






Karakavak (*Populus nigra* L.) odununun silindirik yoğunlaştırılmasında sıcaklık ve buharın renk ve parlaklığa etkisi

Hüseyin Yeşil¹ , Zafer Kaya^{2*} , Sait Dündar Sofuoğlu³ 

Öz

Ağaç malzeme kendi yapısına has birçok olumlu özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanlarına sahiptir. Özelliklerini iyileştirmek, kullanım alanlarının genişlemesine ve doğal olan bu malzemenin tercih edilmesini sağlayacaktır. Ağaç malzemenin özelliklerinin daha iyi hale getirmek için uygulanan yöntemlerden birisi yüzey yoğunlaştırma işlemidir. Bu çalışmada silindir şeklindeki tornalanmış karakavak (*Populus nigra* L.) odununun yoğunlaştırılması bu amaç için tasarlanarak imalatı yapılmış olan yoğunlaştırma aparatı kullanılarak torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış ve 160 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca ısıl işlem uygulanmış numuneler denemelerde kullanılmıştır. İş mili dönüş hızı 800 dev/dk, yoğunlaştırma derinlikleri 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm ve 2.0 mm olmak üzere 4 farklı derinlik ve ilerleme hızı olarak iş milinin her devrinde 0.02 mm ilerleme sağlanarak yüzey yoğunlaştırma işlemi uygulanmıştır. Yüzey yoğunlaştırma işleminde numune üzerine 3 Barlık sıcak buhar ve 600°C kuru hava uygulanmıştır. Yoğunlaştırma sonrası parlaklık ve renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem ve yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık teğet ve radyal yüzeylerde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmesine neden olmuştur. Yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık renkte *L* ve *b* değerlerinde düşmeye, *a* değerinde ise yükselmeye yol açmıştır.

Anahtar kelimeler: Isıl işlem, kavak, parlaklık, renk, silindirik yoğunlaştırma

Effect of heat and steam on color and brightness in cylindrical densification of black poplar (*Populus nigra* L.) wood

Abstract

Wood material has a wide range of usage areas due to many positive properties of its structure. Improving their properties will expand their usage areas and ensure this natural material is preferred. Surface densification is one of the methods applied to improve the properties of wood materials. In this study, the densification of cylindrical turned black poplar (*Populus nigra* L.) wood species was carried out on a lathe using a densification apparatus designed and manufactured for this purpose. Specimens without heat treatment and specimens heat treated at 160°C for 3 hours were used in the experiments. The surface densification process was applied with a spindle rotation speed of 800 rpm, densification depths of 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm and 2.0 mm at 4 different depths and a feed rate of 0.02 mm at each spindle revolution. In the surface densification process, 3 Bar hot steam and 600°C dry air were applied to the sample. Brightness and color measurements were performed after densification. The steam and temperature applied during heat treatment and surface densification caused a decrease in tangential and radial surfaces brightness values. Steam and temperature applied during surface densification caused a decrease in (*L*) and (*b*) values and (*a*) increase in the value of color.

Keywords: Heat treatment, populus, brightness, color, cylindrical densification

Makale tarihçesi: Geliş: 11.12.2023, Kabul: 24.12.2023, Yayınlanma: 29.12.2023, *e-posta: zafer.kaya@dpu.edu.tr

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarımı Bölümü, Kütahya/Türkiye

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Bölümü, Kütahya/Türkiye

³Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya/Türkiye

Atıf: Yeşil, H., Kaya, Z., Sofuoğlu, S.D., (2023), Karakavak (*Populus nigra* L.) odununun silindirik yoğunlaştırılmasında sıcaklık ve buharın renk ve parlaklığa etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (2), 219-232, DOI: [10.33725/mamad.1403532](https://doi.org/10.33725/mamad.1403532)

1 Giriş

Genellikle yoğunluğu az olan ahşap malzemeler sertlik, dayanıklılık ve mukavemet açısından yetersizdir. Ahşap malzemedeki bu özellikler istendiğinde ya yüksek yoğunluklu ya da yoğunlaştırma işlemi uygulanmış malzemeler alternatif olarak tercih edilebilir (Sandberg ve ark., 2021). Ahşap malzemenin yoğunluğu, mekanik özelliklerini doğrudan etkiler (Blomberg ve Persson, 2004). Düşük yoğunluklu ahşapta ilave işlemler yapılarak yoğunluk artırılabilir. Bu yöntemlerden, termo-mekanik (TM) olarak bilinen açık sistemde sıcaklık ve basınç kullanarak yoğunlaştırma (Tosun ve Sofuoğlu, 2021; Salca ve ark., 2021; Sofuoğlu, 2022; Sofuoğlu ve ark., 2022) ve termo-higro-mekanik (THM) olarak adlandırılan kapalı sistemde sıcaklık, basınç ve buhar kullanarak yoğunlaştırma (Navi, 2012) gibi yeni çevre dostu yoğunlaştırma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (Korkut ve Kocaefe, 2009; Şenol ve Budakçı, 2016). Bunların yanı sıra Viscoelastic-Thermal-Compression (VTC) olarak adlandırılan buhar ile ön yumuşatma sonrası sıcaklık ve basınç ile yapılan yoğunlaştırma ve Termo-Vibro-Mekanik (TVM) olarak adlandırılan sıcaklık, basınç ve titreşim kullanılarak yapılan yoğunlaştırma gibi yöntemler de bulunmaktadır (Şenol ve Budakçı, 2016; Bekhta ve ark., 2017; Şenol, 2018). Literatürde yoğunlaştırılmış ahşap malzemelerde çeşitli mekanik özelliklerin incelendiği ve yoğunluk analizlerinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genelde elastikiyet modülü (MOE), kopma modülü (MOR), sertlik ve yüzey sertliği (Gao ve ark., 2019; Laskowska, 2017; Şenol ve Budakçı, 2019), MOE, MOR ve Janka sertliği (Pertuzzatti, 2018), MOE, MOR (Wehsener ve ark., 2023) gibi mekanik özelliklerin yoğunlaştırılmış ahşapta arttığı görülmektedir. Yoğunlaştırılmış ahşapta radyal ve teğetsel yönlerdeki sertlik değerleri sıkıştırma oranına bağlı olarak artarken, yoğunlaştırma ve ısı işlem uygulamalarının hücre duvarlarında deformasyonlara neden olduğunu taramalı elektron mikroskopu analiziyle ortaya konulmuştur (Budakci ve ark., 2016). FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi), yoğunlaştırma sırasında önemli kimyasal değişikliklerin meydana gelmediğini göstermektedir. Yüzeyin ıslanabilirliği, yüzeyi yoğunlaştırılmış ahşabın iyi ıslanma korumasına sahip olduğunu göstermiştir (Rautkari ve ark., 2010). Termo-mekanik olarak yoğunlaştırılmış ahşap örneklerinin yüzeyindeki temas açısındaki artış, yoğunlaştırma sırasında oluşan hidrotermal işlemde kaynaklanmaktadır (Bekhta ve Krystofiak, 2016). Yoğunlaştırma işleminde geri yaylanma ve set geri kazanım miktarını belirlemek ve en aza indirmek için de araştırmalar yapılmıştır (Kariz ve ark., 2017; Neyses ve ark., 2020; Scharf ve ark., 2023). Üst yüzey işlemlerinden sonra elde edilen yüzey özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yoğunlaştırılmış numunelerde yüzey pürüzlülüğü azalmış, yüzey parlaklığı artmıştır (Pelit ve ark., 2015). Yüzey parlaklığı ve sertlik değerleri, yoğunlaştırma ve yoğunlaştırma oranı arttıkça artmıştır (Sofuoğlu, 2022). Termo-mekanik işlemin kayın ve meşe ağacının rengindeki değişim üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur (Laskowska, 2020). Ayrıca, yoğunlaşma analizleri için sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı da görülmektedir (Fleischhauer ve ark., 2019).

Tornalanmış ahşap malzemeler, mobilya parçalarından, alet saplarına, merdiven korkuluklarından, ahşap oyuncaklara kadar pek çok yerde kullanılmaktadır. Tekniğine uygun olarak yapılan tornalama işlemleri ile elde edilen pürüzsüz yüzeyler vernikleme ve boyama işlemlerinin de başarısını arttırmaktadır. Böylece yüzey işlemlerinde daha az malzeme ve işçilik kullanılarak daha ekonomik üretim yapılabilir (Gürleyen, 1998). Yüzey pürüzlülüğü ahşap malzemelerin ekonomik değerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir ve üst yüzey kalitesinin başarısında önemli bir yere sahiptir (Söğütü, 2005). Yoğunlaştırma işlemiyle ahşap malzemelerde porozite azalır ve daha düzgün yüzeyler elde edilebilir. Ayrıca yoğunluğu düşük olan ahşap malzemelerin yüzeyleri yoğunlaştırıldığında sadece yüzeyler yoğunlaştırıldığı için genel yoğunlukta fazla bir azalma olmamakta, üst yüzey işlemlerinin uygulanacağı yüzeyler daha düzgün hale gelmektedir. Yüzey yoğunlaştırma işlemi yukarıda

bahsedilen düşük yoğunluklu ahşap malzemelere uygulanabildiği gibi yüksek yoğunluklu ahşap malzemelere de uygulanabilmektedir. Yüksek yoğunluklu ahşap, fiziksel ve mekanik etkilere karşı oldukça dayanıklıdır ve yüzey işlemlerine uygun bir yapıya sahiptir. Yüzey yoğunlaştırma işlemi ile bu özellikler daha da geliştirilebilir ve daha yüksek bir yüzey kalitesi elde edilebilir.

Silindirik ahşap malzemeler geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen, yüzey yoğunlaştırma ile ilgili bilimsel çalışmaların az ve yetersiz olduğu görülmektedir. Silindirik, tormalanmış ahşap malzemelerin yüzey yoğunlaştırma işlemi ile özellikleri iyileştirildiğinde kullanım alanlarının artacağı ve yüzey özelliklerini kaybetmeden daha uzun süre kullanılabilceği düşünülmektedir. Böylece gün geçtikçe tükenen doğal ahşap malzemeler daha optimum şekilde kullanılacaktır.

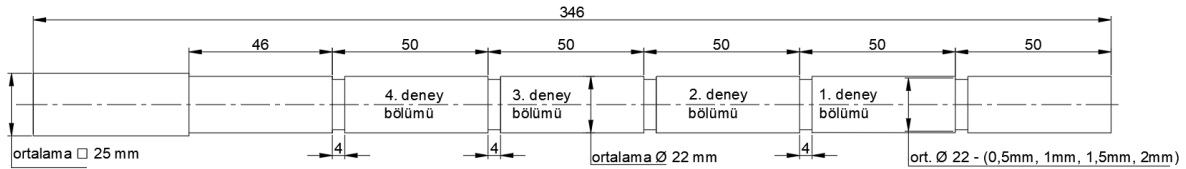
Bu çalışmanın amacı, önceden ısı işlem uygulanmış ve uygulanmamış silindirik karakavak (*Populus nigra* L.) odunundan elde edilen deney numunelerinin, doğrudan ısı ve beraberinde sıcak buhar uygulanarak/uygulanmayarak çeşitli yoğunlaştırma parametreleri değişkenleri ile yüzey yoğunlaştırması işlemine tabi tutulduğunda, yoğunlaştırma sonrası kullanım alanları için önemli olan parlaklık ve renk değişiminin belirlenerek, değerlendirilmesi ile bu malzeme için en uygun yoğunlaştırma koşullarını araştırmaktır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışmada ağaç işleri ve mobilya sektöründe yaygın olarak kullanılan ve Türkiye’de doğal olarak yetişen karakavak (*Populus nigra* L.) ağaç türü seçilmiştir. Deney numuneleri başlangıçta 25 × 25 × 400 mm boyutlarında kesilmiştir. Üniversal torna tezgahında farklı torna kesicileri kullanılarak Şekil 1’de görülen ortalama ölçülere ulaşıncaya kadar bütün deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu ölçülerde toplam 12 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Örnekler (12 adet) iklimlendirme dolabında %12 rutubet miktarına (MC= Moisture Content) ulaşması için %65 ± 5 bağıl nemde (RH) 20 ± 2°C’de ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilmiştir. Deney numunelerinin %12 rutubet miktarındaki yoğunluğu ISO 13061-1, (ISO 13061-1, 2014) ve ISO 13061-2 (ISO 13061-2, 2014) standartlarına göre belirlenmiştir.

Deney numunelerinin 6 tanesine ön ısı işlem uygulanmadan, diğer 6 tanesine ise ön ısı işlem uygulandıktan sonra deney parametreleri uygulanmıştır. Ön ısı işlem uygulanan deney numuneleri ısı işleminden önce de sonra da klimatize dolabında muhafaza edilerek deneyler öncesinde %12 rutubetlerini korumaları sağlanmıştır. 12 deney numunesinin tamamı deney esnasında nispi neme ulaşmış durumdayken deneyler yapılmıştır.



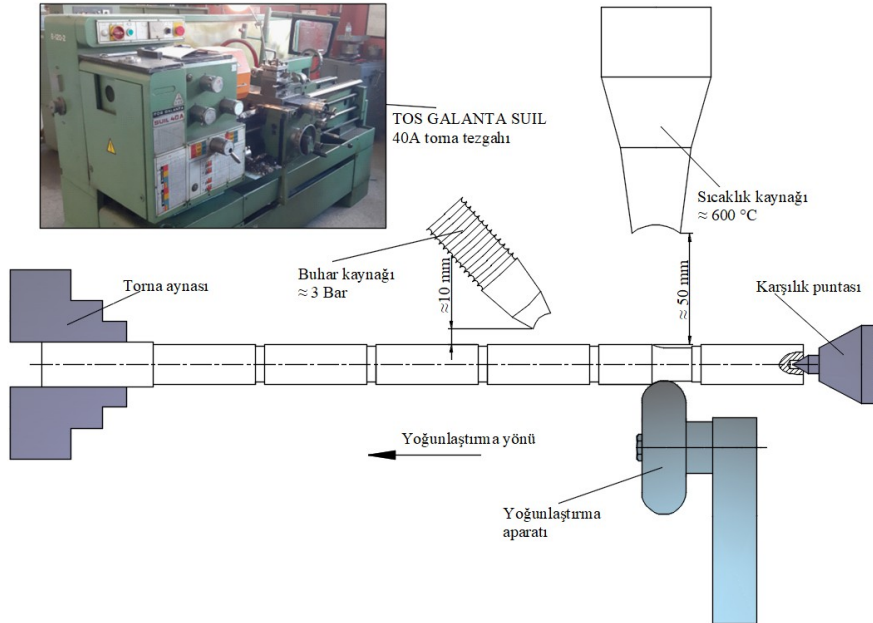
Şekil 1. Deney numunesi teknik resmi ve ölçüleri.

2.2 Isıl İşlem

%12 rutubette (MC) klimatize dolabından alınan tormalanmış 6 adet karakavak (*Populus nigra* L.) deney numunesi sıcaklık duyarlılığı ±1°C olan bir etüv kullanılarak atmosferik basınç altında 160 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca ısı işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem uygulamasından sonra etüvden alınan örnekler tekrar iklimlendirme dolabında %12 rutubete ulaşması için %65 ± 5 RH (bağıl nemde) 20 ± 2°C’de, ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilmiştir.

2.3 Yoğunlaştırma İşlemi

Yüzey yoğunlaştırma işleminde deney setini oluşturan üç ana eleman bulunmaktadır. Bunlardan ilki yoğunlaştırma aparatıdır. Bu aparat, deney numunesine baskı yaparak kendi eksenini etrafında dönen makara, silindirik destek parçası, torna kalemligine bağlantı prizması, yoğunlaşma eksenine dik ve yoğunlaşma eksenine doğrultusunda oluşacak kuvvetleri karşılayabilecek standart konik makaralı rulman ve diğer montaj parçalarının (ön kapak, silindirik destek parçası, arka kapak) bir araya getirilmesiyle yüzey yoğunlaştırma işlemi için özel olarak tasarlanarak imal edilmiştir. Deney setinin ikinci elemanı üzerinde sıcaklık ayar ünitesi bulunan bir ısı üflecedir. Bu sıcaklık kaynağı deneyin yapıldığı torna tezgahında sport bölümüne bağlantı ekipmanlarıyla sabitlenmiştir. Konum olarak deney numunesine yaklaşık 50 mm mesafede sabit kalması sağlanmıştır. Deney öncesinde sıcaklık, stabil olarak 600 °C'e ulaştırıldıktan sonra deneye başlanmıştır. Deney setinin üçüncü elemanı basınçlı sıcak buhar elde edilen buhar kaynağıdır. Buhar çıkış ucu ve deney numunesi arasında yaklaşık 10 mm mesafede olacak şekilde ısı üflecinin bulunduğu torna sportu üzerine konumlandırılan buhar kaynağı sürekli ve sabit bir buhar çıkışı oluşturacak şekilde bağlanmıştır. Cihaz kataloğunda buhar kaynağının haznesi içerisinde yaklaşık 3 barlık basıncın oluştuğu bilinmektedir. Deney başladığı anda yoğunlaştırma aparatı, sıcaklık kaynağı ve buhar kaynağı aynı anda yoğunlaştırma yönünde belirlenen deney parametresi hızında hareket etmektedir. Deney setinin bir şematik resmi ve yoğunlaştırma işlemlerinin yapıldığı TOS GALANTA SUIL 40A torna tezgahı Şekil 2'de görülmektedir. Deneylerde, buhar ve sıcaklığın uygulandığı ve uygulanmadığı parametreler bir arada değerlendirilmiştir. Her bir deney parametresi, 3 farklı deney numunesinin farklı deney bölümlerinde olacak şekilde planlanarak 3'er tekrarlı uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, yapılan 3 tekrarlı ölçümlerin ortalamaları kullanılmıştır.



Şekil 2. Deney seti elemanlarının yerleşimi

Deney parametreleri, olarak iş mili dönüş hızı 800 dev/dk, yoğunlaştırma derinlikleri 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm ve 2.0 mm olmak üzere 4 farklı derinlik ve ilerleme hızı olarak iş milinin her devrinde 0.02 mm ilerleme sağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler, literatürde kullanılan değerlere uygun olarak seçilmiştir (Kaya ve Sofuoğlu, 2023a; Kaya ve Sofuoğlu, 2023b).

2.4 Parlaklık ölçümü

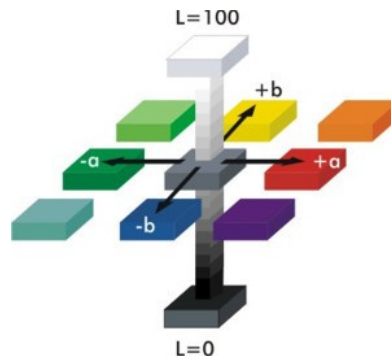
Kusursuz ve parlak yüzeyler üzerine gelen ışın geliş açısına göre aynı ya da benzer açı ile geri yansıtırlar. Parlaklık ölçüm cihazları 20° , 60° ve 85° ölçüm yaparlar. 20° ölçüm yapan türleri parlak, 85° ölçüm yapan türleri mat yüzeyler için kullanılır (ISO 2813, 2014). 60° ölçüm yapan türleri hem mat hem parlak yüzeylerin ölçümü için kullanıldığından ahşap gibi malzemelerin parlaklık ölçümü için daha kullanışlıdır. Glossmetrede bulunan iki pencerenin birinden yüzeye ışık gönderilir, diğer alıcı penceresinden yüzeyden yansıyan ışık alınarak kaydedilir. Doğal olarak düzgün, pürüzsüz ve parlak yüzeyler gelen ışının tamamını ya da büyük bölümünü geri yansıtacaktır (Özen ve Sönmez, 1990). Şekil 3'te ölçümlerde kullanılan BYK Gardner marka parlaklık ölçüm cihazı görülmektedir. Yapılan çalışmada deney numunelerinin teğet ve radyal yönlerinden eksenli boyunca parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Deney numunelerine yüzey yoğunlaştırma parametreleri uygulanmadan önce kontrol ölçümleri yapılmış, deney parametreleri uygulandıktan sonra da parametrelerin etkilerini gözlemek amacıyla daha önce ölçüm yapılan noktalardan tekrar ölçümleri yapılmıştır. Deney numunesinin teğet ve radyal yüzeylerden ayrı ayrı alınan ölçümler kendileri içerisinde değerlendirilmiştir.



Şekil 3. BYK Gardner parlaklık ölçüm cihazı

2.5 Renk ölçümü

Renk ölçümü Colorstriker renk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz ASTM-D 2244' de belirtilen esaslara göre $CIE L^* a^* b^*$ renk sistemine göre ölçüm yapabilen özelliğindedir. Cihazın çalışma prensibinde yüzeyden yansıyan ışık, önce bir prizmada, kendisini oluşturan dalga boylarına ayrıştırılır. Ardından, her bir dalga boyundaki ışık kesimini, yansıyan hüzmenden ayırıp algılayıcı üzerine düşüren ayırma düzenekleri kullanılır. Cihazda bulunan bir detektör her bir tek dalga boylu ışığı ayrı ayrı algılayan, bunların birleşiminden oluşan bir yeğinlik-dalga boyu grafiği oluşturur. Aynı veri kullanılarak o rengin L^* , a^* ve b^* değerleri cihaz tarafından hesaplanır (Berns, 2000). $CIE L^* a^* b^*$ renk sisteminde, renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L^* , a^* , b^* renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L^* siyahtan beyaza doğru renk değişimini temsil eder (siyah için $L^* = 0$, beyaz için $L^* = 100$). a^* kırmızıdan yeşile doğru renk değişimidir (pozitif değer kırmızıya yönelim, negatif değer yeşile yönelim). b^* ise sarı ile mavi arasındaki renk aralığını verir (pozitif değer sarıya yönelim, negatif değer maviye yönelim). Renkler bu 3 eksenle tanımlanır (Şekil 4) (Söğütü ve Sönmez, 2006).



Şekil 4. $CIE L^* a^* b^*$ renk düzlemi (Özcan, 2008).

Yapılan çalışmada, deney numunesi üzerinde her bir bölümde deney parametreleri uygulanmadan önce belirlenen noktalardan renk ölçümleri alınarak L^* , a^* ve b^* değerleri tespit edilmiştir. Deney parametreleri uygulandıktan sonra da aynı noktalardan tekrar renk ölçümleri alınarak bir önceki durumla karşılaştırmaları yapılmıştır. Bununla birlikte aşağıdaki açıklamalar doğrultusunda deney öncesi ve deney sonrası renk farkları da (ΔE) hesaplanmıştır (Denklem 1).

CIE $L^*a^*b^*$ sistemine göre ΔE , iki renk arasındaki farkın ölçümüdür. ΔE ne kadar büyükse karşılaştırılan renklerin arasındaki fark da o kadar fazladır (Özcan, 2008).

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (1)$$

Burada; ΔE renk farkının miktarını ifade eder. L_1 , a_1 ve b_1 deney öncesi renk değerini (Kontrol), L_2 , a_2 ve b_2 ise ölçüm yapılan aynı noktanın deney sonrası renk değerlerini ifade etmektedir.

3 Bulgular ve Tartışma

Farklı yoğunlaştırma derinliği, yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklık uygulanması/uygulanmaması (1/0) ve ön ısıtma işlem uygulanmış/uygulanmamış (1/0) deney parametrelerinin uygulanacağı deney numunelerinin deney bölümlerinden, deney öncesinde kontrol ölçümleri sonucunda radyal ve teğet parlaklık ve renk değerleri (L^* , a^* , b^*) Çizelge 1’de deney parametrelerinin uygulanması sonrasında aynı bölümlerden ölçülerek elde edilen değerler ise Çizelge 2’de verilmiştir. Bu gruplardan deney sonrası elde edilen verilere ANOVA yapılmıştır. ANOVA sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 1. Deney parametrelerinin uygulanacağı bölümlerdeki deney öncesi (Kontrol) parlaklık (Teğet), parlaklık (Radyal) ve renk değerleri (L^* , a^* , b^*)

Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Isıl işlem	Buhar ve sıcaklık	Parlaklık (Teğet) (Kontrol)	Parlaklık (Radyal) (Kontrol)	Renk değerleri (Kontrol)		
					L^*	a^*	b^*
0.5	0	0	3.14	3.63	17.47	3.82	11.09
0.5	0	1	3.28	3.76	16.81	3.33	10.58
0.5	1	0	2.96	3.08	16.08	3.79	10.84
0.5	1	1	2.97	3.50	16.29	3.84	11.17
1	0	0	3.07	3.68	20.19	3.56	10.93
1	0	1	3.56	3.84	14.10	3.98	10.58
1	1	0	2.94	3.21	18.24	3.71	11.30
1	1	1	3.09	3.50	13.25	3.92	10.40
1.5	0	0	3.03	3.61	19.46	3.08	10.21
1.5	0	1	3.44	3.96	14.08	3.71	10.05
1.5	1	0	2.89	3.43	17.17	3.92	11.46
1.5	1	1	2.99	3.39	13.84	3.64	10.00
2	0	0	2.91	3.52	20.83	3.31	10.36
2	0	1	3.19	3.54	16.67	3.22	10.76
2	1	0	2.92	3.22	15.42	3.82	10.83
2	1	1	2.90	3.31	15.75	3.43	11.09

Çizelge 2. Deney sonrası parlaklık (Teğet), parlaklık (Radyal) ve renk değerleri

Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Isıl işlem	Buhar ve sıcaklık	Parlaklık (Teğet)	Parlaklık (Radyal)	L^*	Renk değerleri		
						a^*	b^*	ΔE
0.5	0	0	4.01	4.19	21.63	2.01	11.25	20.61
0.5	0	1	2.91	3.24	18.20	3.80	13.06	8.30
0.5	1	0	3.66	3.98	20.38	2.96	11.41	19.50
0.5	1	1	3.02	3.00	15.77	3.22	11.11	0.66
1	0	0	4.14	4.19	20.46	2.01	10.70	2.53
1	0	1	3.11	3.08	20.25	3.78	12.72	42.44
1	1	0	3.59	3.71	22.10	2.55	11.04	16.31
1	1	1	2.69	2.71	8.89	2.65	8.98	22.64
1.5	0	0	4.02	4.29	19.69	2.06	10.46	1.16
1.5	0	1	2.92	3.12	17.62	3.37	12.42	18.26
1.5	1	0	3.52	3.92	18.96	2.35	10.67	6.29
1.5	1	1	2.77	2.97	9.14	2.45	9.19	24.16
2	0	0	3.70	3.87	22.38	2.08	10.77	4.08
2	0	1	2.78	2.93	19.28	2.90	12.29	9.26
2	1	0	3.29	3.34	19.30	2.30	10.54	17.45
2	1	1	2.43	2.63	18.12	3.71	12.37	8.38

Çizelge 3'teki varyans analizi sonuçlarına göre teğet ve radyal yüzeylerdeki parlaklık açısından %95 güven düzeyinde yoğunlaştırma derinliği, yüzey yoğunlaştırma öncesi uygulanan ısıl işlem ve yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık açısından anlamlı bulunmuştur ($P < 0.05$). İlerleme miktarının istatistiki anlamda etkisi bulunmamaktadır. Renk değeri (L) açısından buhar ve sıcaklık ve ısıl işlemin etkisi ($P < 0.05$) anlamlı gözükmemektedir. Renk değeri (a) açısından yoğunlaştırma derinliği ve ısıl işlemin etkisi ($P < 0.05$) anlamlı gözükmemekte ancak buhar ve sıcaklığın etkisi ($P = 0.03 < 0.05$) anlamlı gözükmemektedir. Renk değeri (b) açısından tüm faktörlerin etkisi ($P > 0.05$) anlamlı gözükmemektedir.

Çizelge 3. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası elde edilen verilerin ANOVA sonuçları

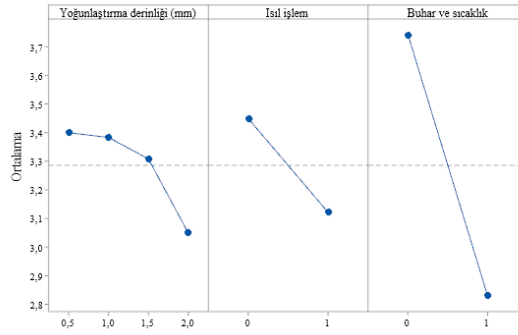
Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değer
Deney sonuçları (Parlaklık Teğet yön)					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	3	0.3147	0.10488	6.31	0.011
Isıl işlem	1	0.4334	0.43340	26.08	0.000
Buhar ve sıcaklık	1	3.3306	3.33062	200.41	0.000
Hata	10	0.1662	0.01662		
Toplam	15		4.2449		
Deney sonuçları (Parlaklık Radyal yön)					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	0.42015	0.14005	14.81	0.001
Isıl işlem	1	0.43707	0.43707	46.22	0.000
Buhar ve sıcaklık	1	3.80250	3.80250	402.09	0.000
Hata	7	0.09457	0.00946		
Toplam	11		4.75429		
Deney sonuçları (Renk L)					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	26.32	8.773	1.11	0.389
Isıl işlem	1	45.11	45.105	5.72	0.038
Buhar ve sıcaklık	1	88.44	88.435	11.22	0.007
Hata	7	78.82	7.882		
Toplam	11		238.69		
Deney sonuçları (Renk a)					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	0.38705	0.12902	0.56	0.654
Isıl işlem	1	0.00178	0.00178	0.01	0.932
Buhar ve sıcaklık	1	3.58551	3.58551	15.53	0.003
Hata	7	5.6697	0.8100		
Toplam	11		6.28278		
Deney sonuçları (Renk b)					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	2.906	0.9687	0.84	0.503
Isıl işlem	1	4.354	4.3539	3.77	0.081
Buhar ve sıcaklık	1	1.767	1.7672	1.53	0.244
Hata	7	11.541	1.1541		
Toplam	11		20.568		

Parlaklık ölçümü

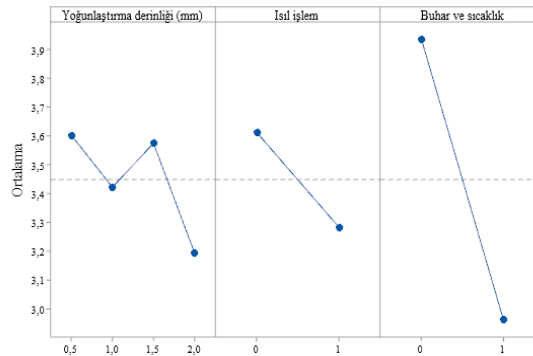
Şekil 5'te yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası teğet yönde parlaklık için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulandığı işlemlerde daha düşük parlaklık değerleri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça teğet yönde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmiştir. En fazla düşme 1.5 ile 2.0 mm yoğunlaştırma derinlik değişiminde meydana gelmiştir.

Şekil 6'da yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası radyal yönde parlaklık için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulandığı işlemlerde daha düşük parlaklık değerleri elde edilmiştir. Bu durum teğet yönde elde edilen değerlerde benzerlik göstermektedir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça genel olarak değerlendirildiğinde radyal yönde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelse de 1.5 mm işleme derinliğinde yükselme meydana gelmiştir.

Benzer çalışmalar incelendiğinde Eyong, Koto ve Jequitiba ağaç türlerinin tümünde ısıl işlem uygulamasından sonra L^* (ışıklılık), b^* (sarı renk), değerlerinin beraberinde parlaklık değerlerinin azaldığı görülmüştür (Türk, 2021). Benzer çalışmalar sonucunda da ısıl işlem sonrası parlaklık değerlerinde azalmanın olduğu ortaya konulmuştur (Koç ve Pelit, 2022; Aytin ve ark., 2015). Korkut ve arkadaşları ThermoWood yöntemine göre ısıl işlem uygulanmış yabancı kiraz odununda, sürenin artmasına bağlı olarak 60° açıda yapılan liflere dik ve paralel parlaklığını belirlemiştir (Korkut ve ark. 2013). Bununla beraber karaçam ağaç türünde yoğunlaştırma derinliği 0.5 mm'den 1 mm'ye arttırıldığında parlaklık değerinde artma meydana gelmiştir (Kaya ve Sofuoğlu, 2023a). Yüzey yoğunlaştırma işleminde ön ısıl işlem ve deney esnasında uygulanan ısıl işlemin genelde parlaklık üzerine azalma yönünde etki ettiği, yoğunlaştırma derinliği artışıyla da parlaklığın artma eğilimi gösterme durumu literatürle de benzerlik göstermiştir.



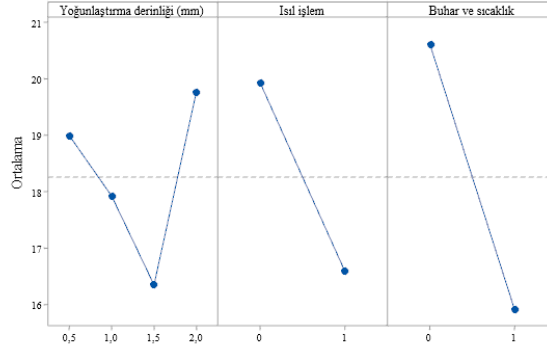
Şekil 5. Teğet yönde yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık için ana etki grafiği



Şekil 6. Radyal yönde yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık için ana etki grafiği

Renk ölçümü

Şekil 7’de yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk L^* değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 1.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısı işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulandığı işlemlerde daha düşük L^* renk değeri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça L^* değerlerinde düşme meydana gelmekte ancak 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde büyük miktarda yükselme meydana gelmekte ve en yüksek L^* değeri meydana gelmektedir. 1.5 mm yüzey yoğunlaştırma derinliği ile 2.0 mm yoğunlaştırma derinliği arasında fark en yüksek değerdedir.



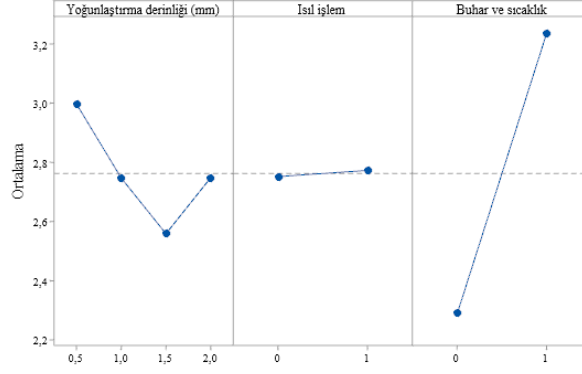
Şekil 7. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk (L^*) değeri için ana etki grafiği

Salca ve arkadaşlarının (Salca ve ark., 2016) yaptıkları çalışmada, L^* değerlerindeki azalmanın ısı işlem sırasında hemiselülozların bozulmasından kaynaklandığı şeklinde bir sonuca ulaşmışlardır. De Moura ve arkadaşları (Maura ve ark., 2014) tarafından yapılan başka bir çalışmada Cedro-marinho ve Cedroarana ağaç türlerine ait deney örnekleri 160 °C ve 220 °C'de sıcaklıkta ısı işleme tabi tutularak sıcaklık artışıyla L^* ve a^* değerlerinde azalmaların olduğunu, bunun yanında uygulanan ısı işlemin renk değişikliğine de neden olduğunu bildirilmişlerdir. Benzer bulgulara yaptıkları çalışmalar ile Ayata ve Çavuş da ulaşmıştır. (Ayata ve Çavuş, 2018).

Şekil 8’de yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk a değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 1.5 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısı işlem uygulanmamış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde en düşük a renk değeri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça L değerlerinde düşme meydana gelmekte ancak 2.0 yoğunlaştırma derinliğinde bir miktar yükselme meydana gelmektedir. Bu değer 1.0 mm yüzey yoğunlaştırma derinliği ile yakın değerdedir.

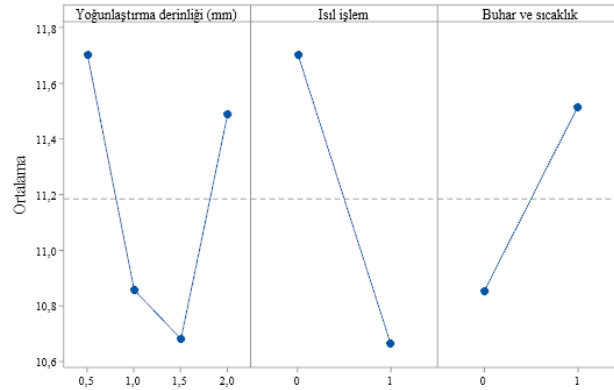
Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, pek çok ahşap elemanın bozunması, yoğunlaşması ve oksidasyonu ile ilgili olarak a^* değerinin arttığı (Chen ve ark., 2012), termal olarak modifiye edilmiş odunun renk koyulaştırmasına, hemiselülozların bozunma tepkimelerinden ve daha sonra düşük molekül ağırlıklı şekerlerin oluşumunun sebep olduğu şeklinde açıklamalar yapılmıştır (Poncsak ve ark., 2006; Esteves ve ark., 2008).

Şekil 9’da yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk b değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 1.5 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısı işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde daha düşük b renk değeri elde edilmiştir. 0.5 mm ile 1.0 mm yoğunlaştırma derinlikleri için yoğunlaştırma derinliği arttıkça yüksek fark elde edilmiştir. 1.0 mm ile 1.5 mm arasında ise b^* değeri arasındaki fark düşüktür. b açısından değerlendirildiğinde, farklı oranlarda olsa da yüzey yoğunlaştırma miktarı arttıkça (0.5’ den 1.5 mm’ye kadar) b^* değeri düşmekte ancak 2.0 mm yüzey yoğunlaştırma değerinde tekrardan yüksek miktarda artış meydana gelmektedir.



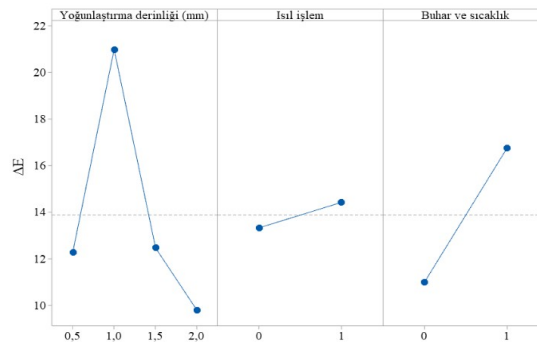
Şekil 8. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk (a^*) değeri için ana etki grafiği

Isıl işlem uygulaması sonrası renk parametreleri ile parlaklık değerlerinin değiştiği görülmüştür (Ayata, 2020). Yapılan çalışmalar neticesinde L^* , a^* , b^* , C^* parametreleri açısından ısıl işlem sonrası odun liflerine paralel ve dik parlaklık değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir (Ayata, 2022; Ayata ve Bal, 2021). Yapılan bir diğer çalışma ısıl işlem ile deney numunelerinde kararmalar meydana gelmiş, parlaklık azalmış, sarıya ve kırmızıya çalma oranı artmıştır (Tenorio ve ark., 2021).



Şekil 9. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk (b^*) değeri için ana etki grafiği

Şekil 10'da yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk ΔE değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmamış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde daha düşük ΔE elde edilmiştir. 1.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde yüzey yoğunlaştırma sonrası renk farklılığı daha yüksek elde edilmiştir.



Şekil 10. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk (ΔE) değeri için ana etki grafiği

4 Sonuçlar ve Öneriler

Elde edilen öz sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Isıl işlem ve yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık teğet ve radyal yöndeki parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmesine neden olmuştur.
- Yoğunlaştırma derinliği arttıkça teğet yönde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmektedir. Radyal yönde 1.5 mm yoğunlaştırma derinliğinde bir miktar yükselme meydana gelmiş olsa da genel olarak bakıldığında düşme görülmektedir.
- Yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık renkte L* ve b* değerinde düşme, a değerinde yükselmeye yol açmıştır.
- Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmamış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde daha düşük ΔE elde edilmiştir.
- Yoğunlaştırma aparatı kullanılarak silindirik masif ağaç malzemenin yüzeyinin yoğunlaştırılmasında, optimum noktalar ve sonuçlar değerlendirilerek en uygun parametreler kullanılabilir.

Yazar Katkıları

Yazarlar, bu çalışmanın yapılması için gösterilen tüm çabaların ortaklaşa veya gruplar halinde yürütüldüğünü, araştırmacıların her birinin üstlendiği rolü ayırt etmenin mümkün olmadığını beyan etmiştir.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Ayata, U., Cavus, V., (2018), Amerikan ceviz, Amerikan meşesi ve kırmızı Amerikan meşesi odunlarında renk ve parlaklık üzerine ısıl işlemin (ThermoWood® metot) etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 546 – 553. DOI:[10.21923/jesd.383624](https://doi.org/10.21923/jesd.383624).

Ayata, U., (2020), Ayous odununun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi ve ısıl işlem sonrası renk ve parlaklık özellikleri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3 (1), 22-33. DOI:[10.33725/mamad.724596](https://doi.org/10.33725/mamad.724596).

Ayata, U., Bal, B.C. (2021), Kopie, fukadi ve porsuk ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik üzerine ısıl işlemin etkisi, *Hoca Ahmet Yesevi, 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, 5-6 Kasım 2021, Nahçıvan Devlet Üniversitesi, Azerbaycan, 166-180.

Ayata, U., (2022), Isıl işlem görmüş Hindistan ceviz odununda bazı yüzey özelliklerinin incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 8-16. DOI:[10.33725/mamad.1116999](https://doi.org/10.33725/mamad.1116999).

Aytin, A., Korkut, S., Çakıcıer, N., (2015), Yabani kiraz odununda bazı yüzey karakteristikleri üzerine ThermoWood® yöntemi ile ısıl işlemin etkisi, *Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi, Özel Sayı :1*, UMK 2015, 3. Ulusal Mobilya Kongresi, Konya, 539-554.

Bekhta, P., Krystofiak, T., (2016), The influence of short-term thermo-mechanical densification on the surface wettability of wood veneers, *Maderas Cienc. y Tecnol.*, 18 (1), 79–90. DOI: [10.4067/S0718-221X2016005000008](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000008).

- Bekhta, P., Proszkyk, S., Krystofiak, T., Sedliacik, J., Novak, I., Mamonova, M., (2017), Effects of short-term thermomechanical densification on the structure and properties of wood veneers, *Wood Material Science and Engineering*, 12 (1), 40–54. DOI:[10.1080/17480272.2015.1009488](https://doi.org/10.1080/17480272.2015.1009488).
- Berns, R.S., (2000), Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology, *John Wiley & Sons*, New York, 3rd Edition, 78-81.
- 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, 307–314. DOI: [10.1007/s10086-003-0566-2](https://doi.org/10.1007/s10086-003-0566-2).
- Budakçi, 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](https://doi.org/10.15376/biores.11.3.7822-7838).
- Chen, Y., Fan, Y.M., Gao, J.M., Stark, N.M., (2012), The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood flour, *BioResources*, 7(1), 1157-1170.
- Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I., Pereira, H., (2008), Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, 42(5), 369- 384
- Fleischhauer, R., Hartig, J.U., Haller, P., Kaliske, M., (2019), Moisture-dependent thermo-mechanical constitutive modeling of wood, *Engineering Computations*, 36(1), 2–24. DOI:[10.1108/EC-09-2017-0368](https://doi.org/10.1108/EC-09-2017-0368).
- Gao, Z., Huang, R., Chang, J., Li, R., Wu, Y., (2019), Effects of pressurized superheated-steam heat treatment on set recovery and mechanical properties of surface-compressed wood, *BioResources*, 14(1), 1718–1730. DOI: [10.15376/biores.14.1.1718-1730](https://doi.org/10.15376/biores.14.1.1718-1730).
- Gürleyen, L., (1998), Mobilyada kullanılan masif ağaç malzemelerde yüzey düzlüğünün karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi*, Ankara.
- ISO 13061-1 (2014), Physical and mechanical properties of wood Test methods for small clear wood specimens Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 13061-2 (2014), Wood-determination of Density for Physical and Mechanical Tests, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 2813 (2014): Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- 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, 113–123. DOI:[10.1007/s00107-016-1052-z](https://doi.org/10.1007/s00107-016-1052-z).
- Kaya, Z., Sofuoğlu, S. D., (2023a), 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](https://doi.org/10.33725/mamad.1260723).
- Kaya, Z., Sofuoğlu, S. D., (2023b), Use of spinning roller in cylindrical densification; spring back in black poplar, larch and cedar of Lebanon after densification, *Bilge International*

Journal of Science and Technology Research, 7(2), 117-127.
DOI:[10.30516/bilgesci.1278745](https://doi.org/10.30516/bilgesci.1278745).

- Koç, E., Pelit, H., (2022), Ağaç malzeme yüzeylerine uygulanan poliüretan verniklerin parlaklığına ısı işlem yöntemi ve işlem sıcaklığının etkisi, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, Karok 2021, 238-246. DOI: [10.17568/ogmoad.1090092](https://doi.org/10.17568/ogmoad.1090092).
- Korkut, S., Kocaefe, S., (2009), Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi, Düzce Üniversitesi, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Orman. Dergisi*, 5(2), 11–34.
- Korkut, D.S., Hiziroglu, S., Aytin, A., (2013), Effect of heat treatment on surface characteristics of wild cherry wood, *BioResources*, 8 (2), 1582-1590.
- Laskowska, L., (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](https://doi.org/10.15376/biores.12.3.6011-6023).
- Laskowska, A., (2020), The influence of ultraviolet radiation on the colour of thermo-mechanically modified beech and oak wood, *Maderas Cienc. y Tecnol.* 22(1). DOI:[10.4067/S0718-221X2020005000106](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000106).
- De Moura, L.F., Santos, D.V.B.D., Brito, J.O., (2014), Effect of heat treatment on color, weight loss, specific gravity and equilibrium moisture content of two low market valued tropical woods, *Wood Research*, 59(2), 253-264.
- Neyses, B., Karlsson, O., Sandberg, D., (2020), The effect of ionic liquid and superbase pre-treatment on the spring-back, set-recovery and Brinell hardness of surface-densified Scots pine, *Holzforschung*, 74(3), 303–312. DOI:[10.1515/hf-2019-0158](https://doi.org/10.1515/hf-2019-0158).
- Özcan, A., (2008), Kağıt Yüzey Pürüzlülüğünün $L^*a^*b^*$ Değerleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (14), 53-61.
- Özen, R., Sonmez, A., (1990), Ahşap yüzeyler için hazırlanan verniklerin fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanaklıkları, *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık*, 1428-1436.
- Parvis Navi, D.S., (2012), Thermo-Hydro-Mechanical Wood Processing, EPFL Press.
- Pelit, H., Budakçı, M., Sönmez, A., Burdurlu, E., (2015), Surface roughness and brightness of scots pine (*Pinus sylvestris*) applied with water-based varnish after densification and heat treatment, *Journal of Wood Science*, 61, 586–594. DOI:[10.1007/s10086-015-1506-7](https://doi.org/10.1007/s10086-015-1506-7).
- Poncsak, S., Kocaefe, D., Bouazara, M., Pichette, A., (2006), Effect of high-temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*), *Wood Science and Technology*, 40(8), 647-663.
- Pertuzzatti, A., Missio, A.L., de Cademartori, P.H.G., Santini, E.J., Haselein, C.R., Berger, C., Gatto, D.A., Tondi, G., (2018), Effect of process parameters in the thermomechanical densification of pinus elliottii and eucalyptus grandis fast-growing wood, *BioResources*. 13(1), 1576–1590. DOI:[10.15376/biores.13.1.1576-1590](https://doi.org/10.15376/biores.13.1.1576-1590).
- 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. DOI:[10.1007/s00226-009-0291-0](https://doi.org/10.1007/s00226-009-0291-0).
- Salca, E.A., Kobori, H., Inagaki, T., Kojima, Y., Suzuki, S., (2016), Effect of heat treatment on colour changes of black alder and beech veneers, *Journal of Wood Science*, 62(4), 297-304. DOI: [10.1007/s10086-016-1558-3](https://doi.org/10.1007/s10086-016-1558-3).

- Salca, E., Brasov, U.T., Bekhta, P., (2021), Effects of thermo-mechanical densification applied to veneers of fast-growing species to produce value-added plywood panels, *Cutting-edge Research in Agricultural Sciences*, 9, 161–177. DOI:[10.9734/bpi/cras/v9/8628D](https://doi.org/10.9734/bpi/cras/v9/8628D).
- Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D., (2021), Wood modification technologies : principles, sustainability, and the need for innovation, CRC Press, Taylor and Francis.
- Scharf, A., Lemoine, A., Neyses, B., Sandberg, D., (2023), The effect of the growth ring orientation on spring-back and set-recovery in surface-densified, *Holzforschung*, 77(6), 394-406. DOI:[10.1515/hf-2023-0004](https://doi.org/10.1515/hf-2023-0004).
- Sofuoglu, S.D., (2022), Effect of thermo-mechanical densification on brightness and hardness in wood, *Turkish Journal of Engineering Research and Education*, 1, 15–19.
- Sofuoglu, S.D., Tosun, M., Atilgan, A., (2023), Determination of the machining characteristics of Uludağ fir (*Abies nordmanniana* Mattf.) densified by compressing, *Wood Material Science & Engineering*, 18(3), 841-851. DOI:[10.1080/17480272.2022.2080586](https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2080586).
- Söğütlü, C., (2005), Bazı faktörlerin zımparalanmış ağaç malzeme yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Politeknik*, 8(4), 345–350.
- Söğütlü, C., Sönmez, A., (2006). Color changing effect of UV rays on some local wood species treated with various shielding agents, *Gazi University Journal of the Faculty of Architecture and Engineering*, 21(1), 151-159.
- Şenol, S., Budakci, M., (2016), Nechanical wood modification methods, *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(2), 53–59. DOI:[10.22531/muglajsci.283619](https://doi.org/10.22531/muglajsci.283619).
- Şenol, S., (2018), Termo- Vibro - Mekanik (TVM) işlem görmüş bazı ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*, Düzce.
- Şenol, S., Budakci, M., (2019), Effect of Thermo-Vibro-Mechanic® densification process on the gloss and hardness values of some wood materials, *BioResources*, 14(4), 9611–9627. DOI:[10.15376/biores.14.4.9611-9627](https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9611-9627).
- Tenorio, C., Moya, R., Navarro-Mora, A., (2021), Flooring characteristics of thermomechanical densified wood from three hardwood tropical species in Costa Rica. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 23(16), 1–12. DOI:[10.4067/s0718-221x2021000100416](https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100416).
- 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](https://doi.org/10.33725/mamad.911947).
- Türk, M., (2021), Eyang, jequtiba ve koto ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik değerleri üzerine ısıtılmanın etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 51-60. DOI: [10.33725/mamad.928381](https://doi.org/10.33725/mamad.928381).
- Wehsener, J., Bremer, M., Haller, P., Fischer, S., (2023), Bending tests of delignified and densified poplar, *Wood Material Science & Engineering*, 18(1), 42–50. DOI:[10.1080/17480272.2022.2134049](https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2134049).