



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MİMARLIK VE TASARIM FAKÜLTESİ



Uluslararası International
Mobilya Furniture
Kongresi Congress

Sempozyum Bildiri Kitabı

Proceedings Book

**"Yenilikçi ve
Gelecekçi
Yaklaşımlar"**

1-4 Kasım 2018

ISIL İŞLEMLİ LADİN (*Picea Orientalis*) ODUNUNUN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE MEKANİK YOĞUNLAŞTIRMANIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ramazan YORULMAZ¹, Hüseyin PELİT²

¹İnönü Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Mobilya ve İç Mekan Tasarımı Bölümü, 34030, İstanbul, TÜRKİYE
ramazan-yorulmaz@hotmail.com

²Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE
huseyinpelit@duzce.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, ısıtılmış ve mekanik olarak yoğunlaştırılmış ladin (*Picea Orientalis*) odunu örneklerinin bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Örnekler, dört farklı sıcaklık (140 °C, 160 °C, 180 °C ve 200 °C) ve iki farklı sürede (7 ve 9 saat) ısıtılmış tutulmuştur. Daha sonra örnekler 150 °C sıcaklıkta %20 ve %40 sıkıştırma oranları ile yoğunlaştırılmıştır. Örneklerin fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimleri belirlemek için hava kurusu yoğunluk, geri esneme oranı (GEO), sıkıştırma yönü şişme oranı (SŞO) ve su alma oranı (SAO) testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; ısıtılmış örneklerin yoğunluğu %8.5 oranına kadar azalmıştır. Ancak, yoğunlaştırılmış örneklerde sıkıştırma oranına bağlı olarak %9'dan %45'e kadar yoğunluk artışı sağlanmıştır. Düşük sıcaklıklarda (140 °C ve 160 °C) ısıtılmış örneklerde GEO artış eğilimindedir. Ancak, yüksek sıcaklıklarda (özellikle 200 °C) ısıtılmış örneklerde işlem süresi artışına da bağlı olarak GEO azalmıştır. Ayrıca, yüksek oranda (%40) sıkıştırılmış örneklerde daha yüksek GEO değerleri elde edilmiştir. Isıtılmış sıcaklığı ve süresi artışına bağlı olarak örneklerin SŞO değeri ısıtılmamış örnekler göre %40 azalmıştır. Diğer taraftan, örneklerin SAO değerleri üzerine ısıtılmanın etkisi önemsiz bulunmuştur. Ayrıca, sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak örneklerin SŞO ve SAO değerleri de artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Isıtılmış işlem, Yoğunlaştırma, Fiziksel özellikler

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MECHANICAL DENSIFICATION ON SOME PHYSICAL PROPERTIES OF HEAT TREATED SPRUCE (*Picea Orientalis*) WOOD

Ramazan YORULMAZ¹, Hüseyin PELİT²

¹Inönü Vocational and Technical Anatolian High School, Department of Furniture and Interior Design, 34030, İstanbul, TURKEY
ramazan-yorulmaz@hotmail.com

²Duzce University, Faculty of Technology, Department of Wood Products Industrial Engineering, 81620, Düzce, TURKEY
huseyinpelit@duzce.edu.tr

Abstract

In this study, it was aimed to determine some physical properties of heat treated and mechanically densified spruce (*Picea Orientalis*) wood samples. The samples were heat treated at four different temperatures (140 °C, 160 °C, 180 °C and 200 °C) and two different times (7 and 9 hours). The samples were then densified at a temperature of 150 °C with 20% and 40% compression ratios. Air-dry density, spring-back ratio (SBR), compression direction swelling ratio (CSR) and water absorption ratio (WAR) tests were performed to determine changes in the physical properties of the samples. According to the results of the study; the density of heat treated samples decreased up to 8.5%. However, in densified samples, a density increase from 9% to 45% was achieved depending on the

compression ratio. At low temperatures (140 °C and 160 °C), SBR tends to increase in heat treated samples. However, at high temperatures (especially 200 °C), SBR decreased due to increased process time in heat treated samples. In addition, higher SBR values were obtained in samples compressed at a high ratio (40%). Due to the increase in heat treatment temperature and time, the CSR values of the samples decreased by 40% compared to the samples without heat treatment. On the other hand, the effect of heat treatment on the WAR values of the samples was found to be insignificant. In addition, CSR and WAR values of samples increased due to the increase in compression ratio.

Keywords: Wood material, Heat treatment, Densification, Physical properties

GİRİŞ

Ahşabın termal/ısı modifikasyonu, özellikle dış uygulamalarda fazla dayanıklı olmayan ağaç türlerinin özelliklerini iyileştirmek için çevre dostu bir teknik olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Isıl işlem, ahşap malzemede mantar çürüklüğüne karşı direnci ve boyutsal stabiliteyi arttıran kimyasal değişiklikleri başlatmak için ahşabı yüksek sıcaklıklara (genellikle 180 °C - 220 °C) maruz bırakma esasına dayanır (Hill 2006).

Günümüzde endüstriyel olarak uygulanan ısı işlem süreçleriyle, ahşabın higroskopikliğinde önemli bir azalma meydana gelmekte ve buna bağlı olarak ahşabın boyutsal kararlılığı ve çürüklük yapan mantarlara karşı direnci artmaktadır. Böylece ahşap ürünlerin hizmet ömrü uzatılabilmektedir (Kamdem ve ark. 2002; Hill 2006; Esteves ve ark. 2007; Boonstra 2008; Aydemir ve ark. 2011; Kocaefe ve ark. 2015). Ayrıca, ısı işlem süreçlerinde ahşap rengi değiştirebilmekte ve daha homojen bir renk elde edilmektedir (Bekhta ve Niemz, 2003; Esteves ve Pereira 2009). Diğer taraftan, mekanik direnç kaybı ve kırılmalıkta artış gibi bazı istenmeyen yan etkiler, ısı işlem görmüş ahşap malzemenin ticari uygulamasını sınırlamaktadır (Boonstra 2008). Ahşap malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, gaz atmosferi, buhar ortamı gibi koşullarda 150 °C'nin üzerindeki ısı işlemler ile kalıcı olarak değiştirilebilmektedir (Esteves ve Pereira 2009). Ancak ahşap daha kırılmalık hale gelmekte, yoğunluk düşmekte ve ahşabın kimyasal bileşenlerinin ısı bozunması nedeniyle mekanik direnç özellikleri azalmaktadır (Yıldız ve ark. 2006; Korkut ve ark. 2008; Esteves ve Pereira 2009; Gündüz ve ark. 2010; Perçin ve ark. 2015). Boyutsal kararlılık ile biyolojik dirençteki artışa ve mekanik direnç ile yoğunluk kayıplarına dayanarak, ısı ile modifiye edilen ahşap genel olarak zemin kaplaması, cephe kaplaması, pencere çerçeveleri ve bahçe mobilyaları gibi yapısal olmayan dış mekân uygulamalarında kullanılabilir (Sandberg ve ark. 2017).

Yoğunluğu yüksek ağaç malzeme, yapısal uygulamalar ve mekanik direncin önemli olduğu yerler için gereklidir. Yoğunluğu düşük ve ticari olarak çok fazla ilgi çekici olmayan ağaç türlerinde yoğunlaştırma modifikasyonu yapılarak bu türler, yüksek performanslı ve değerli ürünler haline dönüştürülebilir (Kutnar ve Sernek 2007; Pelit ve ark. 2014). Bu sayede, yüksek direnç gerektiren uygulamalarda yüksek yoğunluklu türler yerine daha düşük yoğunluklu ağaç türlerinin kullanılması sağlanabilir (Kariz ve ark. 2017). Ahşap malzemenin boşluk hacmine çözültü haldeki sentetik veya doğal reçineler emdirildikten sonra kimyasal reaksiyon veya soğuma sonucu bu reçineler katılaştırılarak ahşap yoğunluğu artırılabilir (Kamke 2006). Ayrıca, ahşabın bal peteği benzeri bir yapısı olduğundan, enine yönde (radyal veya teğet yön) mekaniksel olarak sıkıştırılması suretiyle hücre çeperi sıkı bir şekilde katlanabilir (Obataya ve Chen 2018). Böylece, süreç sonunda ahşap malzemenin boşluk hacmi azaltılır ve birim hacme düşen hücre çeperi miktarındaki artış nedeniyle yoğunluk artar (Pelit ve ark. 2018). Diğer taraftan, yoğunlaştırma işlemi yapılan ahşap malzemenin suya maruz kalması halinde sıkıştırma öncesi ölçülerine büyük oranda geri dönme eğilimi göstermesi bu modifikasyon yönteminin en önemli sakıncasıdır (Rautkari ve ark. 2010; Pelit

ve ark. 2016). Bu geri esneme davranışı, ahşabın hücre yapısının kombinasyonu ve hücre çeperi polimerlerinin özellikleri ile ilişkilidir (Wolcott ve Shutler 2003; Kariz ve ark. 2017).

Bu çalışmanın amacı, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıtılma işlemi görmüş ladin (*Picea Orientalis*) odunu örneklerinin bazı fiziksel özellikleri üzerine mekanik yoğunlaştırmanın etkisini belirlemektir. Aynı zamanda, mekanik olarak yoğunlaştırılmış ladin örneklerinin boyutsal stabilitesi üzerine ısıtılma işlemi uygulamasının etkisi belirlenmiştir.

1. MATERYAL VE YÖNTEM

1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada, iğne yapraklı ağaç türlerinden olan ve nispeten düşük yoğunluklu Doğu ladin (*Picea Orientalis*) odunu örnekleri kullanılmıştır. Örnekler, İstanbul ilindeki bir kereste işletmesinden rastgele seçim metodu ile temin edilmiştir. Örneklerde çürük, budak, çatlak, renk ve yoğunluk farkı olmamasına dikkat edilmiştir. Hava kurusu rutubetteki örneklerin diri odunu kısımlarından yıllık halka konumları ve sıkıştırma oranları da dikkate alınarak taslak ölçülerinde deney materyalleri hazırlanmıştır. Daha sonra örnekler 20 ± 2 °C sıcaklık ve 65 ± 3 bağıl nem koşullarına ayarlanmış iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir (TS 2471, 1976).

1.2. Isıtılma İşlem

Isıtılma işlemi uygulaması normal atmosferik basınç altında ve içinde hava sirkülasyonu olmayan laboratuvar tipi bir cihazda yapılmıştır. Cihaza yerleştirilen örnekler 103 ± 2 °C sıcaklıkta tam kuru hale gelinceye kadar bekletilmiş ve ardından hedeflenen sıcaklıklarda (140 °C, 160 °C, 180 °C ve 200 °C) 7 ve 9 saat için ayrı ayrı ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Bu sürelerin sonunda cihaz kapağı açılmadan örneklerin oda sıcaklığına kadar soğumaları beklenmiştir. Her bir grup için ısıtılma işlemi süresi toplamda 40-45 saat sürmüştür. Isıtılma işlemi sonrası örnekler, 20 ± 2 °C sıcaklık ve 65 ± 3 bağıl nem koşullarında 5 hafta süre ile bekletilmiştir. Ardından örnekler 19×320 mm (teğet yön×boyuna yön) ölçülerinde ve sıkıştırma oranları dikkate alınarak 25 ve 33.3 mm kalınlıklarında (radyal yön) kesilmiştir. Ayrıca kontrol (sıkıştırma yapılmayan) grupları için 19×20×320 mm (teğet yön×radyal yön×boyuna yön) ölçülerinde örnekler kesilmiştir. Testlerde, her bir değişken için 10 tekrarlı ($n=10$) olacak sayıda örnek hazırlanmıştır.

1.3. Termo-Mekanik Yoğunlaştırma

Örneklerin yoğunlaştırılmasında; tabla ebatları 60×60 cm² olan sıcaklık ve basınç kontrolü yapılabilen hidrolik deney presi kullanılmıştır. Yoğunlaştırma işlemi, özel metal kalıplar kullanılarak 150 °C sıcaklıkta ve iki farklı sıkıştırma oranında (%20 ve %40) yapılmıştır. Kullanılan metal kalıplara 10 mm derinliğinde ve 20 mm genişliğinde kanallar açılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Yoğunlaştırmada Kullanılan Metal Kalıplar ve Örneklerin Yerleşimi

Metal kalıpların kanallarına yerleştirilen 25 mm ve 33.3 mm kalınlığındaki örnekler, 20 dk. ön ısıtma işleminden sonra 60 mm/dak. yükleme hızı ile 20 mm hedef kalınlığına kadar sıkıştırılmıştır (Şekil 2). Sıkıştırılan örnekler 10 dk. basınç altında tutulmuş ve sıcak presten alınarak ortalama 5 kg/cm²'lik basınç altında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Yoğunlaştırma işlemi tamamlanan örnekler, TS 2471 (1976) standardına göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarına ayarlanmış iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar bekletilmiştir. İklimlendirme sonrası rutubet değişimlerini önlemek için örnekler, ölçüm-deney anına kadar plastik poşetler içerisinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 2. Örneklerin Kalıp Yardımıyla Yoğunlaştırılması

1.4. Hava Kuru Yoğunluğun Belirlenmesi

Hava kuru yoğunluklar TS 2472 (1976) standardı esaslarına göre belirlenmiştir. Örnekler 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarına ayarlanmış iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar bekletilmiştir. Ardından, örneklerin kütleleri (M_{12}) ±0,01 gr hassasiyetinde tartılmış, boyutları ise ±0,01 mm hassasiyetinde ölçülerek hacimleri (V_{12}) belirlenmiştir. Örneklerin yoğunlukları (δ_{12}) Eş. 2'ye göre hesaplanmıştır.

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

1.5. Geri Esneme Oranının Belirlenmesi

Termo-mekanik olarak sıkıştırılmış ağaç malzemede oluşan iç gerilmeler sebebiyle, uygulanan pres basıncının sona erdirilmesinden sonra anlık bir geri esneme meydana gelir. Buna ek olarak, sıkıştırma sürecinde pres sıcaklığının etkisi ile ağaç malzemede rutubet kayıpları oluşur ve tekrar kondisyonlanma (20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem) aşamasında malzemelerdeki rutubet artışlarından dolayı ayrıca bir geri esneme meydana gelir (Pelit ve ark. 2016). Bu bağlamda, ladin örneklerin toplam geri esneme oranları (GEO) Eş. 2'ye göre hesaplanmıştır (Pelit ve ark. 2014).

$$GEO = [(T_2 - T_1) / T_1] \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

1.6. Sıkıştırma Yönü Şişme Oranı ve Su Alma Oranının Belirlenmesi

Radyal sıkıştırma yönü şişme ve su alma oranları ISO 13061-15 (2017) standardına göre belirlenmiştir. Örnekler 103±2 °C sıcaklıktaki etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve ardından örneklerin tam kuru ağırlığı ve kalınlık (radyal) yönündeki boyutları 0,01 duyarlılıkla belirlenmiştir. Daha sonra örnekler, 20±2 °C sıcaklıkta destile su içerisinde sabit ağırlığa ulaşincaya kadar bekletilmiştir. Sürecin sonunda örnekler sudan alınmış ve yüzeydeki fazla su kağıt havlu ile giderilmiştir. Örneklerin ağırlığı ve kalınlık yönündeki

boyutları 0,01 duyarlılıkla tekrar belirlenmiştir. Sıkıştırma yönü şişme oranı (SŞO) ve su alma oranı (SAO) değerleri Eş. 3 ve Eş. 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S\text{ŞO} = [(T_R - T_0) / T_0] \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

$$S\text{AO} = [(M_R - M_0) / M_0] \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Burada; T_R : örneklerin suda bekletme sonrası kalınlığını, T_0 : örneklerin tam kuru haldeki kalınlığını, M_R : örneklerin suda bekletme sonrası ağırlığını, M_0 : örneklerin tam kuru haldeki ağırlığını ifade etmektedir.

1.7. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel değerlendirmeler için MSTAT-C paket programı kullanılmıştır. Farklı sıcaklık ve sürelerdeki ısı ön işlem uygulaması ve farklı oranlardaki yoğunlaştırma işleminin ladin örneklerin fiziksel özellikleri üzerindeki önemini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) testleri yapılmıştır. İşlem faktörlerinin etkisi Duncan testleri ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı sıcaklık ve sürelerde ısı işlem uygulandıktan sonra termo-mekanik yöntemle sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış deney örneklerinde; hava kuru yoğunluk, geri esneme oranı (GEO), sıkıştırma yönü şişme oranı (SŞO) ve su alma oranı (SAO) değerlerinin aritmetik ortalamaları Tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca, seçilmiş bu özelliklere ait varyans analizi sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2’ye göre, ladin odunu örneklerinin yoğunluğu, GEO ve SŞO üzerinde ısı işlem ve sıkıştırma oranı faktörlerin etkisi önemli bulunmuştur. SAO’da ise sıkıştırma oranının etkisi önemli iken ısı işlem koşullarının etkisi önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Ladin odunu örnekleri için ısı işlem ve sıkıştırma oranı düzeyinde gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1: Ladin örneklerin yoğunluk, GEO, SŞO ve SAO değerlerine ait aritmetik ortalamalar

Isıl işlem	Sıkıştırma oranı	Testler			
		Yoğunluk (g/cm ³)	GEO (%)	SŞO (%)	SAO (%)
Knt1	Knt2	0.382 (0.04)	-	5.12 (0.75)	149.66 (15.55)
	%20	0.434 (0.03)	6.55 (0.84)	20.14 (1.61)	160.10 (10.83)
	%40	0.555 (0.07)	10.16 (1.08)	47.13 (2.62)	173.18 (14.91)
140 °C - 7 saat	Knt2	0.389 (0.03)	-	4.49 (0.48)	145.29 (16.78)
	%20	0.426 (0.03)	6.46 (0.78)	19.81 (1.05)	164.83 (18.33)
	%40	0.530 (0.06)	11.25 (1.07)	46.80 (3.12)	182.80 (15.77)
140 °C - 9 saat	Knt2	0.384 (0.04)	-	4.28 (0.41)	142.35 (19.36)
	%20	0.438 (0.02)	5.85 (0.59)	19.61 (0.85)	164.25 (16.58)
	%40	0.541 (0.05)	10.69 (0.87)	46.73 (2.42)	181.28 (16.91)
160 °C - 7 saat	Knt2	0.377 (0.04)	-	4.07 (0.44)	142.72 (16.43)
	%20	0.432 (0.04)	6.67 (0.67)	18.74 (1.31)	167.23 (17.90)
	%40	0.525 (0.07)	11.21 (0.98)	44.65 (2.97)	185.76 (21.69)
160 °C - 9 saat	Knt2	0.381 (0.04)	-	3.93 (0.56)	145.61 (14.27)
	%20	0.417 (0.05)	6.50 (0.43)	17.85 (1.58)	165.07 (19.16)
	%40	0.516 (0.03)	10.79 (1.12)	43.83 (1.74)	184.70 (14.53)
180 °C - 7 saat	Knt2	0.372 (0.04)	-	3.65 (0.44)	137.58 (15.63)
	%20	0.417 (0.03)	6.41 (0.41)	17.13 (1.28)	164.29 (20.65)
	%40	0.519 (0.03)	10.37 (1.00)	42.38 (2.11)	188.46 (20.90)

180 °C - 9 saat	Knt2	0.359 (0.03)	-	3.22 (0.50)	147.77 (13.23)
	%20	0.414 (0.02)	6.06 (0.49)	16.66 (1.30)	166.38 (8.17)
	%40	0.512 (0.06)	10.40 (0.64)	37.69 (2.46)	179.51 (19.13)
200 °C - 7 saat	Knt2	0.350 (0.03)	-	2.87 (0.37)	145.47 (14.93)
	%20	0.411 (0.03)	6.14 (0.42)	13.06 (0.91)	160.22 (13.30)
	%40	0.495 (0.05)	9.91 (0.95)	30.54 (2.97)	169.55 (17.48)
200 °C - 9 saat	Knt2	0.350 (0.03)	-	2.75 (0.35)	142.41 (12.06)
	%20	0.412 (0.04)	5.88 (0.34)	12.32 (0.84)	156.95 (14.12)
	%40	0.492 (0.06)	10.02 (1.01)	28.47 (2.81)	168.43 (12.72)

\bar{x} : Aritmetik ortalama, St.Sp: Standart sapma, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış
Parantez içerisindeki değerler standart sapmaları göstermektedir.

Tablo 3'e göre, ısıl işlem koşulları düzeyinde en yüksek yoğunluk değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (ısıl işlemsiz) örneklerde (0.457 g/cm^3) ve 140 °C 'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (0.454 g/cm^3), en düşük ise 200 °C 'de 7 ve 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (0.419 g/cm^3 ve 0.418 g/cm^3) elde edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı ve süresinin artması ile örneklerin yoğunluk değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Knt1 (ısıl işlemsiz) ladin örneklerine göre, 200 °C 'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde yoğunluk değeri ortalama %8.5 oranında azalmıştır. Literatürde, ısıl işlem sonrası ağaç malzeme yoğunluğunun azaldığı ve bunun ana sebeplerinin; ısıl işlem sürecinde odun bileşenlerinin (özellikle hemiselüloz) uçucu ürünlere dönüşmesi, ekstraktif maddelerin buharlaşması ve ısıl işlem uygulaması ile odunun denge rutubet miktarındaki azalma olduğu ifade edilmiştir (Boonstra 2008; Korkut ve Kocaefe, 2009). Sıkıştırma oranı düzeyinde en yüksek yoğunluk değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (0.520 g/cm^3), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (0.371 g/cm^3) elde edilmiştir (Tablo 3). Yoğunlaştırma işlemi sonrası ladin örneklerinin yoğunluk değeri sıkıştırma oranı artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerine göre %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde yoğunluk değeri %45'e kadar artmıştır (Tablo 1). Yoğunluktaki artışlar, sıkıştırma işlemleri ile ağaç malzemenin boşluk hacminin azalması ve birim hacme düşen hücre çeperi miktarındaki artışla açıklanabilir (Ülker ve ark. 2012; Pelit ve ark. 2018).

Tablo 2: Yoğunluk, GEO, SŞO ve SAO değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Testler	Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P \leq 0.05
Yoğunluk	Isıl işlem (A)	8	0.049	0.006	3.3261	0.0012*
	Sıkıştırma oranı (B)	2	1.034	0.517	278.3671	0.0000*
	Etkileşim (AB)	16	0.009	0.001	0.3035	ns
	Hata	243	0.451	0.002		
	Toplam	269	1.544			
GEO	Isıl işlem (A)	8	19.011	2.376	3.6825	0.0006*
	Sıkıştırma oranı (B)	1	814.301	814.301	1261.8506	0.0000*
	Etkileşim (AB)	8	7.270	0.909	1.4083	0.1966
	Hata	162	104.542	0.645		
	Toplam	179	945.124			
SŞO	Isıl işlem (A)	8	3035.584	379.448	133.0360	0.0000*
	Sıkıştırma oranı (B)	2	63480.97	31740.484	11128.340	0.0000*
	Etkileşim (AB)	16	1711.759	106.985	37.5094	0.0000*
	Hata	243	693.090	2.852		
	Toplam	269	68921.40			
SAO	Isıl işlem (A)	8	2535.614	316.952	1.1963	0.3018
	Sıkıştırma oranı (B)	2	55183.366	27591.683	104.1394	0.0000*
	Etkileşim (AB)	16	3602.109	225.132	0.8497	ns
	Hata	243	64382.754	264.950		
	Toplam	269	125703.84			

*: 0,05'e göre önemli ns: Önemsiz

Tablo 3: Isıl işlem ve sıkıştırma oranı düzeyinde yoğunluk, GEO, SŞO ve SAO değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Faktör	Yoğunluk (g/cm ³)		GEO (%)		SŞO (%)		SAO (%)	
	OD	HG	OD	HG	OD	HG	OD	HG
Isıl işlem								
Knt1	0.457	a	8.35	bcd	24.13	a	160,98	ab
140 °C / 7 saat	0.448	ab	8.85	ab	23.70	a	164,31	a
140 °C / 9 saat	0.454	a	8.27	cd	23.54	a	162,63	ab
160 °C / 7 saat	0.445	ab	8.94	a	22.48	b	165,24	a
160 °C / 9 saat	0.438	abc	8.64	abc	21.87	bc	165,13	a
180 °C / 7 saat	0.436	abc	8.39	bcd	21.05	c	163,44	ab
180 °C / 9 saat	0.428	bc	8.22	cd	19.19	d	164,55	a
200 °C / 7 saat	0.419	c	8.02	d	15.49	e	158,41	ab
200 °C / 9 saat	0.418	c	7.95	d	14.51	f	155,93	b
Sıkıştırma oranı								
Knt2	0.371	c	-	-	3.82	c	144,32	c
%20	0.422	b	6.28	b	17.26	b	163,26	b
%40	0.520	a	10.53	a	40.91	a	179,30	a

OD: Ortalama değer, HG: Homojenlik gurubu, Knt1: Isıl işlemsiz, Knt2: Yoğunlaştırılmamış

Isıl işlem koşulları düzeyinde en yüksek GEO değeri, 160 °C'de 7 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (%8.94), en düşük ise 200 °C'de 7 ve 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (%8.02 ve %7.95) elde edilmiştir (Tablo 3). Düşük sıcaklıklarda (140 °C ve 160 °C) ısıl işlem uygulanmış ladin örneklerin GEO değerleri Knt1 (ısıl işlemsiz) örneklere göre genel olarak artış eğilimindedir. Ancak, 180 °C sınırından itibaren ısıl işlem sıcaklığı ve süresi artışına bağlı olarak örneklerin GEO değerleri azalmıştır. Isıl işlem sonrası (özellikle 200 °C'de) örneklerin denge rutubet miktarındaki muhtemel azalmaların sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, kimyasal değişim veya bozunma sonucu ısıl işlemlili ağaç malzemenin daha az higroskopik olduğu ve bu duruma bağlı olarak denge rutubet miktarının azaldığı ifade edilmiştir (Boonstra 2008; Esteves ve Pereira 2009; Aydemir ve ark. 2011; Aydin ve ark. 2015). Sıkıştırma oranı düzeyinde GEO değeri, %20 oranında sıkıştırılmış örneklerde düşük (%6.28), %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde daha yüksek (%10.53) bulunmuştur (Tablo 3). Sıkıştırma oranı artışına bağlı olarak GEO değerleri de artış göstermiştir. Önceki benzer çalışmalarda, yoğunlaştırma sürecinde sıkıştırma oranındaki artışın ağaç malzemedeki daha fazla bir iç gerilmeye neden olduğu ve bunda GEO değerlerini artırdığı belirtilmiştir (Laine ve ark. 2013; Pelit ve ark. 2014, 2016).

Isıl işlem koşulları düzeyinde en yüksek SŞO değeri, aralarındaki fark önemsiz olmak üzere Knt1 (ısıl işlemsiz) örneklerde (%24.13) ve 140 °C'de 7 ve 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (%23.70 ve %23.54), en düşük ise 200 °C'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde (%14.51) bulunmuştur (Tablo 3). Isıl işlemlili örneklerde işlem sıcaklığı ve süresinin artmasına bağlı olarak SŞO değerleri azalmıştır. Knt1 (ısıl işlemsiz) örneklere göre, 200 °C'de 9 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde SŞO değerinde ortalama %40 oranında iyileşme sağlanmıştır. Özellikle yüksek sıcaklıktaki ısıl işlem sonucu ladin örneklerin kimyasal yapısında meydana gelmesi muhtemel değişikliklerin sonuçlar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Literatürde, ısıl işlem sonucu ağaç malzemenin kimyasal ve fiziksel yapısında birçok kalıcı değişikliğin meydana geldiği ifade edilmiştir (ThermoWood Handbook, 2003). Ayrıca, ısıl işlem sonrası ağaç malzemenin daha az higroskopik olduğu ve malzemenin boyutsal kararlılığının arttığı (Bekhta ve Niemi, 2003; Esteves ve ark. 2007; Morsing 2000;

Tjeerdsma ve Militz 2005; Boonstra 2008; Aydemir ve ark. 2011), higroskopisitenin azalmasında ise hidroksil gruplarının sayıca azalması veya farklı formlara dönüşmesinin etkili olduğu ifade edilmiştir (Tjeerdsma ve Militz 2005; Kocaefe ve ark. 2008). Sıkıştırma oranı düzeyinde en yüksek SŞO değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (%40.91), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (%3.82) elde edilmiştir (Tablo 3). Sıkıştırma oranındaki artış SŞO değerlerini önemli derecede etkilemiştir. Sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak örneklerin SŞO değerleri de artış göstermiştir. Literatürde, mekaniksel olarak yoğunlaştırmanın en önemli dezavantajlarından birinin, ağaç malzemenin suya maruz kalması halinde sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerine geri dönmesi olduğu ve bu durumda, sıkıştırma sonucu malzemede oluşan iç gerilmelerin rahatlaması ve hücre çeperinin orijinal şekline geri dönme eğiliminde olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Kollmann ve ark. 1975; Pelit ve ark. 2014). Ayrıca mekaniksel olarak yoğunlaştırmada, sıkıştırma oranı artışı ile malzemede daha fazla kalınlık şişmesinin meydana geldiği farklı çalışma sonuçlarında da vurgulanmıştır (Ünsal ve ark. 2011; Pelit ve ark. 2016).

Isıl işlem koşulları düzeyinde SAO değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Tablo 2 ve Tablo 3). Ancak, 200 °C sınırından itibaren ısı işlem süresine de bağlı olarak örneklerin SAO değerleri azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum, SŞO bölümünde de açıklandı gibi, ısı işlem sonrası örneklerin daha az higroskopik olması ve ağaç malzemede suyu tutan hidroksil gruplarının azalması ile açıklanabilir (ThermoWood Handbook 2003; Tjeerdsma ve Militz 2005; Aydemir ve ark. 2011). Sıkıştırma oranı düzeyinde en yüksek SAO değeri, %40 oranında sıkıştırılmış örneklerde (%179.30), en düşük ise Knt2 (yoğunlaştırılmamış) örneklerde (%144.32) elde edilmiştir (Tablo 3). Tüm ladin örneklerin SAO değeri sıkıştırma oranı artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Bu durum, sıkıştırma işlemleri öncesi kontrol örneklerine göre daha fazla hacme/kalınlığa sahip yoğunlaştırılmış örneklerin hacim-su alımı ilişkisine bağlı olarak daha fazla su absorbe etmesi ile açıklanabilir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı sıcaklık ve sürelerde ısı işlem uygulandıktan sonra mekaniksel olarak yoğunlaştırılmış Doğu ladin (*Picea Orientalis*) odununun bazı fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Isıl işlemli örneklerin hava kurusu yoğunluğu işlem sıcaklığı ve süresindeki artış ile %8.5 oranına kadar azalmıştır. Ancak, yoğunlaştırma işlemi sonrası örneklerin yoğunluk değerinde sıkıştırma oranına bağlı olarak %9'dan %45'e kadar artış sağlanmıştır.

Düşük sıcaklıklarda (140 °C ve 160 °C) ısı işlem görmüş örneklerde GEO değerleri ısı işlemli örneklere göre artış eğilimi göstermiştir. Ancak, daha yüksek sıcaklıklarda (özellikle 200 °C) ısı işlem görmüş örneklerde işlem süresi artışına da bağlı olarak GEO azalmıştır. Ayrıca, yüksek sıkıştırma oranında (%40) yoğunlaştırılmış örneklerde daha yüksek GEO değerleri elde edilmiştir.

Isıl işlem sıcaklığı ve süresinin artmasına bağlı olarak SŞO değerleri azalmıştır. Isıl işlemli örneklere göre, 200 °C'de 9 saat ısı işlem uygulanmış örneklerin SŞO değerinde %40 oranında iyileşme gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, örneklerinin SAO değerleri üzerine ısı işlemin etkisinin önemli olmadığı görülmüştür. Ayrıca, sıkıştırma oranındaki artışa bağlı olarak örneklerin SŞO ve SAO değerleri de artış göstermiştir.

BİLGİ NOTU: Bu çalışma Düzce Üniversitesi BAP-2018.7.1.673 No'lu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- Aydemir, D., Gündüz, G., Altuntaş, E., Ertas, M., Şahin, H. T., and Alma, M. H. (2011). Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and Uludağ fir wood, *BioResources*, 6(2), 1308-1321.
- Aytin, A., Korkut, S., Ünsal, Ö., and Çakıcıer, N. (2015). The effects of heat treatment with the ThermoWood® method on the equilibrium moisture content and dimensional stability of wild cherry wood, *BioResources*, 10(2), 2083-2093.
- Bekhta, P., and Niemz, P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, *Holzforschung*, 57(5), 539-546.
- Boonstra, M. J. (2008). A Two-Stage Thermal Modification of Wood, Ph.D. dissertation, Co-supervised by Ghent University, Ghent, Belgium, and Université Henry Poincaré, Nancy, France.
- Esteves, B. M., and Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources*, 4(1), 370-404.
- Esteves, B., Velez, M. A., Domingos, I., and Pereira, H. (2007). Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood," *Wood Science Technology*, 41(3), 193-207.
- Finnish Thermowood Association (2003). ThermoWood Handbook, FIN-00171, Helsinki, Finland.
- Gündüz, G., Aydemir, D., and Korkut, S. (2010). The effect of heat treatment on some mechanical properties and color changes of Uludağ fir wood, *Drying Technology*, 28(2), 249-255.
- Hill, C.A.S. (2006). Wood modification: chemical, thermal and other processes. John Wiley, Chichester.
- ISO 13061-15 (2017). Physical and mechanical properties of wood - Determination of radial and tangential swelling, International Organization for Standardization, Switzerland.
- Kamdern, D. P., Pizzi, A., and Jermannaud, A. (2002). Durability of heat treated wood, *Holz als Roh -und Werkstoff*, 60(1), 1-6.
- Kamke, F.A. (2006). Densified radiata pine for structural composites. *Maderas Ciencia y tecnologia* 8(2), 83–92.
- Kariz, M., Kuzman, M. K., Sernek, M., Hughes, M., Rautkari, L., Kamke, F. A., & Kutnar, A. (2017). Influence of temperature of thermal treatment on surface densification of spruce. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(1), 113-123.
- Kocaefe, D., Poncsak, S., Doré, G., & Younsi, R. (2008). Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 66(5), 355-361.
- Kocaefe, D., Huang, X., and Kocaefe, Y. (2015). Dimensional stabilization of wood," *Current Forestry Reports*, 1(3), 151-161.
- Kollmann, F. F. P., Kuenzi, E. W., and Stamm, A. J. (1975). Principles of Wood Science and Technology. Vol. II: Wood Based Materials, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Korkut, S., ve Kocaefe, D., 2009. Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.
- Korkut, S., Kök, M. S., Korkut, D. S., and Gürleyen, T. (2008). The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood, *Bioresource Technology*, 99(6), 1538-1543.

- Kutnar, A., and Sernek, M. (2007). Densification of wood, *Zbornik Gozdarstva in Lesarstva*, 82, 53-62.
- Morsing, N. (2000). Densification of Wood - The Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to the Grain, Ph.D. dissertation, Department of Structural Engineering and Materials, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
- Obataya, E., and Chen, S. (2018). Shape recovery and anomalous swelling of steam-compressed wood by swimming ring-like expansion of cell lumina. *Wood Science and Technology*, Published online: 09 May 2018, <https://doi.org/10.1007/s00226-018-1018-x>
- Pelit, H., Sönmez, A., and Budakçı, M. (2014). Effects of ThermoWood® process combined with thermo-mechanical densification on some physical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), *BioResources*, 9(3), 4552-4567.
- Pelit, H., Budakçı, M., and Sönmez, A. (2016). Effects of heat post-treatment on dimensional stability and water absorption behaviours of mechanically densified Uludağ fir and black poplar woods. *BioResources*, 11(2), 3215-3229.
- Pelit, H., Budakçı, M., and 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., Sofuoğlu, S. D., and Uzun, O. (2015). Effects of boron impregnation and heat treatment on some mechanical properties of oak (*Quercus petraea* Liebl.) wood, *BioResources*, 10(3), 3963-3978.
- 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*, 44:679–691
- Sandberg, D., Haller, P., and Navi, P. (2013). Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing - An opportunity for future environmentally friendly wood products, *Wood Material Science and Engineering*, 8(1), 64-88.
- TS 2471, 1976. "Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini, T.S.E. Standardı, Ankara.
- TS 2472, 1976. "Odunda Fiziksel Ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini", T.S.E. Standardı, Ankara.
- Tjeerdsma, B., and 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.
- Ülker, O., İmirzi, Ö., 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.
- Ünsal, Ö., Candan, Z., Büyüksari, Ü., Korkut, S., Chang, Y. S., and Yeo, H. M. (2011). Effect of thermal compression treatment on the surface hardness, vertical density propile and thickness swelling of eucalyptus wood boards by hot-pressing. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 39(2), 148-155.
- Yıldız, S., Gezer, E. D., and Yıldız, Ü. C. (2006). Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat, *Building and Environment*, 41(12), 1762-1766.
- Wolcott, M. P., and Shutler, E. L. (2003). Temperature and moisture influence on compression-recovery behavior of wood. *Wood and Fiber Science*, 35(4), 540-551.