

Termal ve Basınç Uygulamasının Kızılçam Odununun Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Determination of the Effect of Thermal and Pressure Application on Some Physical Properties of Calabrian Pine Wood

 Ayşenur KILIÇ AK¹,  İbrahim BEKTAŞ¹,  Gonca DÜZKALE SÖZBİLİR¹,
 Tuğçe TUNCER¹

Özet

Bu çalışmada, kızılçamın bazı fiziksel özellikleri üzerine otoklavda farklı sıcaklık derecelerinde ısıtım işlemi görmüş örnekler, basınç uygulanmasının etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonuçları, örneklerin tam kuru halde ve 2 hafta suda bekletilmesinin, yoğunluklarında anlamlı bir fark oluşturmadığı, buna karşın otoklavda 105 ve 135°C sıcaklıklarda 60 dakika süre ile bekletilmelerinden sonra, 90°C de 30 dakika boyunca 20 atm basınç uygulanmasının, örneklerin yoğunluk değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç, Isıtım işlemi, Kızılçam, Radyal daralma, Yoğunluk

Abstract

In this study, the effect of pressure application on some physical properties of red pine samples that were heat treated at different temperatures in the autoclave was examined. The results of the study indicated that there was no significant difference on the density samples as a result of, oven dry density and being kept in water for 2 weeks. However, the application of 20 atm pressure for 30 minutes at 90°C after being kept in the autoclave at 105 and 135°C for 60 minutes had caused statistically significant decrease in density.

Keywords: Pressure, Thermal treatment, Calabrian pine, Radial shrinkage, Density

1. Giriş

Odun eski çağlardan günümüze kadar birçok malzemenin üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır. Günümüzde nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak odun hammaddesine olan talep azalmış gibi görünse de odun, doğallığı, kolay bulunuşu ve sağlıklı olması sebebiyle hala popüleritesini sürdürmektedir. Odunda kullanım yerinde meydana gelen bazı fiziksel değişimler (hava ile rutubet alışverişi, daralma-genişleme) ve mekanik etkiler kullanımını sınırlamaktadır. Fakat birtakım prosesler yardımıyla bu dezavantajları ortadan kaldırmak veya azaltmak mümkündür ve bu işlemlerin en etkililerinden biri de ahşap materyale uygulanan ısıtım işlemidir (Ibach, 2010).

Isıl işlem, hücre çeperindeki polimerik bileşenlerin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişimlere yol açabilen bir işlemdir. Bu metodun temel prensibi, ağaç malzemenin yaklaşık 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısı ile muamele edilmesidir (Kocaefe ve ark., 2008, Korkut ve Kocaefe, 2009). Isıyla muamele, odunun biyolojik direnci ve kararlılığını artırırken özellikle 200°C ve üzeri sıcaklıklardan sonra mekanik özelliklerde de ciddi düşümlere sebep olmaktadır. İşlemden kullanılan hammadde de odunun kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Genel olarak odun türlerinin tamamı ısıyla muamele edilebilmesine rağmen bu amaçla çamlar, kavaklar, huş ve ladin türleri daha sık kullanılmaktadır (Aydemir ve Gündüz, 2009).

Isıl işlem uygulanmış kereste bina dış cephe kaplaması, iç ve dış kapı, iç mekan kaplamaları, pencere ve pencere panjurları, parke ve döşeme tahtası, bahçe çitleri, park ve bahçe mobilyaları, çocuk oyun alanı, sauna ve sauna elemanları ve müzik aletleri yapımında yaygın şekilde kullanılmaktadır (Enjily ve Jones, 2006). Bu işlemin en önemli avantajı, daha düşük kaliteli ağaç türlerini pazara kazandırarak yeni kullanım alanı sunması ve bunların daha kaliteli türlere karşı rekabet gücünü artırarak sürdürülebilir orman kaynaklarını desteklemektir (Enjily ve Jones, 2006; Wikberg, 2004). Başka bir deyişle ısı işlem teknolojisi hızlı büyüyen ve dayanıklılığı düşük iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinin kalitesini artırmak için ekonomik olarak cazip bir imkan sunmaktadır (Korkut ve Kocaefe, 2009).

Bu çalışma ile orman ürünleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve Türkiye'de iğne yapraklı ağaç türleri arasında en geniş yayılış alanına sahip olan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununa, sıcaklığın etkisi ile malzemenin plastikliğini artırmak için otoklavda farklı ısı işlem sıcaklıkları uygulanmış ve ardından numuneler basınca maruz bırakılmıştır. Bu işlemlerin, ağaç malzemenin önemli fiziksel özelliklerinden yoğunluk ve radyal daralma değerleri üzerinde, oluşturacağı farklılıkların ortaya konması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Testlerde kullanılan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) tomrukları Türkiye'nin Doğu Akdeniz yöresinde konumlanan Kahramanmaraş'tan temin edilmiştir. Metodolojide belirtilen standartlara göre boyutlandırıldıktan sonra, diri odundan alınan numuneler 2 hafta suda bekletildikten sonra, ön denemeler sonucu belirlenmiş iki farklı sıcaklıkta otoklav içerisinde ısı işleme tabi tutulmuş ve ardından basınca maruz bırakılmıştır. Testlerde kullanılan örneklerin oluşturduğu kompozisyon ve deney şartlarını gösterir işlem kodları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Numune kompozisyonları ve deney şartları

Numune grubu	Suda bekletme	Otoklavda bekletme		Basınç uygulama		
	Süre (Hafta)	Sıcaklık (°C)	Süre (dak.)	Sıcaklık (°C)	Basınç (atm)	Süre (dak.)
N _K	-	-	-	-	-	-
N _{SB}	2	-	-	-	-	-
N ₁₀₅	2	105	60	-	-	-
N _{105B}	2	105	60	90	20	30
N ₁₃₅	2	135	60	-	-	-
N _{135B}	2	135	60	90	20	30

N: Numune, N_K: Kontrol grubu numuneleri, N_{SB}: Sadece suda bekletilen numuneler, N₁₀₅: 105°C 60 dak. süre ile otoklavda işlem gören numuneler, N_{105B}: 105°C 60 dak. otoklav sonrası 90°C 20 atm basınç altında 30 dak. işlem gören numuneler, N₁₃₅: 135°C 60 dak. süre ile otoklavda işlem gören numuneler, N_{135B}: 135°C 60 dak. otoklav sonrası 90°C 20 atm basınç altında 30 dak. işlem gören numuneler.

2.1. Hava Kuru Yoğunluğun (D₁₂) Belirlenmesi

TS 2472’de belirtilen esaslara göre 20×20×30 mm boyutlarında hazırlanan deney numuneleri, TS 2471’e (1976) uygun olarak 20°C±2 ve %65±5 bağıl nemde Nüve TK252 marka iklimlendirme kabiniinde hava kuru rutubete (%12) getirilecek şekilde klimatize edilmiştir. Ardından radyal, teğet ve boyuna yönlerdeki uzunlukları ölçülmüş ve ağırlıkları alınarak aşağıdaki formüle göre hava kuru yoğunluk (D₁₂) belirlenmiştir (Bektaş ve Güler 2001).

$$D_{12} = \frac{W_{12}}{V_{12}} \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

Burada, D₁₂: Hava kuru yoğunluk (g/cm³), W₁₂: Hava kuru ağırlık (g), V₁₂: Hava kuru hacim (cm³).

2.2. Tam Kuru Yoğunluğun (D₀) Belirlenmesi

20×20×30 mm boyutlarında hazırlanan deney numuneleri etüvde 103±2°C sıcaklıkta tam kuru hale getirilerek aşağıdaki formül (2) ile tam kuru yoğunluk (D₀) değerleri hesaplanmıştır (Bektaş ve Güler 2001).

$$D_0 = \frac{W_0}{V_0} \text{ g/cm}^3 \quad (2)$$

Burada, D₀ (gr/cm³) = Tam kuru yoğunluk, W₀: Tam kuru ağırlık (gr), V₀: Tam kuru hacim (cm³)

2.3. Suda Bekletme Sonrası Yoğunluğun (D_s) Belirlenmesi

Hava kuru ve tam kuru yoğunlukları tespit edilen numuneler, 2 hafta su içerisinde bekletildikten sonra tam yaş ağırlık ve hacim ölçümleri kullanılarak, aşağıdaki formül (3) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D_s = \frac{W_y}{V_y} \text{ g/cm}^3 \quad (3)$$

Burada, D_s = Suda bekletme sonrası hesaplanan yoğunluk (g/cm^3), W_y : Tam yaş ağırlık (g), V_y : Tam yaş hacim (cm^3).

2.4. Isıl İşlem ve Basınç Uygulanmış Numune Yoğunluğunun (D_{iIB}) Belirlenmesi

Isıl işlem ve basınç uygulanması sonrası yoğunluk değerlerinin belirlenebilmesi için; numuneler 1 saat süre ile 105 ve 135°C sıcaklıklarda otoklav içerisinde bekletilmiş, daha sonra 90°C'de 20 atm basınç altında 30 dk süre boyunca basınca maruz bırakılmıştır. Numunelerin ağırlığı ve boyutları tekrar ölçülerek, D_{iIB} formül (4) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D_{iIB} = \frac{W_{iIB}}{V_{iIB}} \text{ g/cm}^3 \quad (4)$$

Burada, D_{iIB} =Isıl işlem ve basınç uygulaması sonrası hesaplanan yoğunluk (g/cm^3), W_{iIB} : Isıl işlem ve basınç uygulaması sonrası ölçülen ağırlık (g), V_{iIB} : Isıl işlem ve basınç uygulaması sonrası hesaplanan hacim (cm^3).

2.5. Radyal Yönde Daralmanın (β_r) Belirlenmesi

Daralma miktarı, TS 4083'te (1983) verilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Basınç altında örneklerin teğet yöndeki ölçüleri büyük oranda değiştiği için, daralma ile ilgili olarak sadece radyal yönde ölçümler yapılmıştır. Öncelikle, su içerisinde batık halde boyutları değişmez hale gelinceye kadar bekletilen örneklerin, su ile doymuş hale gelmelerinin ardından lif doymuşluğu noktası (LDN) üzerindeki ölçüleri tespit edilmiştir. Sonrasında, aynı örnekler etüvde 103±2°C'de tam kuru rutubet derecesine kadar kurutulmuş ve radyal yöndeki boyutları ölçülerek formüle (5) göre radyal daralma miktarı (β_r) tespit edilmiştir.

$$\beta_r(\%) = \frac{\text{Tam yaş ölçü} - \text{Tam kuru ölçü}}{\text{Tam yaş ölçü}} \times 100 \quad (5)$$

Testlerden elde edilen veriler, basit varyans analizi (Anova) ve Duncan testi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Hava kurusu yoğunluk değerlerini belirlemek amacıyla önce örnekler klimatize odasında ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiştir. %12 rutubet derecesine

kadar koşullandırılan örneklerin hava kuruğu ortalama yoğunluk değerleri Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Hava kuruğu yoğunluk değerleri (D₁₂)

Numune grubu	Numune sayısı	Ortalama (g/cm ³)	Standart sapma	Standart hata	Varyasyon katsayısı (%)	Dağılım genişliği	$\rho^{(*)}$
N _K	40	0.580a ^(**)	0.029	0.005	5.03	0.11	$\rho < 0.068$
N _{SB}	40	0.581a	0.036	0.006	6.19	0.202	
N _{I05}	20	0.575a	0.030	0.007	5.21	0.115	
N _{I05B}	17	0.568a	0.027	0.007	4.76	0.099	
N _{I35}	40	0.564a	0.030	0.005	5.57	0.152	
N _{I35B}	40	0.570a	0.027	0.004	4.78	0.111	

(*)Önem düzeyi, (**)Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan Testine göre signifikant bir fark yoktur.

Çizelge 2’de yer alan basit varyans analizi sonuçları, hava kuruğu yoğunluk değerlerinin numune grupları arasında istatistiki anlamda bir fark oluşturmadığını ($p < 0.05$) göstermiştir. Bu çıkarımdan hareketle, ısıtım işlem ve basınç uygulanmadan önce örneklerin homojen yoğunlukta oldukları söylenebilir. Bu tespit, daha sonra örneklerle uygulanacak işlemlerin sağlıklı bir şekilde yorumlanmasında dikkate alınacaktır. Dolayısı ile örneklerle uygulanacak işlemlerin oluşturacağı etkiler değerlendirilirken, örnek yoğunluklarının homojenliği önemli rol oynayacaktır.

Çizelge 3’te örneklerin ortalama tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin veriler görülmektedir.

Çizelge 3. Tam kuru yoğunluk değerleri (D₀)

Numune grubu	Numune sayısı	Ortalama (g/cm ³)	Standart sapma	Standart hata	Varyasyon katsayısı (%)	Dağılım genişliği	$\rho^{(*)}$
N _K	40	0.552a ^(**)	0.031	0.005	5.63	0.122	$\rho < 0.096$
N _{SB}	40	0.562a	0.035	0.006	6.31	0.199	
N _{I05}	20	0.551a	0.030	0.007	5.40	0.112	
N _{I05B}	17	0.546a	0.028	0.007	5.04	0.091	
N _{I35}	40	0.544a	0.030	0.005	5.58	0.152	
N _{I35B}	40	0.545a	0.028	0.004	5.18	0.112	

(*)Önem düzeyi, (**)Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan testine göre önemli bir fark yoktur.

Çizelge 3’te verilen basit varyans analizi sonuçları ile, tam kuru yoğunlukları bakımından numune grupları arasında anlamlı bir fark ($p < 0.096$) oluşturmadığı ve örnek tam kuru yoğunluklarının homojen olduğu ortaya konmuştur.

Çizelge 4’te, test örnekleri, 2 hafta süre suda bekletilerek tam doymuş hale getirildikten sonra, ölçülen ortalama yoğunluk değerlerine ilişkin yapılan istatistik analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4. 2 hafta suda bekletme sonrası ölçülen ortalama yoğunluk (Ds) değerleri

Numune grubu	Numune sayısı	Ortalama (g/cm ³)	Standart sapma	Standart hata	Varyasyon katsayısı (%)	Dağılım genişliği	$\rho^{(*)}$
N _K	-	-	-	-	-	-	$\rho < 0.055$
N _{SB}	40	0.999a ^(**)	0.091	0.014	9.16	0.411	
N _{I05}	20	0.989a	0.072	0.016	7.32	0.354	
N _{I05B}	17	1.029a	0.111	0.027	10.79	0.518	
N _{I35}	40	1.054a	0.070	0.011	6.67	0.265	
N _{I35B}	40	1.052a	0.163	0.026	15.52	1.097	

(*)Önem düzeyi, (**)Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan Testine göre signifikant bir fark yoktur.

Kontrol örneği hariç diğer örneklerin 2 hafta süre ile suda bekletilmesiyle hesaplanan değerler üzerinde yapılan varyans analizi ve Duncan testi sonucunda, örneklerin su ile tam doymun haldeki ortalama yoğunluklarının, gruplar arasında anlamlı bir farklılık ($\rho < 0.055$) oluşturmadığı görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 2, 3 ve 4'te sunulan istatistik analiz sonuçları, numune gruplarının homojen bir yapıda olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç, yapılacak ısı işlem ve basınçla muamele işlemlerinin örnekler üzerindeki etkilerinin sağlıklı bir şekilde ölçülebileceğinin önemli bir dayanağı olarak kabul edilebilir.

Çizelge 5'te, test örneklerinin ısı işlem ve basınç muamelesinden sonra ölçülen ortalama tam kuru yoğunluk değerleri ve elde edilen istatistik analiz bulguları yer almaktadır.

Çizelge 5. Isıl işlem ve basınçla muamele sonrası ölçülen yoğunluk değerleri (D_{IIb})

Numune grubu	Numune sayısı	Ortalama (g/cm ³)	Standart sapma	Standart hata	Varyasyon katsayısı (%)	Dağılım genişliği	$\rho^{(*)}$
N _K	40	0.580c ^(**)	0.029	0.001	5.01	0.110	$\rho < 0.000$
N _{SB}	40	0.578c	0.091	0.014	9.16	0.411	
N _{I05}	17	0.570c	0.039	0.009	8,35	0.129	
N _{I05B}	20	0.958a	0.063	0.014	6,55	0.229	
N _{I35}	40	0.466d	0.056	0.009	9.87	0.337	
N _{I35B}	40	0.890b	0.088	0.014	9.88	0.278	

(*)Önem düzeyi, (**)Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan Testine göre signifikant bir fark yoktur.

Çizelge 5'te görüldüğü gibi, uygulanan işlemler örnek yoğunlukları üzerinde $\rho < 0.000$ önem düzeyinde anlamlı ayrımlar oluşturmuştur. Suda bekletilen N_{SB} grubu örneklerin ortalama yoğunluk değerleri kontrol grubu ile karşılaştırıldığında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmanın, histerezden kaynaklanan hacim artışının sebep olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, otoklavda uygulanan ısı işlemin sıcaklığındaki artış, ağaç malzemenin yoğunluğunda azalmaya neden olmuştur. Kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, ısı işlem uygulanan örneklerin yoğunlukları, uygulanan sıcaklık derecesine bağlı olarak

azalmıştır (N₁₀₅ ve N₁₃₅). Bunun, hücre çeper maddesindeki ağırlık kaybından kaynaklandığı düşünülebilir (Esteves ve Pereira, 2009). Isıl işlem görmüş ağaç malzemeye uygulanan basınç, yoğunluk miktarında artışa neden olmuştur. En fazla artış, düşük sıcaklık derecelerinde uygulanan ısıl işlemler sonucunda ölçülmüştür. Konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda (Düzkale Sözbir ve Bektaş, 2017; Gong ve ark., 2010), odun örneklerine uygulanan ısıl işlemin sıcaklığı arttıkça, basınçla yoğunlaştırma işlemi elde edilen yoğunluk miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6’da, ısıl işlem veya ısıl işlem ve basınç uygulanan örneklerin radyal yöndeki boyutları için ölçülen daralma yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 6. Radyal yönde (β_r) daralma yüzdeleri

Numune grubu	Numune sayısı	Ortalama (%)	Standart sapma	Standart hata	Varyasyon katsayısı (%)	Dağılım genişliği	$\rho^{(*)}$
N _K	40	5.62b ^(**)	0.039	0.006	0.70	0.22	0.001
N _{SB}	40	5.62b	1.540	0.243	27.40	7.70	
N ₁₀₅	20	0.45a	0.520	0.116	116.45	1.92	
N _{105B}	17	22.38d	7.601	1.844	33.97	24.72	
N ₁₃₅	40	0.49a	0.695	0.110	142.34	4.08	
N _{135B}	40	14.07c	5.619	0.888	39.92	29.04	

(*)Önem düzeyi, (**)Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan Testine göre signifikant bir fark yoktur.

Çizelge 6’daki veriler değerlendirildiğinde, 2 hafta suda bekletilerek tam doymun hale getirildikten sonra ölçülen boyutları ile farklı sıcaklık ve basınç uygulamalarına maruz bırakıldıktan sonra aynı yönde ölçülen tam kuru ölçüleri esas alınarak hesaplanan radyal yönde daralma (β_r) yüzdeleri arasında yapılan varyans ve Duncan testlerine göre aralarında önemli düzeyde ($\rho < 0.001$) farklılıklar tespit edilmiştir. Yine, aynı çizelgedeki verilerden de anlaşılacağı üzere, N₁₀₅ (%0.45) ve N₁₃₅ (%0.49) grubu örneklerde radyal yönde daralma yüzdeleri çok düşüktür. Bu durumun, uygulanan ısıl işlemin odun hücre duvarlarındaki hemiselüloz ve lignin yapılarını bozması sonucu odunun higroskopisitesinin azalmasından kaynaklanmış olabileceği söylenebilir. Bu tespit, literatürdeki bazı çalışmalar (Fang ve ark., 2012; Cai ve ark., 2013) tarafından da teyit edilmektedir.

Diğer yandan, N_{105B} ve N_{135B} grubu örneklerde hesaplanan radyal daralma miktarlarının, uygulanan basınç sonrası beklenenden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna sebep olarak, uygulanan basınç sonucu yoğunlaştırılan ağaç malzemedeki ortaya çıkan yaylanma etkisi (spring back) gösterilebilir.

Bu çalışma kapsamında kontrol numunelerine göre, uygulanan suda bekletme, sıcaklık ve basınç işlemlerinin örneklerin tam kuru yoğunluk ve daralma miktarlarında meydana getirdiği değişim yüzdeleri Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Değişim miktarları (%)

Numune grubu	D ₀ 'a göre	Br'e göre
N _K		
N _{SB}	↓0,35	↔
N ₁₀₅	↓1,72	↓92
N _{105B}	↑65,17	↑298
N ₁₃₅	↓19,66	↓91
N _{135B}	↑53,45	↑150

Kontrol örneğine kıyasla (N_K) tam kuru yoğunluk ve radyal daralma değerleri bakımından test örneklerinde meydana gelen değişimler genel olarak değerlendirildiğinde, Çizelge 7'den de anlaşılacağı üzere, tam kuru yoğunluk değerleri bakımından, basınç işlemi yoğunluk değerini sırasıyla %65 ve %53 oranlarında arttırmıştır. En fazla artışın, N_{105B} numune grubunda (%65.17) elde edilmesi, literatürde de ifade edildiği gibi (Korkut ve Kocafe, 2009), düşük sıcaklıklarda ısıtma işlemi uygulanması sonucunda hücre çeper maddesinde oluşan ağırlık kaybı ile açıklanabilir. N_{SB} örneklerinin yoğunluk değerinde ise %0.35 azalma meydana gelmesi, söz konusu numunelerin 2 hafta suda bekletilmesinden kaynaklanan hacimsel artışın tekrar kurutulduğunda, histerezden dolayı örneklerin yoğunluklarının azalması ile izah edilebilir. Otoklavda ısıtma işlemine maruz bırakılan örneklerin yoğunluklarında, N₁₀₅ grubunda %2, N₁₃₅'te ise yaklaşık %20 oranında bir azalma belirlenmiştir. Bu durum, düşük sıcaklıkta uygulanan ısıtma işlemi sırasında numunelerde çok fazla ağırlık kaybı meydana gelmemesinin bir sonucudur. Buna karşın, otoklav ortamındaki sıcak buharın, kızılçam odunundaki suda çözünen ekstraktif maddeleri çözmesi sonucunda oluşan ağırlık kaybının örneklerin yoğunluklarında bir miktar azalmaya neden olduğu söylenebilir.

Öte yandan, radyal yöndeki daralma yüzdesi değişimleri kontrol örneği ile karşılaştırıldığında, ısıtma işlemi sonrası uygulanan basınçla yoğunlaştırma işleminin radyal daralma miktarlarını %150 ve %298 oranlarında arttırdığı, yine Çizelge 7'den görülmektedir. Burada, düşük sıcaklık derecelerinde oluşan değişim miktarının daha fazla olmasının, yüksek sıcaklık uygulanmasının, örneklerin boyutsal stabilizasyonunu artırmasına karşın, düşük ısıtma işlemi sıcaklığının örneklerin boyutsal stabilizasyonu düşürmesi sonucu daralma miktarının yükselmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, orman ürünleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan kızılçam odununa 105°C ve 135°C'de sıcaklık ve basınç uygulamasının farklı yoğunluk ve radyal

daralma değerleri üzerinde oluşturduğu farklılar tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- ✓ örneklerin, tam kuru ve suda bekletilmeleri sonrası hesaplanan tam kuru ve tam yaş yoğunluklarının, örnek grupları arasında istatistiksel anlamda bir fark oluşturmadığı ortaya konmuştur.
- ✓ Araştırma sonuçları, otoklavda 60 dk. süre ile iki farklı sıcaklık uygulanmasının yoğunluk değerleri üzerinde $p < 0.000$ seviyesinde anlamlı olduğu, yine aynı örneklere 90°C de 30 dk. boyunca 20 atm basınç uygulanması ile de numune yoğunluklarının önemli derecede farklılaştığı tespit edilmiştir.
- ✓ Diğer yandan, iki farklı ısıl işlem sıcaklığı ve basınç uygulamasının örneklerin radyal yönde daralma yüzdelerinde anlamlı farklılıklar oluşturduğu da belirlenmiştir. Burada, en yüksek radyal daralma yüzdesi N_{105B} grubu rneklерinde (%22), en düşük daralma miktarı ise N₁₀₅ grubu rneklерinde (%0.45) hesaplanmıştır.
- ✓ Sonuç olarak, otoklav içerisinde ısıl işlem uygulaması, malzemenin yoğunluk değerini bir miktar düşürürken, ağaç malzemenin sıcak buhar etkisi ile plastikleşmesi sonucu basınçla yoğunlaştırma işlemindeki deformasyonu en aza indirmek sureti ile yoğunluk miktarının artmasını sağlamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarla bu proses, farklı ağaç türlerinde denenebilir ve farklı parametreleri test edilerek yeni uygulamalar geliştirilebilir.

Kaynaklar

- Aydemir, D., & Gündüz, G. (2009). Ahşabın fiziksel, kimyasal, mekaniksel ve biyolojik özellikleri üzerine ısıyla muamelenin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 11(15), 71-81.
- Bektaş, İ., & Güler, C. (2001). Andırın yöresi doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odununun bazı fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25(4), 209–215.
- Cai, W., Yang, J., Liu, Z., Hu, Y., & Weisberg, P. J. (2013). Post-fire tree recruitment of a boreal larch forest in Northeast China. *Forest Ecology and Management*. 307, 20-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.056>
- Düzkale Sözbir, G., & Bektaş, İ. (2017). The effect of heat modification and densification on physical properties of poplar wood. *Drvna industrija*, 68(4), 315-321.
- Enjily, V., & Jones, D. (2006). *The potential for modified materials in the panel products industry*. Wood Resources and Panel Properties Conference, COST Action E44/E49, 12-14 June, Valencia, Spain.
- Esteves, B.M, & Pereira, H. M. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *Bioresources*, 4(1), 370-404.
- Fang, C. H., Cloutier, A., Blanchet, P., & Koubaa, A. (2012). Densification of wood veneers combined with oil-heat treatment. Part II: Hygroscopicity and mechanical properties. *BioResources*, 7(1), 925-935. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.7.1.0925-0935>.
- Gong, M., Lamason, C., & Li, L. (2010). Interactive effect of surface densification and postheat-treatment on aspen wood. *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 293-296. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.09.013>.
- Ibach, R. E. (2010). Speciality tretment, Wood Handbook, Wood as an Engineering Materials, Chapter 19.
- Kocaefe, D., Shi, L.J., Yang, D.Q., & Bouazara, M. (2008). Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and apsen. *Forest Products Journal*, 58(6), 88-93.
- Korkut, S. & Kocaefe, D. (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.
- TS 2471. (1976). Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2472. (1976). Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4083. (1983). Odunda radyal ve teğet doğrultuda çekmenin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Wikberg, H. (2004). Advanced solid state nmr spectroscopic techniques in the study of thermally modified wood, Academic Dissertation, University of Helsinki, Department of Chemistry, Laboratory of Polymer Chemistry, Helsinki-Finland.