 2: Duncan testinde oluşan homojen gruplar ( $p < 0.05$ ), Knt1: Kontrol 1 (Isıl işlemsiz örnek grubu), Knt2: Kontrol 2 (Yoğunlaştırma işlemindeki her bir ısıl işlem derecesine ait kontrol grubu),  $\bar{x}$ : Ortalama

Çalışmada elde edilen veriler ısıtma işlemi ile yoğunlaştırma örneklerinin yoğunluk değerleri üzerinde kayda değer farklılıklar ortaya koymuştur. Özellikle uygulanan ısıtma işlemi sıcaklığındaki artışa bağlı olarak kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığında örneklerinin yoğunluk değerleri azalış göstermiştir. Kara kavağın ısıtma işlemi uygulanmayan numunelerinin ortalama yoğunluk değerleri 0.38-0.72 g/cm<sup>3</sup> aralığında tespit edilmiştir. Isıtma işlemi uygulamaları, kara kavak örneklerinin yoğunluk değerlerinde belli oranlarda düşümlere neden olmuştur. Bu bağlamda daha önce yapılan çalışmalarla yakın sonuçlar elde edilmiştir (Karakaş, 2008; Ateş vd., 2009; Sefil, 2010). Isıtma işleminden sonra yoğunlaştırma işlemi uygulanmış numunelerde, sıkıştırma oranlarındaki artışla yoğunluk değerlerinde de artışın gerçekleştiği gözlenmiştir.

Boyutsal değişim açısından bakıldığında, kontrol gruplarıyla mukayese edildiğinde uygulanan ısıtma işlemi sıcaklığının artışına bağlı olarak yoğunlaştırılmamış örneklerde hacimsel daralmanın olduğu görülmüştür. Devamında uygulanan yoğunlaştırma işlemi neticesinde örneklerinin boyutsal değişim değerleri sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak düşüş sergilemiştir.

Isıtma işleminin örneklerdeki su alma oranlarında düşüme neden olduğu gözlenmiştir. Kara kavak örneklerinde su alma oranı %22.84 ile %128.18 aralığında tespit edilmiştir. En düşük oran 2 saat suda bekletilmiş 200°C’de ısıtma işlemi görmüş kara kavak kontrol örneklerinde saptanmışken, en yüksek oran ise 24 saatlik süre sonunda sudan çıkarılmış ısıtma işlemi uygulanmamış ve %50 oranında preslenmiş örneklerde belirlenmiştir. Bu durum daha önceki yapılan çalışmalarda, ısıtma işlemi uygulaması sonucunda hidroksil gruplarında meydana gelen azalma ile ifade edilmiştir (ITWA, 2003; Tjeerdsma ve Militz, 2005; Aydemir vd., 2011; Yaşar vd., 2020). Keza, odunun ana kimyasal bileşenlerinden olan ve polisakkaritleri (holoselüloz) oluşturan selüloz ile hemiselülozların içerdikleri yüksek miktarda -OH grupları söz konusu bileşenlerin hidrofilik özellik göstermelerini sağlamaktadır (Fengel ve Wegener, 1984). Isıtma işleminin örneklerdeki holoselüloz oranında düşüme sebep olması serbest -OH gruplarının miktarını azaltmaktadır (Ateş vd. 2009; 2010).

Çalışmada elde edilen kara kavağa ait kontrol ve ısıtma işlemi uygulanmış numunelerin mekanik özelliklerinin ortalama değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2.

Isıl işlemsiz ve ısıl işlem uygulanmış kara kavak numunelerinin mekanik özellikleri

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı (%)	Eğilme direnci MOR	Elastikiyet modülü	Liflere paralel basınç
		(N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	direnci Basma
		Kara kavak	Kara kavak	Kara kavak
		$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
Knt1	Knt2	72.12 (4.32) <sup>1</sup> d <sup>2</sup> , e	5790.74 (613.36) a, b	37.88 (1.46) a
	25	110.36 (4.52) g	10337.94 (1056.43) f	54.15 (7.62) e
	50	126.21 (22.11) h	13072.26 (1435.60) g	69.96 (3.86) f
120°C	Knt2	77.21 (10.97) e	6391.08 (948.15) b	48.03 (3.97) b, c
	25	99.05 (10.75) f	9196.80 (1104.38) d, e	52.44 (1.26) d, e
	50	100.32 (25.31) f	13092.02 (1670.63) g	48.02 (6.96) b, c
160°C	Knt2	67.56 (4.53) d	5635.06 (444.76) a, b	45.96 (5.76) b
	25	94.76 (11.13) f	8820.70 (1374.06) d	48.34 (7.51) b, c
	50	101.06 (19.83) f	9929.15 (2222.58) e, f	51.74 (6.04) d, e
200°C	Knt2	57.56 (6.83) c	5559.23 (679.85) a	50.53 (5.39) c, d
	25	25.59 (7.79) a	7843.73 (1305.84) c	39.89 (5.75) a
	50	38.90 (5.10) b	8560.25 (2698.25) c, d	-

1: Standart sapma, 2: Duncan testinde oluşan homojen gruplar ( $p < 0.05$ ), Knt1: Kontrol 1 (Isıl işlemsiz örnek grubu), Knt2: Kontrol 2 (Yoğunlaştırma işlemindeki her bir ısıl işlem derecesine ait kontrol grubu),  $\bar{x}$ : Ortalama

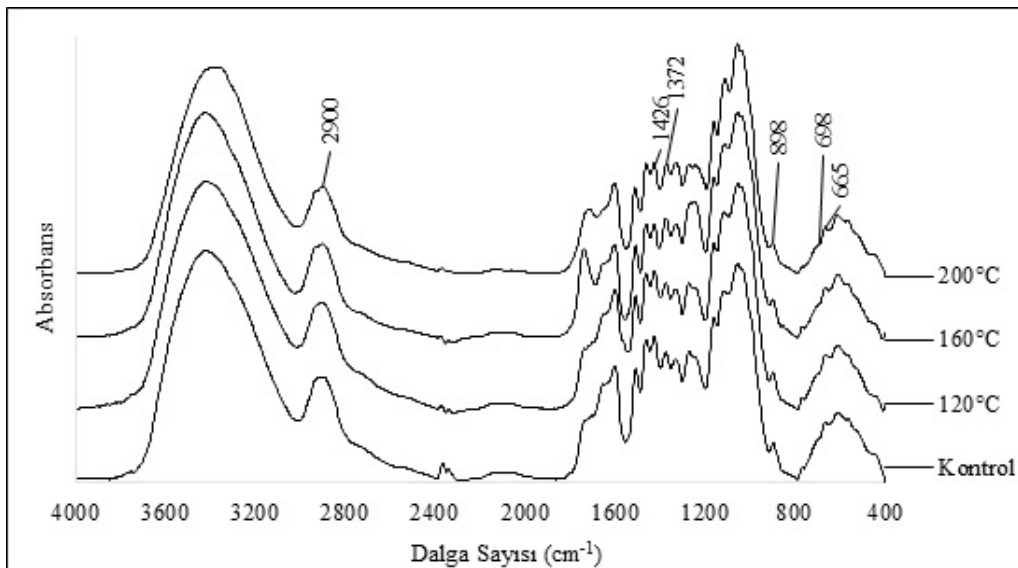
Isıl işlem uygulamasının örneklerdeki özellikle ana kimyasal bileşiklerin molekül yapılarında yaratmış olduğu değişimler nedeniyle (Bürüş vd, 2019; Yaşar vd., 2020), ahşap malzemenin bazı fiziksel özelliklerinde gelişmelere, bazı mekanik özelliklerinde ise düşüslere neden olduğuna literatürde rastlanmaktadır (Yıldız, 2002; Bekhta ve Niemz, 2003; Esteves vd., 2007; Boonstra, 2008; Korkut vd., 2008; Perçin; 2012). Eğilme direnci değerleri ısıl işlem görmüş deney örneklerinde kontrol örneklerine göre düşüş göstermiştir. Kara kavak örneklerinde eğilme direnci değerleri 38.90 N/mm<sup>2</sup> ile 126.21 N/mm<sup>2</sup> aralığında tespit edilmiştir. En düşük değerler 200°C’de ısıl işleme uğratılmış kara kavak numunelerinde belirlenmişken, en yüksek değerler ise ısıl işleme tabi tutulmamış %50 oranında preslenmiş numunelerde saptanmıştır. Yoğunlaştırma işlemi neticesinde ahşap malzemenin boşluk hacmindeki azalmadan kaynaklı yoğunluğunun artması ile mekanik özellikleri iyileşmektedir (Tabarsa ve Chui, 1997; Ülker vd., 2012; Pelit, 2014; Pelit vd., 2018). Kara kavak örneklerinin

presleme işleminden sonra eğilme direnci değerleri sıkıştırma oranları doğrultusunda kontrol örneklerine göre artış göstermiştir. Ancak, ısı işlem sıcaklığının 200°C’de uygulanması ile elde edilen örneklerde yoğunlaştırma işlemine rağmen eğilme direnci değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Ağaç malzemenin 200°C ve daha yüksek sıcaklıklarda ısı işlem görmesi sonucunda odun bileşenlerinin tamamen dönüşümü ve kimyasal bileşenlerin ısı bozunmasından kaynaklı yapısal hasarlar oluştuğu söylenebilir (Yıldız vd., 2006; Esteves ve Pereira 2009; Korkut ve Kocaefe 2009; Aydemir vd., 2011).

Elastikiyet modülü değerleri ısı işlem görmüş kara kavak deney örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla genel olarak azalmıştır. Kara kavak örneklerinde elastikiyet modülü değerleri 5559.23 N/mm<sup>2</sup> ile 13092.02 N/mm<sup>2</sup> aralığında saptanmıştır. Kontrol numunelerine göre %34.52 oranında azalma ile en düşük değer 200°C’de ısı işleme tabi tutulmuş ve preslenmiş kara kavak örneklerinde belirlenmişken, en yüksek değer ise ısı işleme tabi tutulmamış %50 oranında preslenmiş örneklerde elde edilmiştir. Bu durum, kontrol ve ısı işlem uygulanan (120, 160 ve 200°C) tüm örneklerde yoğunlaştırma oranları doğrultusunda elastikiyet modülü değerlerinin yükseldiğini ortaya koymaktadır.

Isı işlem sıcaklığındaki artışın örneklerin liflere paralel basınç direnci değerlerine genel olarak pozitif yönde etki ettiği görülmüştür. Bu durumun ısı işlem sonrası örneklerdeki denge rutubet miktarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1995; Blomberg, 2006; Örs ve Keskin, 2008; Sefil, 2010; Kol, 2010). Isı işlem uygulanmış kara kavak örneklerinde yoğunlaştırma işlemi olumlu yönde sınırlı neticeler verse de en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri 69.96 N/mm<sup>2</sup> ile ısı işlem görmemiş %50 oranında sıkıştırılmış kara kavak örneklerinde tespit edilmiştir. Yoğunluk artışının ahşap malzemedeki sertlik ve bazı mekanik direnç değerlerini yükselttiği literatürde yer almaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1995; Blomberg, 2006; Örs ve Keskin, 2008; Sefil, 2010; Kol, 2010).

Kontrol ve ısı işlem görmüş kara kavak örneklerinden elde edilen FTIR spektrumlarına (Şekil 1) ait veriler kullanılarak kristallik indeksi değerleri hesaplanmıştır. 1426 ve 898 cm<sup>-1</sup>’deki bandlar CH<sub>2</sub> bükülmesi ve anomerik CH<sub>2</sub> deformasyonunu gösteren bandlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Kataoka ve Kondo, 1998). A<sub>1426</sub>/A<sub>898</sub> ve A<sub>1372</sub>/A<sub>2900</sub> oranlanması ile elde edilen değerler selülozun kristallik indeksini temsil etmektedir (Hassan vd., 2000). A<sub>1372</sub>/A<sub>665</sub> ve A<sub>1372</sub>/A<sub>698</sub> oranları selüloz 1’in selüloz 2’ye dönüşümünü ifade eden değerler olarak belirtilmişlerdir (Hassan vd., 2000; Akerholm vd., 2004). 1372 cm<sup>-1</sup>’deki banda ait absorban değerleri 1370, 1335 ve 1315 cm<sup>-1</sup>’deki CH bükülmesinin birleşimine, 665 cm<sup>-1</sup>’deki band ise düzlem dışı C-OH bükülmesine karşılık gelmektedir (Evans vd., 1995).



Şekil 1. Kara kavak örneklerinin FTIR spektrumları

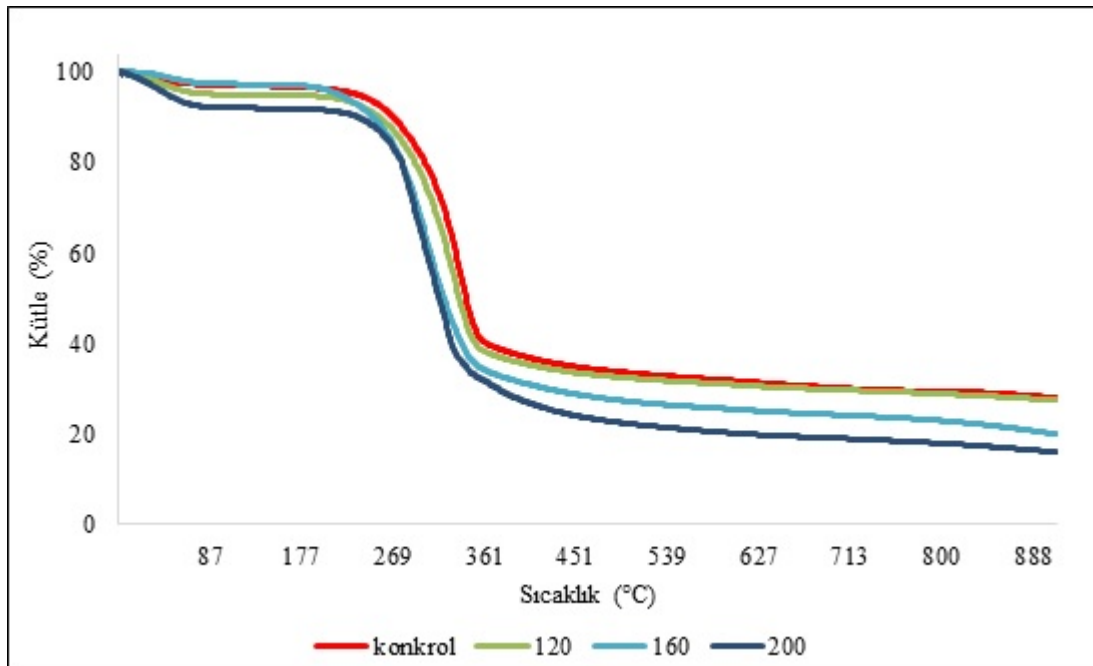
Kristallik indeksi değerlerine Ateş vd. (2009 ve 2010)'nin çalışmalarındaki yöntemden faydalanılarak ulaşılmıştır (Tablo 3). Çizelge değerleri ısıtma işlem uygulamalarının kara kavak numunelerinin kristallik indeksinde önemli düzeyde bir etkiye sahip olmadığını ortaya koymuştur (Yıldız ve Gümüşkaya, 2007; Ateş vd., 2009; 2010; Yaşar vd., 2020).

Tablo 3.

Kara kavak örneklerinin kristallik indeksi

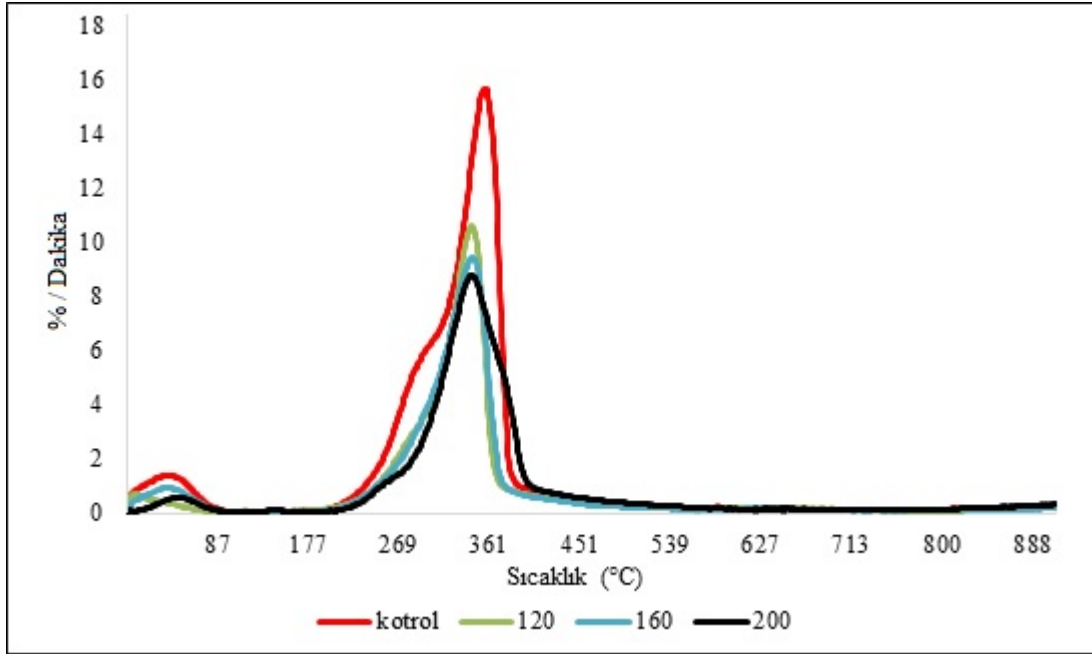
Kristallik indeksi	Kontrol	120°C	160°C	200°C
A <sub>1426</sub> /A <sub>898</sub>	3.92	3.53	2.79	3.65
A <sub>1372</sub> /A <sub>2900</sub>	1.23	1.17	1.26	1.26
A <sub>1372</sub> /A <sub>665</sub>	2.21	2.22	2.27	2.38
A <sub>1372</sub> /A <sub>698</sub>	3.25	3.29	3.35	4.00

Kontrol ve ısıtma işlem görmüş kara kavak örneklerinin TGA ve DTG termogramları sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 2. Kara kavak örneklerinin TGA termogramları





Şekil 3. Kara kavak örneklerinin DTG termogramları

Elde edilen termogramlarda, kara kavak örneklerinde 100°C'ye kadar suyun yanı sıra ekstraktif maddelerin bir bölümünün (Turner ve Mann, 1981) uzaklaştığı gözlenmiştir. 100°C'den itibaren başlayan ve 627°C'ye kadar devam eden esas bozunma safhasında hemiselülozlar, ekstraktiflerin kalan kısmı, lignin ve selülozun yapısal bozunmasının olduğu görülmüştür (Turner ve Mann, 1981; Meszaros vd., 2007). Maksimum bozunma değeri ise 351°C'de elde edilmiştir.

TGA ve DTG termogramlarında işleme uğratılmamış kara kavak numunelerine göre, ısıl işleme tabi tutulmuş numunelerde uygulanan sıcaklık derecesinin yükselmesine bağlı olarak esas bozunma safhasında kara kavak için 100°C'den itibaren kütle kaybının giderek düştüğü gözlenmiştir. Söz konusu termogramlardan, ısıl işlemin örneklerdeki holoselüloz miktarını azalmaya taşıdığı anlaşılmaktadır. Bu durum, ısıl işleme uğratılmış numunelerin daha yüksek termal dayanıklılık sergilediğini onaylamaktadır. TGA ve DTG bulgularının literatür tarafından desteklendiği görülmüştür (Kamdem, 2002; Hill, 2006; Martinka vd., 2014; Beram ve Yaşar, 2018; Zhang vd., 2019; Aydemir vd., 2019; Yaşar vd., 2020).

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Kara kavak (*Populus nigra* L.) odunu örnekleri farklı sıcaklıklarda (120, 160 ve 200 °C) ısıl işleme maruz bırakılmıştır. Isıl işlem sonrasında örneklere %25 ve %50 oranında sıkıştırma vasıtasıyla yoğunlaştırma işlemi uygulanmıştır. FTIR spektrumları, ısıl işlem nedeniyle örneklerin kristallik indeksinde önemli bir değişimin gerçekleşmediğini sergilemiştir. TGA ve DTG analizlerinden elde edilen termogramlar, uygulanan ısıl işlem sıcaklığının artışına bağlı olarak işleme tabi tutulmamış kara kavak örneklerine kıyasla örneklerde kütle kaybının giderek düşüş gösterdiğini ortaya koymuştur. Böylelikle, ısıl işlemin örneklerdeki holoselüloz oranında düşüşe neden olduğu anlaşılmıştır. Isıl işleme tabi tutulmuş örneklerin daha yüksek termal dayanıklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Uygulanan işlem sıcaklığının artışına bağlı olarak örneklerdeki boyutsal değişim ve su alma değerlerinin sürekli azaldığı görülmüştür. Yine, işlem sıcaklığının artışıyla örneklerin mekanik özelliklerinin zayıfladığı anlaşılmıştır. Yoğunlaştırma işleminde uygulanan oranın artışının ise söz konusu özellikleri geliştirdiği görülmüştür. Yoğunlaştırmadan önce ısıl işlem uygulanarak su alma oranında azalma ve boyutsal stabilite direncinde önemli gelişmelerin sağlanmasıyla, sadece yoğunlaştırma uygulamalarında sıkça görülen başlangıç boyutlarına geri dönüşün azaltılabileceği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, yoğunlaştırılmış örneklerin suyla temasa geçebileceği ortamlarda kullanılması amaçlandığında, yoğunlaştırma

işlemi öncesinde ısıtma işlemi uygulanmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Kara kavak odununun taşıyıcı uygulamalar ile dış mekan (dış cephe kaplaması, park ve bahçe mobilyaları, vb.) veya iç mekan (lambri, parke, sauna, mobilya elemanları, vb.) elemanlarında, yanı sıra kısmen yanmaya dayanıklı yapılarda kullanılabilme olasılığını yükseltebilmek amacıyla ısıtma işlemi ve yoğunlaştırma uygulamalarının birlikte kullanılmasının önemli olduğu kanaatine varılmıştır.

### Bilgilendirme

Bu makale, Abdullah Canıyılmaz'ın "Yoğunlaştırmanın ısıtma işlemi görmüş kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve kara kavak (*Populus nigra* L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi" başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.

### Yazar Katkıları

Yazar Abdullah Canıyılmaz: Laboratuvar çalışmalarını gerçekleştirmiş, verileri toplamış ve makaleyi yazmıştır.

Yazar Samim Yaşar: Çalışmayı planlamış ve veri analizlerini yapmıştır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

### Kaynaklar

- Akerholm, M., Hinterstoisser, B. Salmen, L. (2004). Characterization of the crystalline structure of cellulose using static and dynamic FTIR spectroscopy. *Carbohydrate research*, 339(3), 569-578.
- Akkılıç, H., Kaymakçı, A., Ünsal, Ö. (2014). *Isıtma işlemi uygulanmış ahşap malzemenin dış cephe kaplaması olarak değerlendirilme potansiyeli*, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 3- 4 Nisan, İstanbul, 1-9.
- Ates, S., Akyıldız, M. H., Özdemir, H. (2009). Effects of heat treatment on calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) wood. *BioResources*, 4(3), 1032-1043.
- Ateş, S., Akyıldız, M. H., Özdemir, H., Gümüşkaya, E. (2010). Technological and chemical properties of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood after heat treatment. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(1), 4949-4958.
- Aydemir, D., Gündüz, G. (2009). Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleri üzerine ısıtma muamelenin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(15), 71-81.
- Aydemir, D., Gündüz, G., Altuntaş, E., Ertaş, M., Şahin, H. T., Alma, M. H. (2011). Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood. *Bio-Resources*, 6(2), 1308-1321.
- Aydemir, D., Bürüç, G., Bakır, K. (2019). Doğu kayını ve saplı meşe odunlarının bazı özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(3), 713-721.
- Bekhta, P., Niemz, P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforchung*, 57(5), 539-546.
- Beram, A., Yaşar, S. (2018). NaOH ile modifiye edilmiş kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) yongalarının levha üretimindeki performansı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 187-196.
- Blomberg, J., Persson, B. (2004). Plastic deformation in small clear pieces of Scots pine (*Pinus sylvestris*) during densification with the CaLignum process. *Journal of Wood Science*, 50(4), 307-314.
- Blomberg, J. (2006). *Mechanical and physical properties of semi-isostatically densified wood*. (Ph.D. Thesis, Lulea University of Technology)
- Boonstra, M. J. (2008). *Two Stage Thermal Modification of Wood*. (Ph.D., Ghent University and Universite Henry Poincare)
- Bozkurt, Y., Erdin, N. (1995). Yoğunluk ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 45(2), 11-34.
- Bozkurt, Y., Erdin, N. (1997). *Ağaç teknolojisi ders kitabı*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Bozkurt, Y., Erdin, N. (2000). *Odun anatomisi*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Bürüç, G., Aydemir, D. ve Bakır, K. (2019). Doğu kayını ve saplı meşe odunlarının bazı özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(3), 713-721.

- Esteves, B. M., Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources*, 4, 340–404.
- Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I., Pereira, H. (2007). Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, 41(3), 193-207.
- Evans, R., Newman, R. H., Roick, U. C., Suckling, I. D., Wallis, A. F. (1995). Changes in cellulose crystallinity during kraft pulping. Comparison of infrared, X-ray diffraction and solid state NMR results. *Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, 49(6), 498-504.
- Fengel, D., Wegener, G. (1984). *Wood chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter Verlag, Berlin, Germany.
- Gaudet, M., Jorge, V., Paolucci, I., Beritognolo, I., Scarascia Mugnozza, G., Sabatti, M. (2008). Genetic linkage maps of *Populus nigra* L. including AFLPs, SSRs, SNPs, and sex trait. *Tree Genetics and Genomes*, 4, 25–36.
- Güller, B. (2012). Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of *Pinus nigra* wood. *African Journal of Biotechnology*, 11(9), 2204-2209.
- Hassan, M. L., Rowell, R. M., Fadl, N. A., Yacoub, S. F., Christensen, A. W. (2000). Thermoplasticization of bagasse. I. Preparation and characterization of esterified bagasse fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 76(4), 561-574.
- Hill, C. A. S. (2006). *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. Chichester, England. John Wiley & Sons Ltd.
- Icel, B., Guler, G., Isleyen, O., Beram, A., Mutlubas, M. (2015). Effects of industrial heat treatment on the properties of spruce and pine woods. *BioResources*, 10(3), 5140-5158.
- Icel, B., Beram, A. (2017). Effects of industrial heat treatment on some physical and mechanical properties of iroko wood. *Drvna industrija*, 68(3), 229-2369.
- ITWA (2003). *ThermoWood handbook*. Helsinki. International ThermoWood Association Publisher.
- Kahraman, T., Kahraman, F. K., Karakaya, S., Karahan, A., Ünsal, G., Karatay, H., Toplu, F. (2011). Türkiye’de karakavakta (*Populus nigra* L.) ıslah çalışmaları ‘fidanlık aşaması sonuçları’. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 210, İzmit, Türkiye.
- Kamdem, P. (2002). *Heat treatment: can it replace preservatives?* CWPA (Canadian Wood Preservation Association) Proceedings, 122-131.
- Karakaş, G. (2008). *Ahlât (Pyrus elaeagnifolia Pall.) Odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde ısıtma işleminin etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi)
- Kataoka, Y., Kondo, T. (1998). FTIR microscopic analysis of changing cellulose crystalline structure during wood cell wall formation. *Macromolecules*, 31(3), 760-764.
- Kol, H.Ş. (2010). Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing. *Journal of Environmental Biology*, 31(6), 1007-1011.
- Korkut, D. S., Korkut, S., Bekar, İ., Budakçı, M., Dilik, T., Çakıcıer, N. (2008). The effects of heat treatment on the physical properties and surface roughness of Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.) wood. *International Journal of Molecular Sciences*, 9; 1772–1783.
- Korkut, S. (2009). Gürgeç yapraklı kayacık (*Ostrya carpinifolia* scop.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıtma işlemi sıcaklık ve süresinin etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(1), 121-130.
- Korkut, S., Kocaefe, D. (2009). Isıtma işleminin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.
- Kutnar, A., Sernek, M. (2007). Densification of wood. *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 82, 53–62.
- Martinka, J., Hroncova, 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.
- Mayes, D. and Oksanen, O. (2002). *Thermowood handbook*. Finland. Joint Publication Finnforest.
- Mészáros, E., Jakab, E., Várhegyi, G. (2007). TG/MS, Py-GC/MS and THM-GC/MS study of the composition and thermal behavior of extractive components of Robinia pseudoacacia. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79(1-2), 61-70.
- Örs, Y., Keskin, H. (2008). *Ağaç Malzeme Teknolojisi*. Ankara. Gazi Kitabevi.
- Pelit, H. (2014). *Yoğunlaştırma ve ısıtma işleminin doğu kayını ve sarıçamın bazı teknolojik özellikleriyle üst yüzey işlemlerine etkisi*. (Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Pelit, H., Sönmez, A. (2015). Thermo-mekanik yoğunlaştırma ve ısı işlemin doğu kayını (*Fagus Orientalis* L.) odununun bazı fiziksel özelliklerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 2-8.
- Pelit, H., Budakçı, M., Sönmez, A. (2018). Density and some mechanical properties of densified and heat post-treated Uludağ fir, linden and black poplar woods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(1), 79-87.
- Perçin, O. (2012). *Isıl işlemin lamine ahşap malzemenin bazı teknolojik özelliklerine etkilerinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Rathmacher, G., Niggemann, M., Kohnen, M., Ziegenhagen, B., Bialozyt, R. (2010). Short distance gene flow in *Populus nigra* L. accounts for small scale spatial genetic structures: Implications for in situ conservation measures. *Conserv. Genet.*, 11, 1327–1338.
- Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F., Hughes, M. (2010). Properties and set-recovery of surface densified Norway spruce and European beech. *Wood Science and Technology*, 44(4), 679–691.
- Sefil, Y. (2010). *ThermoWood yöntemiyle ısı işlem uygulanmış göknar ve kayın odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Tabarsa, T., Chui, Y. H. (1997). Effects of hot-pressing on properties of white spruce. *Forest Products Journal*, 47(5), 71-76.
- Thurner, F., Mann, U. (1981). Kinetic investigation of wood pyrolysis. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 20(3), 482-488.
- 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 Werkstoff*, 63(2), 102-111.
- Tosun, M. (2021). *Thermo-mekanik yoğunlaştırmanın masif ağaç malzemenin işleme özellikleri üzerine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)
- TS 2470, (1976). Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için numune alma metotları ve genel özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2472, (1976). Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2474, (1976). Odunun statik eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2478, (1976). Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2595, (1977). Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 4084, (1983). Odunda radyal ve teğet doğrultuda şişmenin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 53, (1981). Odunun fiziksel özelliklerini tayin için numune alma, muayene ve deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 317, (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar - su içerisinde daldırma işleminden sonra boyutsal tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulker, O., Imirzi, O. and Burdurlu, E. (2012). The effect of densification temperature on some physical and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) *BioResources*, 7(4), 5581-5592.
- Yaşar, S., Uz, A., Beram, A. (2020). Isıl işlem görmüş kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) yongalarından üretilen levhaların bazı özellikleri. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(1), 14-20.
- Yıldız, S. (2002). *Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri*. (Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi)
- Yıldız, S., Gezer, E. D., Yıldız, U. C. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *Building and Environment*, 41(12), 1762-1766.
- Yıldız, S., Gümüşkaya, E. (2007). The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood. *Building and Environment*, 42(1), 62-67.
- 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.