

III. BİLSEL ULUSLARARASI EFES BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNNOVASYON KONGRESİ

22 MART

2024

KONGRE KİTABI

[HTTPS://BILSELKONGRELERI.COM](https://bilselkongreleri.com)

İZMİR



YOĞUNLAŞTIRMA VE TERMAL İŞLEM SONRASI VERNİKLE KAPLANMIŞ KAYIN (*FAGUS SYLVATICA* L.) ODUNUNUN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Doç. Dr. Hüseyin Pelit^a, Prof. Dr. Abdullah Sönmez^b

ORCID: 0000-0002-5706-473X, 0000-0001-5087-0563

huseyinpelit@duzce.edu.tr; asonmez@gazi.edu.tr

^aDüzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

^bGazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, yoğunlaştırma ve termal işlem sonrası su bazlı vernikle kaplanmış Doğu kayını (*Fagus sylvatica* L.) odununun yüzey pürüzlülük özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ahşap örnekler; iki farklı sıcaklık (110 °C ve 150 °C) ve iki farklı oranda (%20 ve %40) sıkıştırılarak yoğunlaştırıldıktan sonra 190 °C, 200 °C ve 210 °C sıcaklıkta 2 saat için termal işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra örneklerin yüzeyleri tek bileşenli su bazlı vernikle kaplanmıştır. Vernikleme öncesi ve sonrası kayın örneklerin yüzey pürüzlülük değerlerinde meydana gelen değişimler *Ra* parametresine ve TS EN ISO 21920-2 esaslarına göre tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, hem verniksiz hem de vernikle kaplanan yoğunlaştırılmış örneklerde sıkıştırma oranı ve sıkıştırma sıcaklığı artışına bağlı olarak pürüzlülük değerleri azalmıştır. Diğer taraftan, termal işlem sıcaklığı artışı ile her iki grup (verniksiz ve vernikli) örneklerinde pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. Ayrıca verniksiz örneklere göre, vernikle kaplanmış örneklerin yüzey pürüzlülük değerinde %68'e kadar azalma gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Yoğunlaştırma, Termal işlem, Vernik, Pürüzlülük



SURFACE ROUGHNESS OF VARNISHED BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.) WOOD AFTER DENSIFICATION AND THERMAL TREATMENT

Abstract

In this study, it was aimed to determine the surface roughness of Eastern beech (*Fagus sylvatica* L.) wood coated with water-based varnish after densification and thermal treatment. The wood samples were densified by compression at two different temperatures (110 °C and 150 °C) and two different ratios (20% and 40%) and then thermally treated at 190 °C, 200 °C and 210 °C for 2 h. Then, the surfaces of the samples were coated with a single-component water-based varnish. The changes in the surface roughness values of the beech samples before and after varnishing were determined according to the *Ra* parameter and TS EN ISO 21920-2 principles. According to the study results, roughness values decreased due to the increase in compression ratio and compression temperature in both unvarnished and varnish-coated densified samples. On the other hand, roughness values increased in both groups (unvarnished and varnished) samples with increasing thermal treatment temperature. In addition, the surface roughness of the varnish-coated samples decreased up to 68% compared to the unvarnished samples.

Keywords: Wood material, Densification, Thermal treatment, Varnish, Roughness

GİRİŞ

Ağaç malzeme, tarih boyunca insan gereksinimlerine yönelik pek çok alanda kullanılmıştır. Günümüzde ise teknolojik gelişmelerle birlikte kullanım alanı oldukça artan endüstriyel bir malzeme haline gelmiştir. İnsan nüfusundaki artışın ve yeni uygulama alanlarının bir sonucu olarak ağaç malzemeye olan talep artmakta ancak diğer yandan orman varlıklarının giderek azalmasına ve kaliteli ağaç malzemenin temininde zorluklara neden olmaktadır. Bu durum mevcut kaynakların daha dengeli ve verimli bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Pelit, 2014).

Ağaç malzemenin boşluk hacmi bazı kimyasallar ile doldurularak ya da ağaç malzeme uygun koşullar altında sıkıştırılarak yoğunlaştırılmakta ve özellikleri iyileştirilebilmektedir. Yoğunlaştırma, ağaç malzemede boşluk hacminin azaltılarak malzeme yoğunluğunun artırılması işlemidir. Bu da genellikle ahşabın enine yönde sıkıştırılması ile başarılmaktadır. Yoğunlaştırmanın temel amacı ağaç malzemenin mekanik özelliklerini artırmaktır (Sandberg ve Navi 2007). Ağaç malzemenin sıkıştırılması sonucu özellikleri geliştirilebilmektedir. Ancak yoğunlaştırılmış ahşap neme veya suya maruz kaldığında sıkıştırılmadan önceki başlangıç ölçülerine geri dönme eğilimi gösterir. Bu durum; suyun etkisi ile hücre çeperindeki genişleme, sıkıştırma nedeni ile malzeme yapısında oluşan iç gerilmelerin rahatlaması ve özellikle hücrenin eski şeklini geri alma eğiliminde olmasından kaynaklanmaktadır (Seborg ve ark., 1956; Kollman ve ark., 1975; Morsing, 2000). Ağaç malzemenin ölçüsel stabilitesini ve performansını artırmak için ahşabın ısı ile modifikasyonu günümüzde ticari olarak da başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Termal veya ısı işlemi, 160 °C'nin üzerinde bir sıcaklıkta ve sınırlı bir oksijen ortamında, kimyasal katkı maddeleri kullanılmadan ahşap özelliklerini geliştirmek için uygulanan bir modifikasyon tekniğidir (Tomiaainen ve ark., 2021). Termal işlemin sonucu olarak, ahşabın denge rutubet miktarı azalır ve boyutsal kararlılığı önemli derecede iyileşir (Esteves ve ark., 2007; Korkut ve Güller 2008; Aydemir ve ark., 2011; Kocaefe ve ark., 2015; Hill ve ark., 2021). Aynı zamanda, mantarlar, böcekler ve termitler gibi biyolojik organizmalara karşı çürüme direnci artar (Kamdem ve ark., 2002; Pelit ve Yalçın 2017). Diğer taraftan, ahşabın rengi homojen bir şekilde koyulaşır ve çeşitli uygulamalarda görsel olarak daha ilgi çekici olabilir (Toker ve ark., 2016; Pelit, 2017; Sivrikaya ve ark., 2019). Ancak, yüksek sıcaklıklar nedeniyle termal işlemler ahşabın mekanik direnç ve sertlik özellikleri olumsuz şekilde etkilenir (Bekhta ve Niemz, 2003; Korkut ve ark., 2008; Pelit ve Yorulmaz 2019).

Termal işlemler ahşabın harici etkilere karşı renk stabilite direnci normal ahşaptan daha iyidir (Aydemir ve Gündüz, 2009). Ancak, termal işlemler ahşapta çeşitli çevresel faktörlerden etkilenmekte ve özellikle yaşlanma performansı düşmektedir. Bu nedenle, termal işlemler ahşabın koruyucu bir üst yüzey gereği ile

muamele edilmesi kazandırılmış özelliklerini daha uzun süre muhafaza etmesi açısından önemlidir (Pelit ve ark, 2023). Ahşabı korumak ve estetik değerini artırmak için vernikler ve boyalar günümüzde en sık kullanılan üstyüzey gereçlerindedir. Bunlar içerisinde ise su çözücülü sistemler düşük çevre etkileri nedeniyle daha fazla ön plana çıkmaktadır. Sunulan bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı, yoğunlaştırma ve termal işlem modifikasyonları sonrası su bazlı vernikle kaplanmış ağaç malzemenin yüzey pürüzlülük özelliklerini belirlemektir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Ağaç Malzeme

Bu çalışmada, geniş yapraklı ağaç türlerinden Doğu kayını (*Fagus sylvatica* L.) kullanılmıştır. Kayın ağacı Ordu ili Akkuş İşletme Şefliği sahasından temin edilmiştir. Taze hal rutubetteki tomruk TS ISO 3129 (2021) esaslara göre, otomatik kontrollü şerit testere makinesinde kuruma payı ve hazırlanacak test örneği ölçüleri dikkate alınarak diri odun kısımlarından kaba ölçüde kerestelere dönüştürülmüştür. Örneklerde çürük, budak, çatlak, renk ve yoğunluk farkı olmamasına dikkat edilmiştir. Örnekler, teknik kurutma ile ortalama %12 rutubete kadar kurutulmuş, daha sonra Tablo 1’de belirtilen taslak ölçülerde kesilmiştir.

Tablo 1. Örneklerin taslak ölçüleri

Sıkıştırma oranı (%)	Uzunluk-boyuna yön (mm)	Genişlik-teğet yön (mm)	Kalınlık-radyal yön (mm)
Kontrol	450	95	10
20	450	95	12.5
40	450	95	16.7

Yoğunlaştırma işlemi öncesinde örnekler 20 ± 2 °C sıcaklıkta ve bağıl nemi $\%65\pm 3$ olan iklimlendirme kabiniinde değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilmiştir. İklimlendirme sonrası meydana gelebilecek rutubet değişikliklerini önlemek için örnekler, yoğunlaştırma anına kadar plastik poşetler içerisinde muhafaza edilmiştir.

Yoğunlaştırma

Örneklerin yoğunlaştırılmasında, tabla ebatları 60×60 cm² olan sıcaklık ve basınç kontrolü yapılabilen özel tasarlanmış hidrolik bir pres kullanılmıştır. Yoğunlaştırma işlemi, 110 ± 5 °C ve 150 ± 5 °C sıcaklıkta, %20 ve %40 hedef sıkıştırma oranında 4 farklı varyasyon oluşturularak yapılmıştır. Pres tablasına yerleştirilen örnekler ilk olarak, her iki yüzeyi pres tablasına temas edecek şekilde hafif bir basınç altında tutulmuş ve dijital ısı ölçerle kontrol edilerek örneklerin iç sıcaklığı hedef sıcaklık değerine ulaşınca kadar bu pozisyonda bir

süre bekletilmiştir. Daha sonra 30 mm/dak. yükleme hızında örneklerin radyal yönde sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Hedeflenen sıkıştırma kalınlığını (10 mm) elde edebilmek için belli aralıklarla pres tablasına metal stoplama çitaları yerleştirilmiştir (Pelit, 2014). Yoğunlaştırılan örnekler 10 dakika süre ile basınç altında tutulmuş ve bu sürenin sonunda presten alınarak, geri esneme (spring-back) etkisini en aza indirmek amacı ile ortalama 5 kg/cm²'lik basınç altında oda sıcaklığına kadar soğuması sağlanmıştır.

Termal İşlem

Deney örneklerinde boyutsal stabiliteyi sağlamak amacı ile termal işlemler uygulanmıştır. Termal işlem uygulaması, ThermoWood Handbook (2003)'de tanımlanan metoda göre üç aşamada (yüksek sıcaklıkta kurutma, termal işlem, soğutma ve kondisyonlama) gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ısı ve su buharı kullanılarak fırın sıcaklığının hızlı bir şekilde artırılması ile yaklaşık %0 rutubete kadar kurutulmuş olan örneklere ikinci aşamada, hedeflenen üç farklı sıcaklıkta (190 °C, 200 °C ve 210 °C) iki saat süre ile termal işlem uygulanmıştır. Üçüncü aşamada ise sıcaklık düşürülüp su spreyi kullanılarak örneklerin rutubet miktarının yaklaşık %4-6'ya ulaşması sağlanmıştır.

Termal işlem sonrası ahşap örnekler düzgün bir şekilde istiflenerek 3 hafta süre ile 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında dinlendirilmiştir. Ardından örnekler 80×80×10 mm (boyuna yön×teğet yön×radyal yön) ölçülerinde ve her bir test değişkeni için 8 tekrarlı olacak sayıda kesilmiştir. Kesilen örnekler, TS ISO 13061-1 (2021)'e göre 20±2 °C sıcaklıkta ve bağıl nemi %65±3 olan iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir. Daha sonra örnek yüzeyleri sırası ile 150 ve 180 kum zımpara ile zımparalanmış ve basınçlı hava ile tozları alınarak verniklemeye hazır hale getirilmiştir.

Vernik

Deney örneklerinin verniklenmesinde nano teknoloji ile üretilen, akrilik kopolimer esaslı ve parlak özellikteki tek bileşenli su bazlı ahşap verniği kullanılmıştır. Vernik uygulaması dolgu katı ve son kat şeklinde gerçekleştirilmiştir. Verniklere ait bazı teknik özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Verniklere ait bazı teknik özellikler

Vernik	pH derecesi	Yoğunluk (g/cm ³)	Uygulama viskozitesi (sn/DIN Cup 4mm/20 °C)	Uygulanacak vernik miktarı (g/m ²)	Katı madde miktarı (%)
Dolgu verniği	8,1	1,11	18	70	34,2
Son kat vernik	8,1	1,13	18	65	26,9

Vernik uygulamalarında ASTM-D 3023-98 (2017) esaslarına uyulmuştur. Vernik uygulamaları 0,8 mm

uç açıklı püskürtme tabancası ile örnek yüzeylerinden yaklaşık 20 cm uzaklıkta ve 1-1,5 bar hava basıncı ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel örnekler yüzeylerine dolgu verniği uygulaması üretici firma önerisine göre birer saat aralıkla üç kat gerçekleştirilmiştir. 24 saat beklendikten sonra lif kabarmalarını gidermek ve yüzey düzgünlüğünü sağlamak için 280 kum zımpara ile örnek yüzeyleri zımparalanıp tozları basınçlı hava ve yumuşak kıllı bir fırça yardımı ile alınmıştır. Son kat vernik uygulaması katı madde oranı ve üretici firma önerisi dikkate alınarak birer saat aralıkla üç kat gerçekleştirilmiştir. Vernik katmanlarında tam kurumanın sağlanması için deneysel örnekler yer düzlemine paralel konumda ve oda sıcaklığında üç hafta süre ile bekletilmiştir.

Pürüzlülük Ölçümü

Yüzey pürüzlülük ölçümleri TS EN ISO 21920-2 (2022) esaslarına uyularak, ardışık profil değişikliklerini ölçebilen TIME TR-200 dokunmalı (iğneli) yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır (Şekil 1). Ahşap yüzey pürüzlülüğünün sayısal ifadesinde genellikle R_a , R_y ve R_z parametreleri kullanılır. Bu çalışmada yüzey pürüzlülük değerleri R_a parametresine göre belirlenmiştir. R_a parametresi profil sapmalarının mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Pürüzlülük ölçüm cihazı 2,5 mm ölçme adımı ve 5 ölçme sayısına (cut-off) ayarlandıktan sonra, ölçümler vernikleme öncesi ve sonrasında her örneğin iki ayrı noktasında liflere dik yönde yapılmış ve aritmetik ortalamaları tek değer olarak kaydedilmiştir.



Şekil 1. Ahşap örneklerde pürüzlülük ölçümü.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel değerlendirmelerde MSTAT-C 2.1 yazılımı kullanılmıştır. Verniklenmiş kayın örneklerin pürüzlülük özelliklerine yoğunlaştırma ve termal işlemin etkisini belirlemek için 0,05 önem düzeyinde varyans analizi yapılmıştır. Ayrıca, Duncan testi ile ortalama değerler arasındaki fark karşılaştırılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Termo-mekanik yöntemle yoğunlaştırılıp termal işlem uygulandıktan sonra su bazlı vernikle kaplanan Doğu kayını örneklerinin yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Kayın örneklerinin yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi sonuçları

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P≤0,05
Yoğunlaştırma (A)	4	9,210	2,303	23,9991	0,0000*
Termal işlem sıcaklığı (B)	2	42,677	21,338	222,4041	0,0000*
Etkileşim (AB)	8	2,070	0,259	2,6966	0,0076*
Vernik uygulaması (C)	1	334,228	334,228	3483,5665	0,0000*
Etkileşim (AC)	4	6,593	1,648	17,1793	0,0000*
Etkileşim (BC)	2	9,250	4,625	48,2059	0,0000*
Etkileşim (ABC)	8	1,360	0,170	1,7720	Ns
Hata	210	20,148	0,096		
Toplam	239	425,536			

*: 0,05'e göre önemli, Ns: Önemsiz

Varyans analizi sonucuna göre, örneklerin yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde yoğunlaştırma-termal işlem-vernik uygulaması üçlü etkileşimi önemsiz diğer faktörler ve bunların karşılıklı etkileşimleri önemli bulunmuştur (P≤0,05). Yoğunlaştırma koşulu, ısıl işlem sıcaklığı ve vernik uygulaması düzeyinde gerçekleştirilen Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

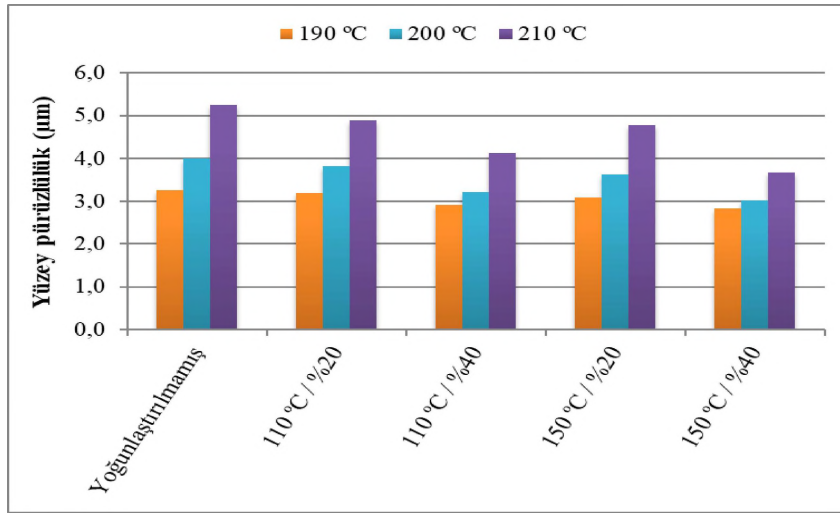
Tablo 4. Yoğunlaştırma, termal işlem ve vernik uygulamasına ilişkin pürüzlülük değerleri Duncan testi karşılaştırmaları

Yoğunlaştırma	OD (µm)	HG	
Yoğunlaştırılmamış	2,772	A*	
110 °C / %20	2,679	AB	LSD
110 °C / %40	2,369	C	± 0,1247
150 °C / %20	2,600	B	
150 °C / %40	2,247	C	
Termal işlem sıcaklığı	OD (µm)	HG	
190 °C	2,080	C	LSD
200 °C	2,425	B	± 0,09657
210 °C	3,095	A*	
Vernik uygulaması	OD (µm)	HG	
Verniksiz	3,713	A*	LSD
Vernikli	1,353	B	± 0,07885

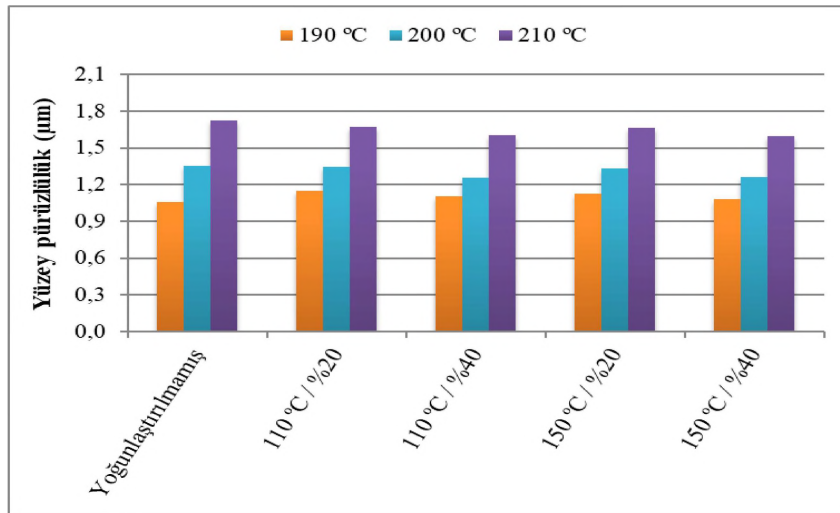
OD: Ortalama değer, HG: Homojenlik gurubu, *: En yüksek pürüzlülük değeri

Tablo 4 sonuçlarına göre; yoğunlaştırma düzeyinde yüzey pürüzlülük değeri en yüksek yoğunlaştırılmamış örneklerde (2,772 µm), en düşük ise 110 ve 150 °C'de %40 oranında yoğunlaştırılmış örneklerde (sırası ile 2,369 µm ve 2,247 µm) belirlenmiştir. Yoğunlaştırma sonrası hem verniksiz hem de vernik uygulanmış örneklerin yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. %20 sıkıştırma oranına göre %40 sıkıştırma

oranında daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3). Bu durum, yoğunlaştırma sonrası ahşap örneklerin hücreler arası boşluklarının azalması sonucu daha sıkı ve homojen bir yapıya dönüşmüş olması ile açıklanabilir (Pelit, 2014). Önceki benzer çalışmalarda da, yoğunlaştırma işlemlerinden sonra ağaç malzemenin yüzey pürüzlülüğünün azaldığı belirtilmiştir (Arruda ve Del Menezzi, 2013; İmirzi ve ark., 2014; Pelit ve Arısüt 2023). Ayrıca, sıkıştırma sıcaklığı artışı ile örneklerin pürüzlülük değerleri azalma eğilimi göstermiştir. 150 °C’de yoğunlaştırılan örneklerde genel olarak daha düşük pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Verniksiz örneklerde bu durum daha belirgindir (Şekil 2 ve Şekil 3). Bu sonuçlar, düşük sıcaklıkta (110 °C) yoğunlaştırılan örneklerin sıkıştırma aşamasında yeterince yumuşatılmaması ve bu nedenle pres basıncının etkisi ile hücre yapısında oluşan hasarın (kırılma, çatlama, çökme v.b.) daha fazla olmasından kaynaklanabilir (Pelit, 2014; Budakçı ve ark., 2016).



Şekil 2. Verniksiz kayın örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri



Şekil 3. Vernikle kaplanmış kayın örneklerin pürüzlülük değerleri

Termal işlem sıcaklığı düzeyinde pürüzlülük değeri en yüksek 210 °C sıcaklıkta termal işlem uygulanmış örneklerde (3,095 µm), en düşük ise 190 °C sıcaklıkta termal işlem uygulanmış örneklerde (2,080 µm) elde edilmiştir (Tablo 4). Termal işlem sıcaklığı artışına bağlı olarak tüm örneklerin (verniksiz ve vernikli) yüzey pürüzlülük değeri artmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3). Sonuçlar üzerinde vernikleme öncesi yapılan zımparalama işlemlerinin etkili olduğu söylenebilir. Zira termal işlem sonucu yapısal hasar ve kütle kayıpları meydana gelen örneklerde yapılan zımparalama işlemlerinin, termal işlem sıcaklığı artışına bağlı olarak daha fazla deformasyona neden olduğu gözlenmiştir. Bu durumun yüzey kalitesinin düşmesinde ve pürüzlülüğün artmasında etkili olduğu söylenebilir. Önceki bir çalışmada; termal işlem uygulamasından sonra, sıcaklık artışına bağlı olarak ağaç malzemenin aşınma direncinde önemli ölçüde azalma olduğu belirtilmiştir (Sefil, 2010).

Vernik uygulamasına ilişkin, yüzey pürüzlülük değeri verniksiz örneklerde yüksek (3.713 µm), vernikli örneklerde ise daha düşük (1,353 µm) belirlenmiştir (Tablo 4). Vernik uygulamasından sonra tüm örneklerin yüzey pürüzlülük değeri azalmıştır. Verniksiz örneklere göre, vernikle kaplanmış örneklerin yüzey pürüzlülük değerinde %68'e kadar azalma gerçekleşmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, termo-mekanik yoğunlaştırma ve termal işlem modifikasyonları sonrası su bazlı vernik uygulanmış kayın (*Fagus sylvatica* L.) odununun yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Yoğunlaştırma işlemlerinden sonra örneklerin yüzey pürüzlülüğü %30'a kadar azalmıştır. Hem verniksiz hem de vernikle kaplanan örneklerde, %20 sıkıştırma oranına göre %40 sıkıştırma oranında daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, 110 °C'de yoğunlaştırılan örneklere göre 150 °C'de yoğunlaştırılan örneklerde genel olarak daha düşük pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Termal işlem sıcaklığı artışına bağlı olarak tüm örneklerin pürüzlülük değeri artmıştır. 190 °C'ye göre 210 °C'de termal işlemlenmiş örneklerin pürüzlülüğü %61'e kadar artmıştır. Diğer taraftan, vernik uygulamasından sonra verniksiz örneklere göre yüzey pürüzlülüğü %68'e kadar azalmıştır.

Açıklama: Bu çalışma, Dr. Hüseyin PELİT tarafından hazırlanan “Yoğunlaştırma ve Isıl İşlemin Doğu Kayını ve Sarıçamın Bazı Teknolojik Özellikleriyle Üstyüzey İşlemlerine Etkisi” başlıklı Doktora Tezinden üretilmiştir.

KAYNAKÇA

- Arruda, L. M., and Menezzi, C. H. S. Del. (2013). "Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers," *International Wood Products Journal* 4(4), 217-224.
- ASTM D3023-98, (2017). *Standard Practice for Determination of Resistance of Factory-Applied Coatings on Wood Products to Stains and Reagents*, American Society for Testing and Materials.
- Aydemir, D., Gündüz, G. (2009). Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(15), 61-70.
- 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.
- 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.
- Budakçı, M., Pelit, H., Sönmez, A., and Korkmaz, M. (2016). "The effects of densification and heat post-treatment on hardness and morphological properties of wood material," *BioResources* 11(3), 7822-7838.
- Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I., and Pereira, H. (2007). "Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood," *Wood Science and Technology* 41, 193-207.
- Finnish Thermowood Association (2003). *ThermoWood Handbook*, FIN-00171, Helsinki, Finland
- Hill, C., Altgen, M., and Rautkari, L. (2021). "Thermal modification of wood—A review: Chemical changes and hygroscopicity," *Journal of Materials Science* 56, 6581-6614.
- İmirzi, H. Ö., Ülker, O., Burdurlu, E. (2014). Effect of densification temperature and some surfacing techniques on the surface roughness of densified Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *BioResources*, 9(1), 191-209.
- Kamdern, D. P., Pizzi, A., and Jermannaud, A. (2002). "Durability of heat-treated wood," *Holz als Roh- und Werkstoff* 60(1), 1-6.
- 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., Stamm, A. J. (1975). *Principles of wood science and technology*, Wood based materials, Springer-Verlag, Volume II, Pages 139-149.
- Korkut, D. S., and Guller, B. (2008). "The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood," *Bioresource Technology* 99(8), 2846-2851.
- Korkut, S., Kok, M. S., Korkut, D. S., and Gurleyen, T. (2008). "The effects of heat treatment on technological properties in red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood," *Bioresource Technology* 99(6), 1538-1543.
- Morsing, N. (2000). *Densification of Wood: The Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to the Grain*, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, Department of Structural Engineering and Materials.
- Pelit, H. (2014). *Yoğunlaştırma ve Isıl İşlemin Doğru Kayını ve Sarıçamın Bazı Teknolojik Özellikleri Üstüzyüz İşlemlerine Etkisi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Pelit, H. (2017). "The effect of different wood varnishes on surface color properties of heat treated wood materials," *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 67(2), 262-274.
- Pelit, H., Arısüt, U. (2023). Roughness, wettability, and morphological properties of impregnated and densified wood materials. *BioResources*, 18(1), 429-446.

Pelit, H., Koc, E., Cakicier, N. (2023). Adhesion strength and pendulum hardness of some coatings in wood heat-treated by different methods. *BioResources*, 18(4), 7353.

Pelit, H., and Yalçın, M. (2017). “Resistance of mechanically densified and thermally post-treated pine sapwood to wood decay fungi,” *Journal of Wood Science* 63(5), 514-522.

Pelit, H., and Yorulmaz, R. (2019). “Influence of densification on mechanical properties of thermally pretreated spruce and poplar wood,” *BioResources* 14(4), 9739-9754.

Sandberg, D., Navi, P. (2007). *Introduction to Thermo-Hydro-Mechanical (THM) Wood Processing*, Report No: 30, ISSN: 1652-8433, Växjö University, Sweden.

Seborg, R. M., Millett, M. A., Stamm, A. J. (1956). *Heat-Stabilized Compressed Wood (Staypak)*, Forest Products Laboratory Report No: 1580 (revised), Madison.

Sefil, Y. (2010). *ThermoWood Yöntemiyle Isıl İşlem Uygulanmış Göknar ve Kayın Odunlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.

Sivrikaya, H., Tesařová, D., Jeřábková, E., and Can, A. (2019). “Color change and emission of volatile organic compounds from Scots pine exposed to heat and vacuum heat treatment,” *Journal of Building Engineering* 26, article ID 100918.

Toker, H., Baysal, E., Kotekli, M., Turkoglu, T., Kart, S., Sen, F., and Peker, H. (2016). “Surface characteristics of Oriental beech and Scots pine woods heat-treated above 200 °C,” *Wood Research* 61(1), 43-54.

Torniainen, P., Jones, D., and Sandberg, D. (2021). “Colour as a quality indicator for industrially manufactured ThermoWood,” *Wood Material Science and Engineering* 16(4), 287-289.

TS EN ISO 21920-2, (2022). *Geometrik ürün özellikleri (GPS) - Yüzey yapısı: Profil - Bölüm 2: Terimler, tanımlar ve yüzey yapısı parametreleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-1, (2021). *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 3129, (2021). *Odun - Küçük kusursuz odun numunelerinin mekanik ve fiziksel muayenesi için genel gerekler ve numune alma yöntemleri*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.