



Silindirik yoğunlaştırmada sıvama makarası kullanımı; masif ağaçta (Karaçam) yoğunlaştırılma sonrası sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değişimi

Zafer Kaya¹ , Sait Dündar Sofuoğlu^{2*} 

Öz

Ağaç malzemeler birçok olumlu özelliğe sahip olmasından dolayı geçmişten günümüze her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özelliklerini iyileştirmek, kullanım alanlarının yaygınlaşmasını ve doğal olan bu malzemenin daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır. Ağaç malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalardan birisi de yoğunlaştırma işlemidir. Yoğunlaştırma işlemleri, ağaç malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin yoğunlaştırılması çeşitli metotlar kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada silindir şeklindeki tornalanmış karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaç türünün yoğunlaştırılması bu amaç için tasarlanarak imalatı yapılmış olan sıvama makarası kullanılarak torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. 0.081, 0.121 ve 0.202 mm/devir ilerleme miktarlarında, 200 ve 400 devir/dakika devir sayılarında, 0.5 ve 1 mm yüzey yoğunlaştırma derinliklerinde yoğunlaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yoğunlaştırma yapılmamış ve çeşitli yoğunlaştırma koşullarında yüzeyleri yoğunlaştırılmış silindir şeklindeki masif ağaç malzemelerde sertlik, parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm yoğunlaştırma koşullarında sertlik ve parlaklık değerlerinde artış, pürüzlülük değerlerinde (R_z) düşme meydana gelmiştir. En yüksek sertlik ve parlaklık değerleri 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 200 devir/dakika devir sayısı ve 0.121 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir. En düşük R_z değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 400 devir/dakika devir sayısı ve 0.081 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Parlaklık, pürüzlülük, sertlik, yoğunlaştırma, sıvama makarası

Use of spinning roller in cylindrical densification; change in hardness, brightness, and surface roughness in solid wood (Larch) after densification

Abstract

Wooden materials have been widely used in all areas from the past to the present, as they have many positive properties. Improving its properties enables the usage areas to become widespread and this natural material to be preferred more. One of the studies carried out in order to improve the properties of wood material is the densification process. Densification processes are used to improve the physical and mechanical properties of wood material. Densification of wood material can be carried out using various methods. In this study, the intensification of the cylindrical turned larch (*Pinus nigra* Arnold) tree species was carried out on a lathe using a spinning roller designed and manufactured for this purpose. Densification processes were carried out at 0.081, 0.121 and 0.202 mm/rev feed rates, at 200 and 400 rev/min, at 0.5 and 1 mm densification depths. Hardness, gloss and roughness measurements were carried out on solid wood materials in the form of cylinders, which were not densified and their surfaces were densified under various densification conditions. An increase in hardness and brightness values and a decrease in roughness values (R_a and R_z) occurred under all densification conditions. The highest hardness and gloss values were obtained at 1 mm densification depth, 200 rpm rotational speed and 0.121 mm/revolution feed rate. The lowest R_z value was obtained at 1 mm densification depth, 400 rpm rotational speed and 0.081 mm/revolution feed rate.

Keywords: Brightness, roughness, hardness, densification, spinning roller

Makale tarihçesi: Geliş:06.03.2023, Kabul:16.04.2023, Yayınlanma:30.06.2023, *e-posta: sdundar.sofuoğlu@dpu.edu.tr.

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Bölümü, Kütahya/Türkiye

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fak., Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Simav, Kütahya/Türkiye.

Atıf: Kaya, Z., Sofuoğlu, S.D., (2023), Silindirik yoğunlaştırmada sıvama makarası kullanımı; masif ağaçta (Karaçam) yoğunlaştırılma sonrası sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değişimi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (1), 14-25, DOI: 10.33725/mamad.1260723

1 Giriş

Yapılan araştırmalar neticesinde ahşap malzemelerin olumsuz özelliklerini ortadan kaldırmak amacıyla Ahşap Modifikasyon Yöntemleri bulunmuştur. Örneğin kimyasallarla ve koruyucularla empenye işlemi, ısı işlem uygulamaları ve yoğunlaştırma işlemleri en çok kullanılanlardır (Şenol ve Budakçı, 2016; Şenol, 2018).

Ağaç malzeme özelliklerinin yeterli olmadığı durumlardan bazıları; dayanıklılık, sertlik ve direnç istenilen çalışma şartları olabilmektedir. Bu durumda yoğunluğu artırılmış ağaç diğer malzemeler için bir seçenek haline gelebilir (Homan ve ark., 2000; Blomberg ve Persson, 2004; Kutnar ve Šernek, 2007; Laine ve ark., 2013; Laine, 2014; Luan ve ark. 2022; Pelit ve ark., 2014). Yoğunluk ağaç malzemede mekanik özelliği etkileyen bir faktördür (Blomberg ve Persson, 2004; Jakob ve ark, 2022; Kamke, 2006; Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit ve ark., 2014; Rautkari, 2012; Luan ve ark., 2023). Yoğunlaştırma işlemi ile ağaç malzemede sertlik ve mekanik özelliklerde artma meydana geldiği için bu alanda pek çok denemeler ve araştırmalar bulunmaktadır (Blomberg ve Persson, 2004; Tosun ve Sofuoğlu, 2021; Sofuoğlu, 2022; Sofuoğlu ve ark., 2022; Budakçı ve ark., 2022). Düşük yoğunluklu ağaç malzemelerde çeşitli yoğunluk artırma yöntemleri kullanılarak yoğunluk artışı sağlanabilmektedir (Blomberg ve ark., 2005; Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit ve ark., 2014).

Çevre bilincinin arttığı son yıllarda çevreye dost kimyasal içermeyen yoğunlaştırma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (Korkut ve Kocaefe, 2009; Şenol ve Budakçı, 2016). Bu yöntemlere örnek olarak, Termo-Mekanik olarak bilinen, açık bir sistemde sıcaklık ve basınç kullanılarak yoğunlaştırma ve Termo-Hidro-Mekanik olarak isimlendirilen kapalı bir sistemde sıcaklık, basınç ve buhar kullanılarak yoğunlaştırma gösterilebilir. Bunlara ek olarak Viskoelastik-Termal-Sıkıştırma ismiyle anılan buhar ile ön yumuşatma sonrası sıcaklık ve basınç ile yapılan yoğunlaştırma ve Termo-Vibro-Mekanik ismiyle anılan sıcaklık, basınç ve titreşim kullanılarak yapılan yoğunlaştırma gibi yöntemler de vardır (Şenol ve Budakçı, 2016; Şenol, 2018).

Tornalanmış, silindir şeklindeki masif ağaç malzemeler inşaat, mobilya, alet sapları vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle düşük yoğunluktaki ağaç malzemeler kullanıldığında yoğunlaştırma ile fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileştirmeler meydana gelebilecek çeşitli üst yüzey işlemleri uygulandığında pürüzlülük, parlaklık ve renk vb. özelliklerde kalitede yükselmeler meydana gelebilecektir. Literatür incelendiğinde ağaç malzemenin özelliklerini iyileştiren yoğunlaştırma işleminin, preslerde prizmatik parçalara uygulandığı ancak silindir şeklindeki masif ağaç malzemelerin yoğunlaştırılması ile ilgili çalışmalara rastlanılmamıştır.

Bu amaç doğrultusunda; yapılan çalışma ile ülkemizde doğal olarak yetişen ve ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde sıklıkla kullanılan karaçam ağaç türünün çeşitli koşullarda yüzey yoğunlaştırılması yapılmıştır. Yoğunlaştırıldıktan sonra kullanım yerleri için önemli olan yüksek sertlik ve parlaklık ve düşük pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi ile silindirik malzemelerde en uygun yoğunlaştırma koşullarının elde edilmesi amaçlanmıştır.

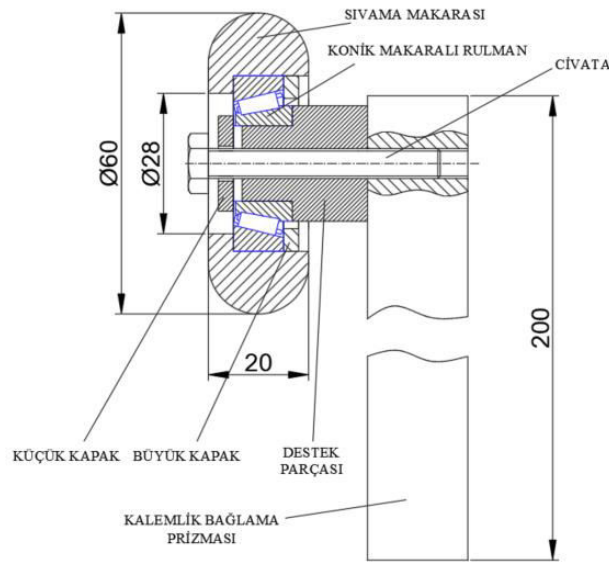
2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışmada, Türkiye’de doğal olarak yetişen ve geniş kullanım alanı bulunan, iğne yapraklı ağaç türlerinden karaçam (*Pinus nigra* Arnold) deney materyali olarak kullanılmıştır. Numuneler tomruk halinde Kütahya’nın Emet ilçesinde yetişen (yaş= 40, tomruk çapı:70 cm) olan ağaç türünün diri odun kısmından elde edilmiştir. Tomruktan kereste haline getirildikten sonra doğal kurutmaya bırakılan numuneler, sonrasında iklimlendirme dolabında %12 rutubet

derecesine ulaşması için % 65 ± 5 bağıl nemde 20 ± 2 °C’de ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilmiştir.

Yoğunlaştırma çalışmaları için tasarlanarak imalatı yapılmış sıvama makarasının baskı işlevini yerine getiren ana makara elemanı DIN EN AISI 1.0402 C22 – 1020 standardında malzemeden üretilmiş ve ısıl işleme tabi tutularak sertleştirilmiştir. Makara, yoğunlaştırılacak ağaç malzemenin tornalama eksenine dik ve yoğunlaştırma eksenini yönündeki oluşacak kuvvetleri karşılayabilecek özelliklerde 302/30202-A kod numarasıyla standartlaştırılmış konik makaralı rulman kullanılarak yataklanmıştır. Üretilen diğer montaj parçaları ve torna tezgahının kalemlik tarafına bağlanan prizmatik parça ise yine DIN EN AISI 1.0402 C22 – 1020 standardında sertleştirilmemiş çelik malzemeler kullanılarak üretilmiştir. Üretilen parçalar birleştirilerek bir montaj seti halinde yoğunlaştırma işlemleri için kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Sıvama makarası montaj seti

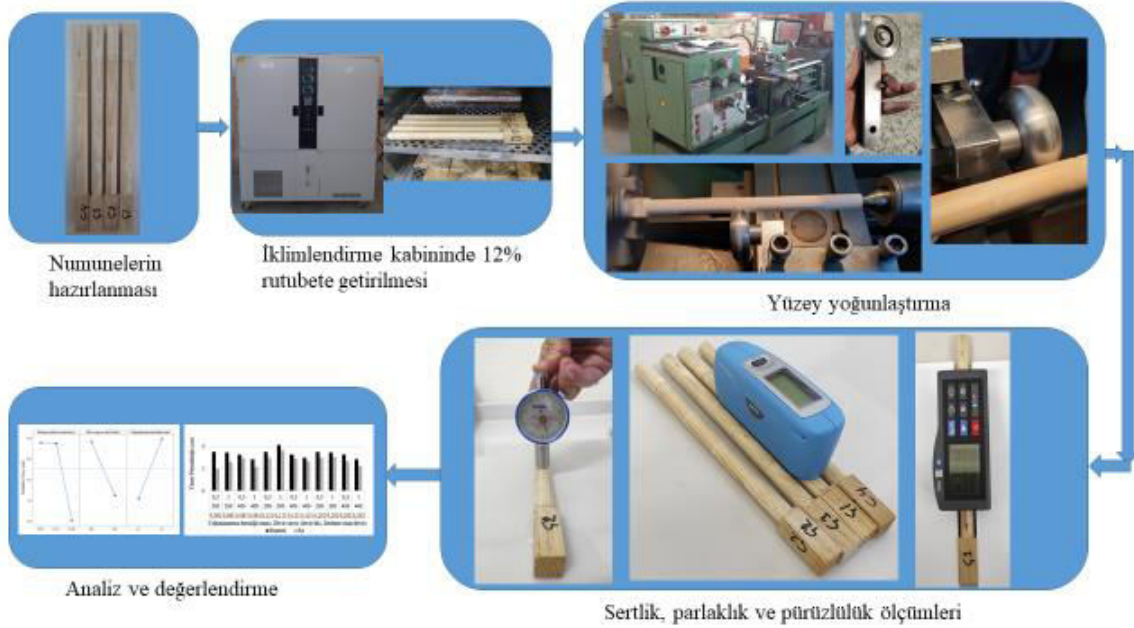
Yoğunlaştırma işlemleri Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Atölyesi’nde bulunan TOS GALANTA SUIL 40A torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir.

2.2 Metot

Deney numuneleri, universal torna tezgahında işlemeye uygun hale getirmek ve klimatize dolabında bekletilebilmesi için ilk olarak 2×2×30 cm ölçülerinde kesilmiştir. Daha sonra numuneler torna tezgahında ortalama 1.9 cm çapta silindir hale getirilmiştir. Dış çap tornalama işleminden sonra bir kanal tornalama kalemi ile her bir deney numunesi üzerinde 5 bölümden oluşan kademelendirme yapılmıştır. Bu kademelendirmelerde parçanın uç ve dip kısımlarında birer kontrol bölgesi oluşturulmuş diğer üç kademe ise deney parametrelerinin gerçekleştirileceği bölümler olarak ayarlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri 20 ± 2°C sıcaklık ve %65 ± 5 nisbi rutubette klimatize dolabında ağırlığı sabit olana kadar 15 gün boyunca tekrardan bekletilerek yoğunlaştırma öncesi rutubet miktarının %12 ± 2’ ye gelmesi sağlanmıştır. Deneylerde yoğunlaştırma parametreleri ve düzeyleri Çizelge 1’deki gibi belirlenmiş ve deneyler yapılmıştır. Çalışmanın deneysel yöntem akış şeması Şekil 2’de verilmektedir.

Çizelge 1. Yoğunlaştırma işleminde işleme parametreleri, düzeyleri ve değerleri

Parametreler	Düzye 1	Düzye 2	Düzye 3
İlerleme miktarı (mm/devir)	0.081	0.121	0.202
Devir sayısı (devir/dakika)	200	400	
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	0.5	1	



Şekil 2. Deneysel yöntem akış şeması

Numunelerin yüzey sertliklerinin ölçümünde Tronic marka Shore D sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Pandüllü sertlik ölçme cihazı ve Durometer ile yapılan sertlik ölçümlerinde yaklaşık sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir ve bu iki metodun ahşap malzemelerin sertlik ölçümlerinde kullanılmaları tavsiye edilebilir (Sofuoğlu ve Yeşil, 2016). Bu yöntemde belli kuvvet ile ahşap numuneye batırılan iğnenin derinliği ölçülerek ahşabın göreceli sertlik derecesinin tayini yapılmaktadır. Ucun gerisinde bulunan yay malzemenin sertliğine göre gerilmekte ve yayın gerilmesine bağlı olarak ahşabın sertliği belirlenebilmektedir.

Çalışmada 60° de Glossmetre kullanılarak parlaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 60°'de hem mat hem parlak yüzeylerde ölçüm yapıldığında çok fazla hata yapılmamış sayılır (Özen ve Sönmez, 1990). Glossmetrede pencerenin birinden yüzeye ışık gönderilir, diğer alıcı penceresinden yüzeyden yansıyan ışık alınarak kaydedilir. TS 4318 EN ISO 2813'de belirtilen esaslara göre ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada BYK Gardner marka Micro-TRI-gloss μ (Glossmetre) parlaklık ölçme cihazı kullanılmıştır.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri her bir numunede liflere paralel yönde 3 farklı noktadan elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük parametreleri (R_a ve on nokta pürüzlülüğü ortalama değeri R_z) ISO 468 (ISO 1982), ISO 3274 (ISO 2017) ve ISO 4287 (ISO 2015)' e göre belirlenmiştir. Ölçümlerin gerçekleştirilmesinde Time TR200 (Time Group Inc., China) marka ve model cihaz ile iğne taramalı yöntem kullanılmıştır. Örnekleme uzunluğu 0.25 mm olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri $\pm 0.01 \mu m$ hassasiyetle ölçülmüştür. Prob hızı 10 mm/dk, ölçüm iğnesinin çapı 4 μm ve iğne ucu 90° olarak seçilmiştir. Ölçüm ortamının 18-22

°C civarında ve titreşimsiz olmasına özen gösterilmiştir. Alet, ölçümden önce kalibre edilmiş ve kalibrasyon 10 ölçümden bir kontrol edilmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Bu gruplara ait verilere ANOVA yapılmıştır. ANOVA sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

İlerleme miktarı (mm/devir)	Devir sayısı (devir/dak.)	Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Sertlik (Shore D)		Parlaklık (GU)	
			Kontrol	Yoğunlaştırılmış	Kontrol	Yoğunlaştırılmış
0.081	200	0.5	54.83	58.63	2.33	3.57
0.081	200	1	51.25	61.00	2.68	3.67
0.081	400	0.5	50.92	58.43	2.50	2.93
0.081	400	1	48.74	57.88	3.00	3.34
0.121	200	0.5	54.83	61.57	2.33	2.97
0.121	200	1	51.25	68.57	2.68	3.97
0.121	400	0.5	50.92	54.63	2.50	3.23
0.121	400	1	48.74	58.00	3.00	3.33
0.202	200	0.5	54.83	58.89	2.33	2.97
0.202	200	1	51.25	64.75	2.68	3.13
0.202	400	0.5	50.92	55.38	2.50	2.98
0.202	400	1	48.74	58.75	2.85	2.93

İlerleme miktarı (mm/devir)	Devir sayısı (devir/dak.)	Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)			
			Kontrol		Yoğunlaştırılmış	
			Ra	Rz	Ra	Rz
0.081	200	0.5	1.760	7.708	1.000	4.850
0.081	200	1	1.729	7.528	1.300	5.355
0.081	400	0.5	1.650	7.196	1.487	6.750
0.081	400	1	1.427	6.697	1.073	4.805
0.121	200	0.5	1.760	7.708	1.500	6.400
0.121	200	1	2.070	7.528	1.833	7.333
0.121	400	0.5	1.650	7.196	1.462	5.690
0.121	400	1	1.489	6.697	1.325	5.283
0.202	200	0.5	1.760	7.708	1.507	6.490
0.202	200	1	1.729	7.528	1.530	7.066
0.202	400	0.5	1.650	7.196	1.333	6.051
0.202	400	1	1.427	6.697	1.112	5.055

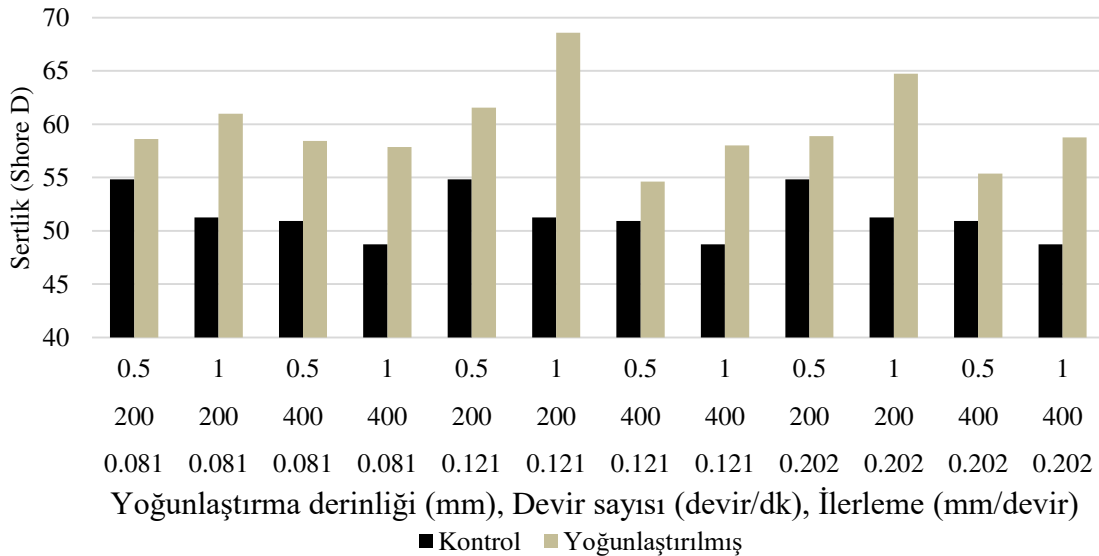
Varyans analizi sonuçlarına göre sertlik açısından %95 güven düzeyinde devir sayısı ($P=0.010<0.05$) ve yoğunlaştırma derinliğinin ($P=0.041<0.05$) etkisi anlamlı bulunmuştur. İlerleme miktarının istatistiksel anlamda etkisi bulunmamaktadır. Parlaklık ve yüzey pürüzlülük parametreleri için %95 güven düzeyinde tüm yoğunlaştırma faktörleri ($P>0.05$) anlamlı gözükmemektedir.

Çizelge 3. Yoğunlaştırma işlemi sonrası elde edilen verilerin ANOVA sonuçları

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Deney sonuçları (Sertlik)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	6.250	3.125	0.51	0.622
Devir sayısı (devir/dakika)	1	76.710	76.710	12.47	0.010
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	38.235	38.235	6.22	0.041
Hata	7	43.058	6.151		
Toplam	11		164.252		
Deney sonuçları (Parlaklık)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	0.3725	0.18626	2.93	0.119
Devir sayısı (devir/dakika)	1	0.1976	0.19763	3.11	0.121
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	0.2465	0.24653	3.88	0.089
Hata	7	0.4443	0.06347		
Toplam	11		1.2610		
Deney sonuçları (Ra)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	0.19846	0.099230	2.08	0.195
Devir sayısı (devir/dakika)	1	0.06424	0.064240	1.35	0.284
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	0.00112	0.001121	0.02	0.882
Hata	7	0.33389	0.047699		
Toplam	11		0.597718		
Deney sonuçları (Rz)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	1.4252	0.7126	0.88	0.456
Devir sayısı (devir/dakika)	1	1.2416	1.2416	1.53	0.256
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	0.1483	0.1483	0.18	0.682
Hata	7	5.6697	0.8100		
Toplam	11		8.4848		

Sertlik

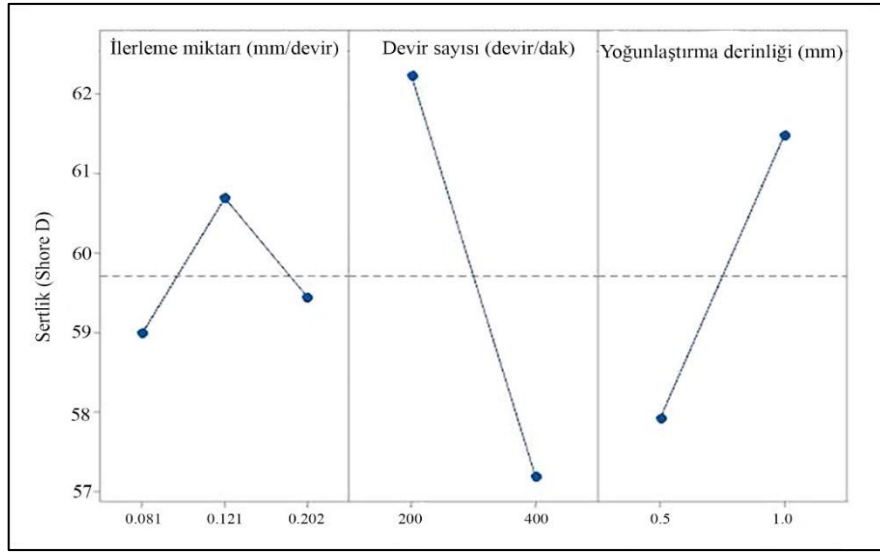
Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında sertlik sonuçları Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Kontrol ve deney koşullarında sertlik değerleri

Şekil 3'e göre tüm yoğunlaştırma koşullarında yoğunlaştırma ile sertlik değerlerinde artış meydana gelmektedir. En yüksek sertlik değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 200 devir/dakika devir sayısı ve 0.121 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir.

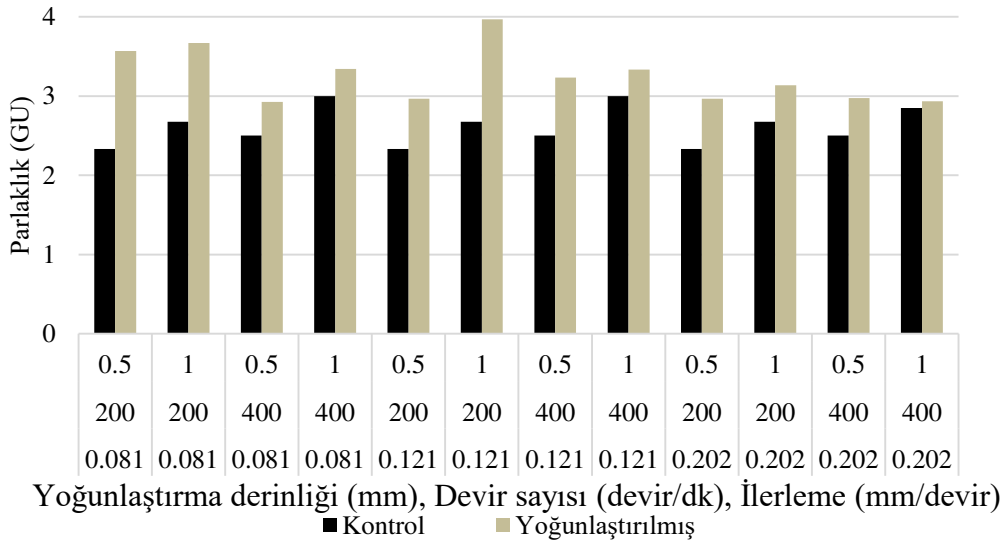
Şekil 4'te yoğunlaştırma işlemi sonrası ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ilerleme miktarı 0.081 mm/devir' den 0.121 mm/devir' e artırıldığında sertlik miktarında artma, ancak 0.202 değerine çıkarıldığında azalma meydana gelmiştir. Düşük devir sayılarında ve yüksek yoğunlaştırma miktarında yüzey sertliği daha yüksek elde edilmiştir. Literatüre göre masif ağaç malzemelerde yoğunlaştırma işlemleri sonrası sertlik değerlerinde artış meydana gelmektedir (Rautkari ve ark. 2009; Budakçı ve ark., 2016; Şenol ve Budakçı, 2016; Laskowska, 2017; Sofuoğlu, 2022).



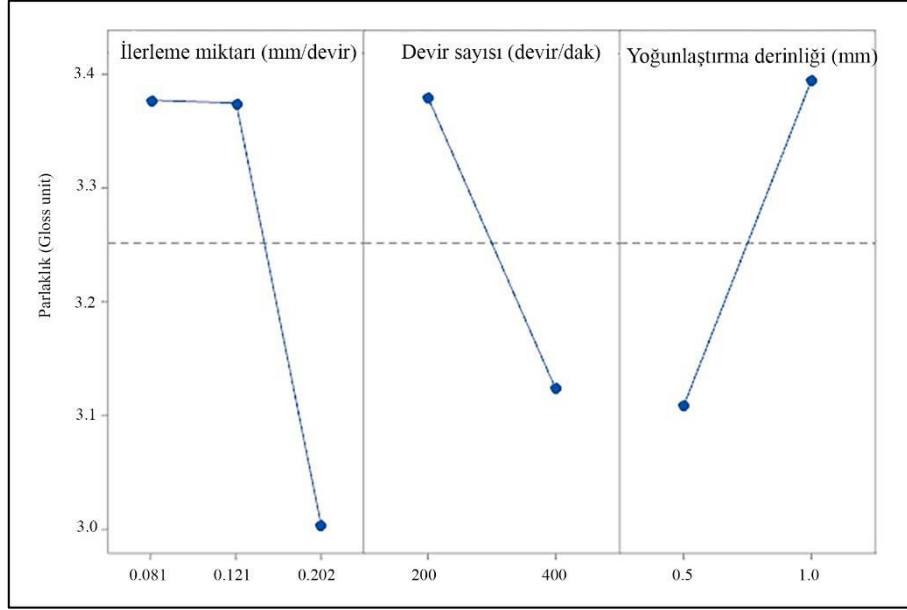
Şekil 4. Yoğunlaştırma işlemi sonrası sertlik sonuçları ana etki grafiği

Parlaklık

Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında 60° parlaklık sonuçları Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'e göre tüm yoğunlaştırma koşullarında yoğunlaştırma ile parlaklık değerlerinde artış meydana gelmektedir.



Şekil 5. Kontrol ve deney koşullarında parlaklık değerleri

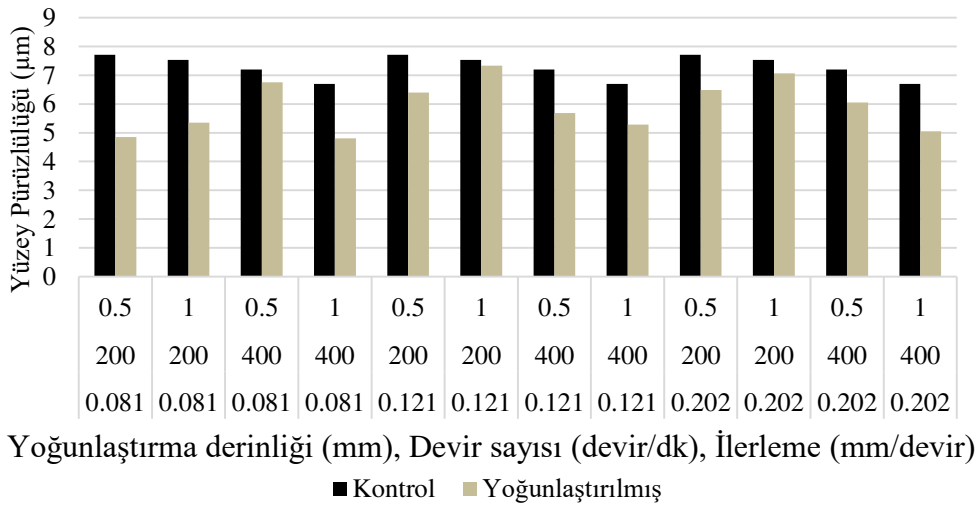


Şekil 6. Yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık sonuçları ana etki grafiği

Şekil 6'da yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ilerleme miktarı 0.081 mm/devir' den 0.121 mm/devir' e arttırıldığında parlaklık değerinde fazla bir değişme meydana gelmemiş, ancak 0.202 değerine çıkarıldığında ciddi bir azalma meydana gelmiştir. Düşük devir sayılarında ve yüksek yoğunlaştırma miktarında parlaklık değeri daha yüksek elde edilmiştir.

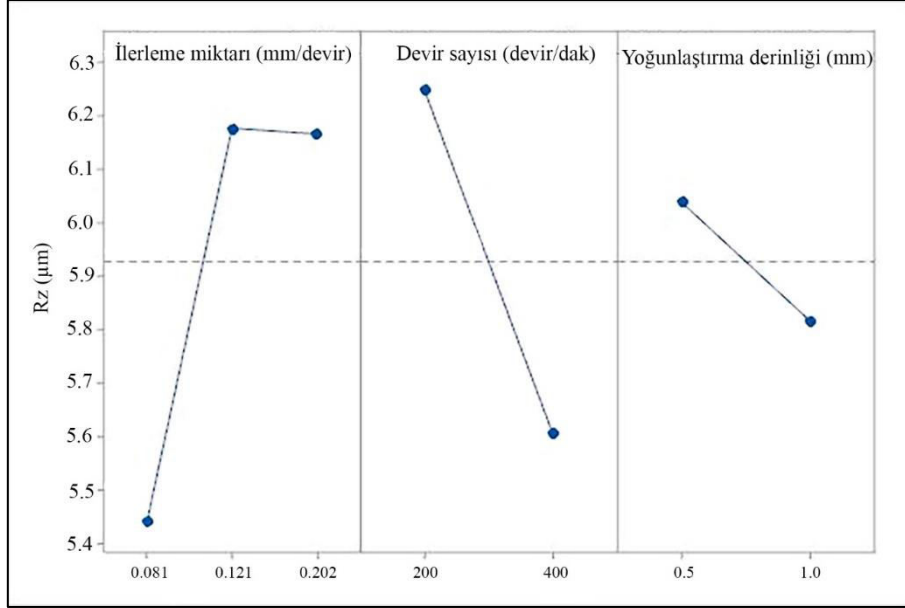
Yüzey pürüzlülüğü

Aynı deney koşullarında, yoğunlaştırma işleminin sonucunda R_a ve R_z pürüzlülük değerleri birbirleriyle benzer eğilim göstermektedir. Çalışma içerisinde daha fazla alan kaplamaması için yalnızca on nokta pürüzlülüğü ortalama değeri olan R_z karşılaştırma grafikleri bu başlık altında değerlendirilmiştir. Şekil 7'de kontrol ve yoğunlaştırma sonrasındaki R_z grafikleri görülmektedir. Kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında tüm yoğunlaştırma koşullarında pürüzlülük değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük R_z değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliğinde, 400 devir/dakika devir sayısında ve 0.081 mm/devir ilerlemede meydana gelmiştir.



Şekil 7. Kontrol ve deney koşullarında R_z pürüzlülük değerleri

Şekil 8’de R_z için ana etki grafikleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ilerleme miktarı 0.081 mm/devir’ den 0.121 mm/devir’ e artırıldığında R_z için artma meydana gelmiştir. Yüksek devir sayısı (400 devir/dakika) ve yoğunlaştırma miktarında (1 mm) daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Yoğunluğu yüksek masif ağaç ve ağaç kökenli malzemelerde daha düzgün yüzeyler elde edildiği literatürde de belirtilmiştir (Kilic ve ark., 2006; Malkoçoğlu, 2007; Malkoçoğlu ve Özdemir, 2006; Tosun ve Sofuoğlu, 2023; Zhong ve ark., 2013). Yoğunlaştırılan ağaç malzemelerde yüzey pürüzlülük değerlerinde düşme meydana gelmektedir (Pelit ve Arısüt, 2022; Sofuoğlu ve ark., 2022). Çalışmada elde edilen verilerin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Yoğunlaştırma işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü (R_z) sonuçları ana etki grafiği

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada karaçam deney materyali olarak kullanılmıştır. Torna tezgâhında çeşitli yoğunlaştırma parametreleri değiştirilerek yüzeyler yoğunlaştırılmış ve elde edilen yüzeyler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Tüm yoğunlaştırma koşullarında yoğunlaştırma ile sertlik, parlaklık değerlerinde artış, pürüzlülük (R_z) değerinde düşme meydana gelmiştir.
- En yüksek sertlik ve parlaklık değeri benzer şekilde 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 200 devir/dakika devir sayısı ve 0.121 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir.
- En düşük R_z değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliğinde, 400 devir/dakika devir sayısında ve 0.081 mm/devir ilerlemede meydana gelmiştir.
- Sıvama makarası kullanılarak silindirik masif ağaç malzemenin yoğunlaştırılmasında yüzey sertliğinde ve parlaklıkta artış meydana gelmesi ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşme/düşme elde edilmesi metodun yüzey yoğunlaştırmada kullanılabileceğini göstermektedir.
- Sıvama makarası kullanılarak silindirik masif ağaç malzemenin yüzeyinin yoğunlaştırılmasında, optimum noktalar ve sonuçlar değerlendirilerek en uygun parametreler kullanılabilir.
- Yoğunlaştırma işleminin olumsuz yönleri (anlık geri esneme, rutubet alımında ilk haline dönme isteği vb.) göz önüne alınarak literatür desteğiyle metod geliştirilebilir.

Yazar Katkıları

Zafer Kaya: Çalışma konusunun belirlenmesi, deneylerin yapılması, verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazılması. **Sait Dündar Sofuoğlu:** Çalışma konusunun belirlenmesi, Deney tasarımının yapılması, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazılması.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- 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., Persson, B., Blomberg, A., (2005), Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density, *Wood Science and Technology*, 39(5), 339–350.
- Budakçı, M., Pelit, H., Sönmez, A., Korkmaz, M., (2016), The effects of densification and heat post-treatment on hardness and morphological properties of wood materials, *BioResources*, 11(3), 7822–7838. DOI:10.15376/biores.11.3.7822-7838
- Budakçı, M., Şenol, S., Korkmaz, M., (2022), Thermo-Vibro-Mechanic® (TVM) wood densification method: Mechanical properties, *BioResources* 17(1), 1606-1626. DOI: 10.15376/biores.17.1.1606-1626.
- Homan, W., Tjeerdsma, B., Beckers, E., Jorissen, A., (2000), Structural and other properties of modified wood, *World Conference on Timber Engineering*, 5.
- ISO 468 (2009), Surface roughness-parameters, their values and general rules for specifying requirements, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 3274 (2005), Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: Profile method-Nominal characteristics of contact (stylus) instruments, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 4287 (1997), Geometrical product specifications surface texture profile method terms, definitions and surface texture parameters, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jakob, M., Czabany, I., Veigel, S., Müller, U., Gindl-Altmutter, W., (2022), Comparing the suitability of domestic spruce, beech, and poplar wood for high-strength densified wood, *European Journal of Wood and Wood Product*, 80, 859–876, DOI: 10.1007/s00107-022-01828-0
- Kamke, F. A., (2006), Densified radiata pine for structural composites, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 8(2), 83–92.
- Kilic, M., Hiziroglu, S. and Burdurlu, E. (2006), Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment*, 41(8), 1074–1078. DOI:10.1016/j.buildenv.2005.05.008

- Korkut, S., Kocaefe, D., (2009), Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11–34.
- Kutnar, A., Šernek, M., (2007), Densification of wood. *Gozdarstva in Lesarstva*, 82, 53–62.
- Laine, K., Antikainen, T., Rautkari, L., Hughes, M., (2013), Analysing density profile characteristics of surface densified solid wood using computational approach. *International Wood Products Journal*, 4(3), 144–149. DOI:10.1179/2042645313Y.0000000031
- Laine, K., (2014), Improving the properties of wood by surface densification. In *Aalto University publication series Doctoral Dissertations 133/2014*, 53(9), Aalto University publication series.
- Laskowska, A., (2017), The influence of process parameters on the density profile and hardness of surface-densified birch wood (*Betula pendula* Roth). *BioResources*, 12(3), 6011–6023. DOI:10.15376/biores.12.3.6011-6023
- Luan, Y., Liu, L., Ma, Y., Yang, Y., Jiang, M., Semple, K., Dai, C., Fei, B., Fang, C., (2023), An integrated hydrothermal process of bamboo flattening, densification and drying: Mechanical properties and strengthening mechanisms. *Materials & Design*, 226, 111610, 1-11, DOI:10.1016/j.matdes.2023.111610
- Luan, Y., Fang, C.H., Ma, Y.F., Fei, B.H., (2022), Wood mechanical densification: a review on processing, *Materials and Manufacturing Processes*, 37(4), 359-371, DOI: 10.1080/10426914.2021.2016816
- Malkocoglu, A. (2007), Machining properties and surface roughness of various wood species planed in different conditions. *Building and Environment*, 42(7), 2562–2567. doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.028
- Malkocoglu, A., Özdemir, T., (2006), The machining properties of some hardwoods and softwoods naturally grown in Eastern Black Sea Region of Turkey, *Journal of Materials Processing Technology*, 173(3), 315–320, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.09.031
- Özen, R. Sönmez A., (1990), Ahşap yüzeyler için hazırlanan verniklerin fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanaklıkları, *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 1428-1436
- Pelit, H., Sönmez, A., 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, DOI:10.15376/biores.9.3.4552-4567
- Pelit, H., Arısüt, U., (2023), Roughness, wettability, and morphological properties of impregnated and densified wood materials, *BioResources* 18(1), 429-446. DOI:10.15376/biores.18.1.429-446
- Rautkari, L., (2012), *Surface modification of solid wood using different techniques*. Department of Forest Products Technology, Aalto University, PhD Thesis, Finland.
- Rautkari, Lauri, Properzi, M., Pichelin, F., Hughes, M., (2009), Surface modification of wood using friction, *Wood Science and Technology*, 43(3–4), 291–299. DOI:10.1007/s00226-008-0227-0
- Sofuoglu, S.D., (2022), Ağaç malzemede Termo-Mekanik ypgunlaştırmanın parlaklık ve sertliğe etkisi, *Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi*, 1(1), 15-19.

- Sofuoğlu S.D., Tosun, M., Atilgan, A., (2022), Determination of the machining characteristics of Uludağ fir (*Abies nordmanniana* Mattf.) densified by compressing, *Wood Material Science & Engineering*, DOI: 10.1080/17480272.2022.2080586
- Sofuoğlu, S.D., Yeşil, H., (2016), Ahşap sertlik değerlerinin farklı metotlar kullanılarak karşılaştırılması, in Proc. IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Eurasia, Jul. 2016, 480-485.
- Şenol, S., (2018), Termo- Vibro - Mekanik (TVM) İşlem görmüş bazı ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*, Düzce.
- Şenol, S., Budakçı, M., (2016), Mekanik odun modifikasyon metotları, *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(2), 53–53. DOI:10.22531/muglajsci.283619
- Tosun, M., Sofuoğlu, S.D., (2021), Ağaç malzemenin sıkıştırılarak yoğunlaştırılması konusunda yapılan çalışmalar, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4 (1), 91-102, DOI: 10.33725/mamad.911947
- Tosun, M., Sofuoğlu, S.D., (2023), Determination of processing characteristics of wood materials densified by compressing, *Maderas-Cienc Tecnol*, 25. Retrieved from <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/MCT/article/view/5821>.
- TS EN ISO 2813 (2014), Boyalar ve vernikler - Metalik olmayan boya filmlerinin 20, 60 ve 85 açılarda parlaklık tayini, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara
- Zhong, Z.W., Hizirolu, S., Chan, C.T.M., (2013), Measurement of the surface roughness of wood based materials used in furniture manufacture, *Measurement*, 46(4), 1482–1487. DOI:10.1016/j.measurement.2012.11.041