



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 19.07.2020  
Kabul Tarihi : 30.11.2020

Received Date : 19.07.2020  
Accepted Date : 30.11.2020

### KARAÇAM ODUNUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE FARKLI ATMOSFERLERDE UYGULANAN ISIL İŞLEMİN ETKİSİ

### THE EFFECT OF HEAT TREATMENT APPLIED UNDER DIFFERENT ATMOSPHERES ON PHYSICAL PROPERTIES OF BLACKPINE WOOD

Bekir Cihad BAL\* (ORCID: 0000-0001-7097-4132)

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Malzeme Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Bekir Cihad BAL, [bcbal@hotmail.com](mailto:bcbal@hotmail.com)

#### ÖZET

Masif odunun, diğer mühendislik malzemeleri ile kıyaslandığında, yenilenebilir bir malzeme olması, kolay işlenebilmesi, ucuz olması, yoğunluğuna göre mekanik özelliklerinin yüksek olması gibi üstün özellikleri bulunmaktadır. Ancak, biyolojik dayanıklılığı düşüktür ve rutubet alıp verdiğinde daralıp genişlemesi istenmeyen özelliklerindedir. Bu istenmeyen özelliklerini iyileştirmek için değişik metotlar geliştirilmiştir. Isıl işlem metodu bu metotlardan birisidir. Isıl işlem uygulaması, sıcak buhar, sıcak yağ, vakum veya azot gazı atmosferinde uygulanmaktadır. Bu çalışmada, azot gazı, vakum ve hava atmosferlerinde yapılan ısıl işlemin karaçam odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Test örneklerinin ağırlık kaybı, tam kuru yoğunluk, denge rutubeti yüzdesi, genişleme yüzdeleri ve su alma yüzdeleri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre; sıcaklık arttıkça, ağırlık kaybının arttığı, genişleme ve su almanın azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, hava atmosferinde yapılan ısıl işlem sonuçları ile kıyaslandığında, azot gazı atmosferinde yapılan ısıl işlem sonucunda ağırlık kaybının daha az olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Azot gazı, fiziksel özellikler, ısıl işlem, odun modifikasyonu

#### ABSTRACT

Compared to other engineering materials, solid wood has superior properties such as being a renewable material, easy processing, being cheap and having high mechanical properties according to its density. However, its biological resistance is low and it is undesirable to expand and shrink when moisture is absorbed. Various methods have been developed to improve these undesirable properties. Heat treatment method is one of these methods. Heat treatment is applied in hot steam, hot oil, and vacuum or nitrogen gas atmosphere. In this study, the effect of heat treatment under nitrogen, vacuum and air atmospheres on some physical properties of black pine wood was investigated. Mass loss, oven-dried density, equilibrium moisture content and swelling percentages of the test samples were determined. According to the data obtained; it was determined that as temperature increased, mass loss increased, swelling percentages and water uptake decreased. In addition, when compared to the results of heat treatment under air atmosphere, it was determined that the mass loss was lower as a result of heat treatment under nitrogen atmosphere.

**Keywords:** Wood modification, nitrogen atmosphere, physical properties, heat treatment

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Bekir Cihad BAL, [bcbal@hotmail.com](mailto:bcbal@hotmail.com)

**ToCite:** BAL, B.C, (2020). KARAÇAM ODUNUNUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE FARKLI ATMOSFERLERDE UYGULANAN ISIL İŞLEMİN ETKİSİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 236-244.

#### GİRİŞ

Odunun fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikleri nerede kullanılacağına karar verirken göz önünde bulundurulması gereken önemli özelliklerdendir. Yük altında taşıyıcı elemanlar olarak kullanılacak olan masif

odun veya odun esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin yüksek olması istenir. Yer döşemesi olarak kullanılacak olan odunun aşınma direncinin yüksek olması beklenir. Açık alanlarda kullanılacak olan odun türlerinin biyolojik dayanıklılığının yüksek olması istenir. Ahşap yapı elemanları, mobilya ve yer döşemeleri gibi bazı kullanım yerlerinde ise odunun fiziksel özelliklerinden olan denge rutubetinin ve odunun daralma ve genişleme yüzdelerinin düşük olması gerekir.

Odunun bu fiziksel özelliklerini iyileştirmek için çeşitli modifikasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar; odunun liflere nüfuz eden bir fenolik reçine ile emprenyesi, odundaki hidroksil gruplarının asetil gruplarına dönüştürülmesi, ısıtma işlemi tabii tutulması, polimerik hücre çeperi bileşenleri arasında formaldehit kullanılarak çapraz bağlar oluşturulması, polietilen glikol ile muamele edilerek genişletilmesi ve genişlemiş halin korunmasıyla boyutsal sabitliğin sağlanması şeklindedir (Yıldız, 1994). Bu yöntemlerden özellikle ısıtma işlemi modifikasyonu son yıllarda endüstriyel olarak çok uygulanan yöntemlerdendir. Farklı ülkelerde farklı ısıtma işlemi modifikasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Günümüzde en fazla kullanılan ısıtma işlemi metotları Platowood (Hollanda), Thermowood (Finlandiya), Retification ve Le-Bois Perdure (Fransa) ve Oil-heat treatment wood (Almanya) şeklinde olduğu bildirilmiştir (Korkut ve Kocaefe 2009). Türkiye’de ise endüstriyel olarak ısıtma işlemi uygulayan 3 farklı işletme bulunmaktadır. Bu işletmeler Thermowood yöntemi ile üretim yapmaktadır.

Isıtma işlemi modifikasyonunun denge rutubeti miktarı, daralma ve genişleme yüzdeleri gibi fiziksel özelliklerini azalttığı (Almeida ve ark., 2009; Calonego ve ark., 2012; Dubey ve ark., 2012; Gaff and Gasparic 2013; Bal 2013), kimyasal içeriğini değiştirdiği (Brito ve ark., 2008; Korkut ve Kocaefe 2009; Esteves and Pereira 2009; Severo ve ark. 2012), mekanik özelliklerini azalttığı (Jamsa ve Viitaniemi 2001; Esteves ve Pereira 2009), biyolojik dayanıklılığını artırdığı (Kamdem ve ark., 2002; Edlund ve Jermer 2004; Welzbacher ve ark., 2007; Candelier 2013a), yüzey rengini ve parlaklığını değiştirdiği (Kamdem ve ark., 2002; Ayata ve ark., 2017; Karamanoğlu ve Kaymakçı 2018; Ayata ve ark., 2018a; Ayata 2020), yüzey pürüzlülüğünün değiştiği (Ayata ve ark., 2018b) yapılan birçok çalışma ile belirlenmiştir. Ayrıca, ısıtma işlemi esnasında kullanılan ısıtma aracı olan sıcak yağ ile sıcak havanın fiziksel özellikler üzerine etkisi (Sailer ve ark., 2000; Bal 2015; Bal 2016), azot atmosferi ve vakum atmosferinin mekanik özellikler üzerine etkisi (Candelier 2013b; Bal 2018 ) bazı araştırmacılar tarafından belirlenmiştir.

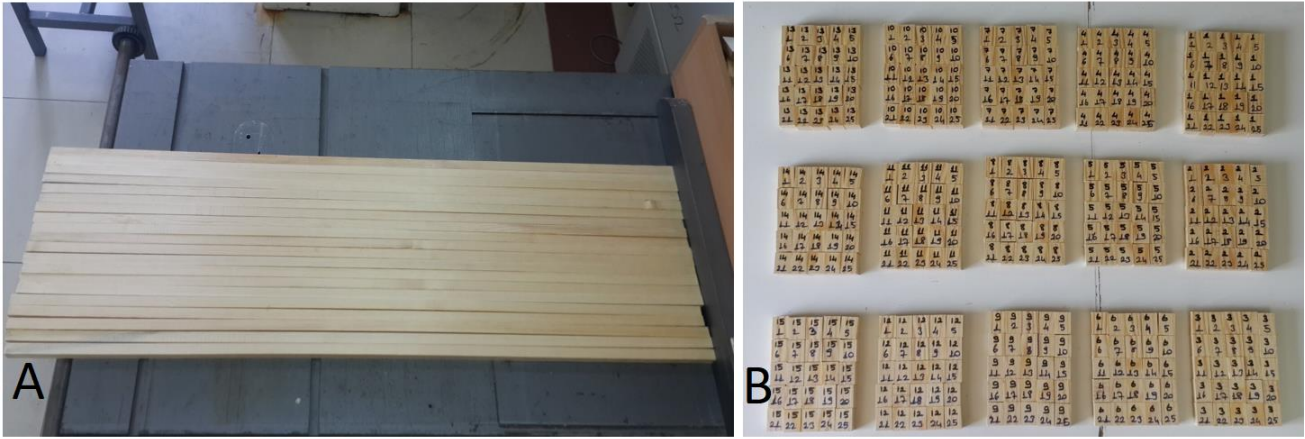
Odunun ısıtma muamelesi esnasında, ısı taşıma aracı olarak kullanılan hava, yağ, buhar gibi farklı araçların yapılan işlem sonucunda elde edilen çıktılar farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, farklı ülkelerde kullanılan farklı ısıtma işlemi metotları geliştirilmekte ve yeni metot arayışları da bir taraftan devam ettirilmektedir. Elde edilmeye çalışılan ve tam olarak başarısız olan hedef ise şudur; yapılan ısıtma işlemi sonucunda odunun mekanik özelliklerinin etkilenmemesi sağlamaktır, buna karşı su alma, daralma-genişleme gibi fiziksel özelliklerin iyileştirilmesi ve biyolojik dayanıklılığın artırılmasıdır. Ancak, bugün için kullanılan ısıtma işlemi metotlarının hepsinde, özellikle biyolojik dayanıklılığı artırmak için yüksek sıcaklıklarda yapılan uygulamalar mekanik özelliklerde azalmaya neden olmaktadır.

Bugüne kadar, farklı ısıtma işlemi metotları kullanılarak farklı odun türleri üzerinde sayısız araştırma yapılmıştır. Ancak, ısıtma işlemi esnasında, kullanılan sıcak hava, sıcak buhar, sıcak bitkisel yağ, azot gazı ve vakum ortamı-metal plaka gibi ısıtma araçlarının ısıtma işlemi sonucunu nasıl etkilediği üzerine yeterli karşılaştırmalı çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, farklı sıcaklıklarda hava atmosferinde, vakum atmosferinde ve azot gazı atmosferinde yapılan ısıtma işlemi karışım odununun fiziksel özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### *Materyal*

Araştırmada deneme materyali olarak kullanılan karışım tomrukları Kahramanmaraş keresteciler sitesinden rastgele usulle elde edilmiştir. Tomruklar satın alınan yapıldığı kereste atölyesinde keresteye biçilmiştir. Tomruklar kaba biçme sonrası, kalınlıkları yaklaşık 25 mm ve genişlikleri 100 mm olacak şekilde tahtalara biçilmiş ve bu haliyle doğal kurutmaya bırakılmıştır. İki aylık süre sonunda tahtalardan 25 x 25 mm enine kesitinde çıtalar elde edilmiştir (Şekil 1-A). Bu çیتالardan test örnekleri hazırlanmıştır. Aynı çita ya da tahtalardan yan yana kesilen test örnekleri ile test grupları oluşturulmuştur. Fiziksel özelliklerin tespiti için, 3’ü kontrol olmak üzere 15 grup oluşturulmuş ve toplam 375 adet test örneği kesilmiştir (Şekil 1-B). Fiziksel özellikler için, test örnekleri hazırlanırken 150 cm boyunda çیتالardan yan yana kesilen her bir test örneği, 1 nolu gruptan başlayarak, farklı bir gruba dahil edilmiş ve böylece test grupları arasında homojenlik sağlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 1. Test örneklerinin hazırlandığı çıtalar (A) ve test örnekleri (B)

### Metot

Test örnekleri kurutma dolabında  $103 \pm 2$  °C’de sıcaklıkta değişmez boyutlara ulaşınca kadar kurutulmuş, bu durumdaki ölçüleri ve ağırlığı alınmış, bu verilerle tam kuru yoğunlukları belirlenmiştir. Sonra test örnekleri %12 rutubet seviyesine kadar şartlandırılmıştır. Her bir test için bir kontrol grubu oluşturulmuştur. Diğerleri ise deney grubu olarak 180, 200, 220 ve 240°C’de 4 farklı sıcaklıkta 30 dakika ısıtımdan sonra ve 2 saat süre ile ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem uygulaması 3 farklı atmosferde gerçekleştirilmiştir. Bunun için hava atmosferi şartlarında, vakum atmosferi şartlarında ve azot atmosferi şartlarında olmak üzere 3 farklı atmosferde denemeler yapılmıştır. Isıl işlem uygulaması esnasında, hava atmosferi şartlarında yapılan denemelerde etüv içerisine vakum ya da azot gazı uygulanmamıştır. Vakum atmosferi şartlarında yapılan denemelerde vakum 500 mBar uygulanmıştır. İşlem süresince vakum sabit tutulmaya çalışılmıştır. Azot gazı atmosferinde yapılan denemelerde ise, kapak kapatılıp işlem başlatıldıktan sonra, öncelikle etüv içerisine 3 dakika boyunca azot gazı verilmiş, sonra gaz kesilip 50 mBar ile 100 mBar aralığında vakum uygulanıp kapağın kapalı kalması sağlanmış ve sonrasına 50 mBar vakum uygulanırken azot gazı verilmiştir. Böylece ortamdan hava alınmış ve azot gazı atmosferi oluşturulmuştur. Isıl işlem bu ortamda yapılmıştır. Vakum atmosferi ve azot atmosferinde yapılan gruplar ısıl işlem süreci tamamlanınca etüvden alınmış ve hava ile temas etmeyecek şekilde plastik poşetlere konarak soğuyuncaya kadar bekletilmiştir. Bu durumdaki ağırlıkları alınarak ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Ayrıca, bu veriler kullanılarak tekrar yoğunluk değerleri (TKY2) belirlenmiştir. Sonra test örnekleri klima dolabında 4 hafta bekletilmiş ve denge rutubeti belirlenmiştir. Daha sonra, deney parçaları değişmez hale gelinceye kadar bir kap içerisinde  $20 \pm 5$  °C sıcaklıkta damıtık su içerisine 2 hafta süre ile batırılmıştır. Sonra tam yaş haldeki son ölçüleri alınmış, bu verilerle genişleme yüzdeleri ve su alma yüzdeleri hesaplanmıştır. Test örneklerinin yoğunluk değerleri TS 2472 numaralı standartta belirtilen esaslara göre, denge rutubeti ve su alma yüzdesinin belirlenmesi için TS 2471, genişleme yüzdesinin belirlenmesi için TS 4084 ve TS 4086 numaralı standartlar kullanılmıştır. Bu standarda göre deney parçaları; kesiti 20 x 20 mm ve lif doğrultusundaki uzunluğu 30 mm olan prizma biçiminde hazırlanmıştır.



Şekil 2. Isıl işlem uygulamasında kullanılan vakumlu etüv, vakum pompası ve azot gazı tüpü

**BULGULAR VE TARTIŞMA**

Kontrol gruplarında ve uygulanan ısı işlem sonucunda deney gruplarında elde edilen ağırlık kaybı, tam kuru yoğunluk değeri, denge rutubet yüzdesi, genişleme yüzdeleri ve su alma yüzdelerine ait bulgular Çizelge 1’de verilmiştir. Ağırlık kaybı, yoğunluk azalması, genişleme yüzdesindeki azalma ve su almadaki azalma en fazla hava atmosferinde yapılan denemelerde ve 240°C elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Testler sonunda elde edilen fiziksel özelliklere ait bulgular

			AK	TKY1	TKY2	DRM	TG	RG	HG	SA	
Gruplar			%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	%	
HAŞ	1-Kont.	x	-	498	498	12.6	9.5	5.4	15.0	85	
		ss	-	29	29	1.0	0.7	0.5	1.0	6	
	2-180°C	x	1.1	501	493	11.2	9.3	5.9	15.2	80	
		ss	0.3	30	31	0.4	0.7	0.5	1.2	4	
	3-200°C	x	2.1	501	494	11.6	8.8	5.8	14.7	78	
		ss	0.5	29	30	0.5	0.6	0.5	1.0	3	
	4-220°C	x	3.7	501	492	9.6	7.7	5.0	12.8	75	
		ss	0.4	30	31	0.2	0.5	0.5	0.9	5	
	5-240°C	x	10.4	496	465	8.1	6.1	3.9	10.0	67	
		ss	1.1	33	34	0.3	0.4	0.5	0.8	5	
	VAŞ	6-Kont.	x	-	494	494	12.6	9.3	5.4	14.8	86
			ss	-	28	28	0.3	0.7	0.5	1.1	5
7-180°C		x	0.7	497	491	12.2	9.0	5.9	14.9	84	
		ss	0.1	32	33	0.2	1.1	0.5	1.5	5	
8-200°C		x	1.5	498	493	11.6	8.8	5.8	14.6	82	
		ss	0.2	32	33	0.2	0.7	0.5	1.1	6	
9-220°C		x	3.1	495	488	10.2	7.9	5.1	13.1	78	
		ss	0.4	31	33	0.2	0.7	0.6	1.2	5	
10-240°C		x	6.6	496	477	7.8	6.5	4.0	10.5	71	
		ss	0.6	31	33	1.0	0.6	0.5	1.0	6	
AAŞ		11-Kont.	x	-	496	496	12.8	9.5	5.5	15.0	86
			ss	-	26	26	0.6	0.8	0.6	1.3	5
	12-180°C	x	0.8	496	489	11.5	9.1	5.7	14.8	82	
		ss	0.1	29	31	0.2	0.6	0.5	1.0	4	
	13-200°C	x	1.4	499	489	11.7	8.6	5.7	14.4	80	
		ss	0.2	36	30	0.3	0.7	0.6	1.2	4	
	14-220°C	x	2.7	495	487	10.3	7.9	5.0	13.0	76	
		ss	0.5	29	32	0.4	0.7	0.6	1.3	4	
	15-240°C	x	5.1	494	481	7.2	6.9	4.4	11.4	74	
		ss	0.6	28	29	1.0	0.6	0.5	1.1	4	

AK: ağırlık kaybı, TKY1: ısı işlem öncesi tam kuru yoğunluk değerleri, TKY2: ısı işlem sonrası tam kuru yoğunluk değerleri, DRM: denge rutubeti miktarı, TG: teğet genişleme, RG: radyal genişleme, HG: hacmen genişleme, SA: su alma yüzdesi, x: aritmetik ortalama, SS: standart sapma, HAŞ: hava atmosferi şartları, VAŞ: vakum atmosferi şartları, AAŞ: azot atmosferi şartları.

Çizelge 1’de gösterilen verilere göre, ağırlık kaybını etkileyen iki farklı bağımsız değişken vardır. Bunlar; atmosfer ve sıcaklıktır. Aşağıda Çizelge 2’de bu iki faktörün ağırlık kaybı üzerine etkisini gösteren iki yönlü ANOVA testi sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, her iki faktörde ağırlık kaybı üzerine istatistiksel olarak çok ileri düzeyde önemli seviyede etkilidir ( $p < 0.001$ ).

**Tablo 2.** Sıcaklık ve işlem şartlarının ağırlık kaybı üzerine etkisini gösteren ANOVA testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Sig.
Atmosfer	180,093	2	90,047	375,068	0,000
Sıcaklık	1886,804	3	628,935	2619,681	0,000
Atmosfer * Sıcaklık	220,774	6	36,796	153,264	0,000



Atmosferin ve sıcaklığın ağırlık kaybı üzerine etkisi gösteren ANOVA testi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Her iki faktöründe önemli seviyede etkili olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten, hangi şartların ne seviyede etkili olduğu ya da hangi sıcaklık seviyesinin diğerlerinden farklı bir etkiye sahip olduğunu gösteren Duncan testi sonuçları ise Çizelge 3’te verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde her üç atmosferin ağırlık kaybı bakımından birbirinden farklı olduğu görülmektedir. En fazla ağırlık kaybı %4.3’le hava atmosferi şartlarında gerçekleşmiştir. En az ağırlık kaybı ise %2.49 ile azot atmosferi şartlarında gerçekleşmiştir. Bunun önemli bir sebebinin hava atmosferi şartlarında odunun oksijenle teması sonucu, odun bileşenlerinde hızlı bir bozulmanın gerçekleşmesidir. Vakum atmosferi ve azot atmosferi inert atmosfer olarak bilinmektedir. Ortamda oksijen çok azdır. Odun bileşenleri geç bozulur. Yapılan önceki çalışmalarda benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Candelier ve ark., 2013a). Yapılan bu çalışma ile Candelier ve ark., (2013a) tarafından yapılan çalışma arasında ki metod farkı ısıtma sistemi ile ilgilidir. Yapılan bu çalışmada etüv içerisinde ısı transferi, ısı taşınımı (konveksiyon) yöntemi ile sağlanmıştır. Ancak, Candelier ve ark., (2013a) tarafından yapılan çalışma da ise ısı transferi ısı iletimi (kondüksiyon) yöntemi ile metal plakalar aracılığıyla yapılmıştır. Elbette ki bu iki yöntem arasında sonuçlar bakımından farklar oluşması muhtemeldir.

**Tablo 3.** Atmosfer ve sıcaklığın ağırlık kaybına etkisini gösteren Duncan testi sonuçları

Atmosfer	N	Alt Gruplar			Sıcaklık	N	Alt Gruplar			
		1	2	3			1	2	3	4
AAŞ	100	2,49			180°C	75	0,86			
VAŞ	100		2,98		200°C	75		1,65		
HAŞ	100			4,32	220°C	75			3,18	
					240°C	75				7,36

Çizelge 1’de TKY1 değerleri ısıtma işlem uygulaması öncesi her grupta ölçülen tam kuru yoğunluk değerlerini ve TKY2 değerleri ise ısıtma işlem sonrası ölçülen aynı gruptaki tam kuru yoğunluk değerlerini göstermektedir. TKY1 değerleri incelendiğinde gruplar arasındaki yoğunluk farklılığının en fazla 5 kg olduğu görülmektedir. Odun üzerinde yapılan farklı gruplar arasında bu derece düşük yoğunluk farklılığının olması, yapılan işlemin etkisi görebilmek ve yoğunluğun etkisini elimine edebilmek için son derece önemlidir. TKY2 değerleri incelendiğinde artan sıcaklıkla beraber TKY2 değerlerinde bir azalma meydana geldiği ve en fazla azalmanın 240°C’de meydana geldiği görülmektedir. Isıtma işlem muamelesinin odunun yoğunluğu üzerine yapılan önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Korkut ve Güller 2008; Bal 2013).

Yapılan bu çalışmada ısıtma işlem muamelesinin çam odununun denge rutubeti üzerine etkisi de araştırılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Denge rutubeti üzerine sıcaklık ve atmosfer şartlarının etkisini gösteren iki yönlü ANOVA testi sonuçları ise Çizelge 4’de gösterilmiştir. Çizelgedeki veriler incelendiğinde sıcaklık ve atmosfer şartlarının denge rutubeti üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli seviyede ( $P < 0.001$ ) etkili olduğu görülmektedir.

**Tablo 4.** Sıcaklık ve atmosfer şartlarının denge rutubeti üzerine etkisini ait ANOVA testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Sig.
Atmosfer	6,55	2	3,27	11,50	0,000
Sıcaklık	762,99	3	254,33	893,89	0,000
Atmosfer * Sıcaklık	22,81	6	3,80	13,36	0,000

Atmosfer şartlarının ve sıcaklığın denge rutubeti üzerine etkisini gösteren Duncan testi sonuçları Çizelge 5’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre hava atmosferi şartları ile azot atmosfer şartlarında yapılan işlemin denge rutubeti üzerine etkileri arasında fark oluşmazken, vakum atmosferi şartlarında yapılan ısıtma işlemi denge rutubeti üzerine diğerlerinden önemli seviyede farklı bulunmuştur. Ayrıca, en yüksek denge rutubeti %12,6 ile kontrol grubunda elde edilmiştir. Çizelgede verilen sıcaklık grupları incelendiğinde, en yüksek denge rutubeti yüzdesinin kontrol gruplarında ve en düşük denge rutubeti yüzdesinin ise 240°C’de işlem gören gruplarda elde edildiği görülmektedir. Isıtma işlem uygulanmış odunun, yapılan önceki çalışmalarda da denge rutubeti ile ilgili olarak benzer sonuçlar elde edilmiştir (Gündüz ve ark., 2008; Bal 2013).

**Tablo 5.** Şartlar ve İşlem sıcaklığının denge rutubetine ait Duncan testi sonuçları

Atmosfer	N	Alt gruplar			Sıcaklık	N	Alt gruplar			
		1	2	3			1	2	3	4
HAŞ	100	10,1			240°C	75	7,7			
AAŞ	100	10,2			220°C	75		10,1		
VAŞ	100		10,5		200°C	75			11,6	
Kontrol	75			12,6	180°C	75			11,6	
					Kontrol	75				12,6

Yapılan denemeler sonunda elde edilen hacmen genişleme yüzdelere sıcaklığın etkisi ve atmosfer şartlarının etkisini gösteren ANOVA testi sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Elde edilen bu istatistik testi sonuçlarına göre; atmosfer şartlarının hacmen genişleme yüzdesi üzerine etkisi önemsizdir. Ancak, sıcaklığın etkisi istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.001$ ). Her iki faktörün etkileşimi ise yine önemli olarak belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Sıcaklık ve işlem şartlarının hacmen genişleme üzerine etkisini ait ANOVA testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Sig.
Atmosfer	2,44	2	1,22	0,95	0,388
Sıcaklık	863,55	3	287,85	223,53	0,000
Atmosfer * Sıcaklık	26,89	6	4,48	3,48	0,002

Sıcaklık ve atmosferin hacmen genişleme üzerine etkisini gösteren Duncan testi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. En küçük hacmen genişleme hava atmosferi şartlarında yapılan denemelerde ölçülmüştür. En büyük hacmen genişleme ise azot gazı atmosferinde yapılan denemelerde ölçülmüştür. Kontrol grubunda ise %14,9 ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre ortam şartlarının hacmen genişlemeye etkisi küçük farklılıklarla vardır, ama aradaki farklar önemsiz farklılıklardır (NS) denebilir. Ancak, sıcaklık grupları incelendiğinde, en düşük hacmen genişleme yüzdesi %10,6 olarak 240°C'de işlem gören gruplarda ölçülmüştür. Kontrol grubunda ve 180°C'de işlem gören grupta ise %14,9 olarak ölçülmüştür. Isıl işlem görmüş odun örneklerinin hacmen daralma ve genişleme yüzdelere azalma olduğunu yapılan önceki çalışmalarda da rapor edilmiştir (Almeida ve ark., 2009; Calonego ve ark., 2012; Dubey ve ark., 2012; Gaff and Gasparic 2013; Bal ve Bektaş 2012; Bal 2013).

**Tablo 7.** Atmosfer ve İşlem sıcaklığının hacmen genişlemeye etkisini gösteren Duncan testi

Atmosfer	N	Alt gruplar		Sıcaklık	N	Alt gruplar			
		1	2			1	2	3	4
HAŞ	100	13,2		240°C	75	10,6			
VAŞ	100	13,3		220°C	75		12,9		
AAŞ	100	13,4		200°C	75			14,5	
Kontrol	75		14,9	180°C	75				14,9
				Kontrol	75				14,9

Su alma yüzdesi üzerine sıcaklık ve atmosfer şartlarının etkisini gösteren iki yönlü ANOVA testi sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir. Bu çizelgede ki verilere göre her iki faktöründe su alma yüzdesi üzerine etkisi istatistiksel olarak çok ileri düzeyde önemli olduğu bulunmuştur ( $p < 0.001$ ). Ayrıca, her iki faktörün etkileşimi de önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 8.** Sıcaklık ve işlem şartlarının su alma miktarı üzerine ait ANOVA testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	SD	Ortalama kareler	F	Sig.
Atmosfer	873,047	2	436,523	18,891	0,000
Sıcaklık	5600,650	3	1866,883	80,790	0,000
Atmosfer * Sıcaklık	333,860	6	55,643	2,408	0,027

Su alma testi sonunda elde edilen verilere ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 9’da verilmiştir. Bu sonuçlara göre hava atmosferi şartlarında en düşük su alma yüzdesi ölçülmüştür. Vakum ve azot atmosfer şartları arasında ise bir farklılık bulunmamıştır. Sıcaklık gruplarına göre, tüm sıcaklık gruplarında ölçülen su alma yüzdeleri birbirinden farklıdır. En düşük su alma yüzdesi %70,5 olarak 240°C’de işlem gören gruplarda ölçülmüştür. En yüksek su alma yüzdesi ise %85,5 olarak kontrol grubunda ölçülmüştür. Burada ölçülen, ısı işlem görmüş odunun, su alma yüzdesi üzerine etkili olan iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, ısı işlem görmüş odunun hücre çeperine bağlanan su miktarının ısı işlem sonrasında hemiseluloz ve seluloz yapısında meydana gelen bozulma nedeniyle azalmasıdır. Bu durum yukarıda Çizelge 5’de gösterilmiştir. Kontrol grubunun denge rutubeti %12’ler seviyesinde iken, 240°C ısı işlem görmüş grubun denge rutubeti %7’lere kadar azalmıştır. Ayrıca, Çizelge 7’de görülebileceği gibi, ısı işlem görmüş test örneklerinin hacmen genişleme yüzdesinde azalmaktadır. Böylece test örneklerinin hacminin azalması içerisindeki boşluklara alabileceği serbest su yüzdesinde azalmasına neden olmaktadır. Benzer sonuçlar Bal ve Bektaş (2012) tarafından rapor edilmiştir.

**Tablo 9.** Su alma testi verilerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Atmosfer	N	Alt gruplar			Sıcaklık	N	Alt gruplar					
		1	2	3			1	2	3	4	5	
HAŞ	100	74,9			240°C	75	70,5					
AAŞ	100		77,9		220°C	75		76,4				
VAŞ	100		78,8		200°C	75			80,1			
Kontrol	75			85,5	180°C	75				81,8		
					Kontrol	75						85,5

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı atmosferlerde yüksek sıcaklıklarda muamele edilen karaçam odunun fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler karşılaştırmalı olarak çalışılmıştır. Elde edilen verilere göre şu sonuçlara ulaşılmıştır; Yapılan denemeler sonunda, ısı işlem sıcaklığı arttıkça, denemeleri yapılan hava, azot gazı ve vakum atmosferlerinin her üçünde de test örneklerinin fiziksel özelliklerinin değiştiği görülmüştür. Odunun denge rutubeti yüzdesinde ısı işlem uygulaması ile azalma olduğu belirlenmiştir. En fazla azalma 240°C sıcaklıkta işlem gören grupta ve hava atmosferinde yapılan denemelerde elde edilmiştir. Isıl işlem sonucunda test örneklerinin ağırlık kaybı sıcaklık arttıkça artmıştır. En fazla ağırlık kaybı hava atmosferinde yapılan denemelerde elde edilmiştir. En az ağırlık kaybı azot gazı atmosferinde ölçülmüştür. Genişleme yüzdesinde sıcaklık arttıkça istatistiksel olarak önemli seviyede azalma meydana gelmiştir. En fazla azalma hava atmosferinde yapılan denemelerde elde edilmiştir. Ancak, hava, azot ve vakum atmosfer şartları arasında genişleme yüzdesinin azalması bakımından istatistiksel bir farklılık belirlenmemiştir. Test örneklerinin su alma yüzdeleri artan ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak, istatistiksel olarak önemli derecede azalmıştır. En fazla azalma hava atmosferinde meydana gelmiştir. Vakum ile azot gazı atmosferi arasında fark yoktur.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: 2016/3-70M. Laboratuvar çalışmaları esnasında yardımcı olan Zeynep Gündeş ve Elif Akçakaya’ya teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Almeida, G, Brito, JO, Perre, P. (2009). "Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on micro-samples of three Eucalyptus species", *Holzforschung*, 63: 80-88.
- Ayata, U., Gürleyen, L., Esteves, B., Gürleyen, T., and Çakıcıer, N. (2017), "Effect of heat treatment (ThermoWood) on some surface properties of parquet beech with different layers of UV system applied", *BioResources*, 12(2), 3876-3889.
- Ayata, Ü , Gürleyen, T , Gürleyen, L . (2018a). Effect of heat treatment on color and glossiness properties of zebrano, sapeli and merbau woods . *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi* , 1 (1) , 11-20 . DOI: 10.33725/mamad.428913
- Ayata, Ü , Gürleyen, T , Gürleyen, L , Çakıcıer, N . (2018b). Determination of surface roughness parameters of heat-treated and untreated scotch pine, oak and beech woods . *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi* , 1 (1) , 46-50 . DOI: 10.33725/mamad.433945
- Ayata, Ü . (2020). Ayous odununun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi ve ısıtıl işleminden sonra renk ve parlaklık özellikleri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi* , 3 (1) , 22-33 . DOI: 10.33725/mamad.724596
- Bal BC, Bektaş İ (2012) The effects of heat treatment on the physical properties of juvenile wood and mature wood of *E. grandis*, *Bioresources* 7(4): 5117-5127.
- Bal, BC. (2013). "A comparative study of the physical properties of thermally treated poplar wood and plane wood", *BioResources*, 8 (4): 6493-6500.
- Bal. B.C. 2015. Physical properties of beech wood thermally modified in hot oil and in hot air at various temperatures. *Maderas-Ciencia y- Tecno*l 17(4):789-798.
- Bal BC, 2016, Sıcak bitkisel yağ ile muamele edilen toros göknarı odununun bazı fiziksel özellikleri, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2): 20-26.
- Bal, BC, 2018, A Comparative Study of Some of the Mechanical Properties of Pine Wood Treated in Vacuum, Nitrogen, and Air Atmospheres, *Bioresources*, 13(3), 5504-5511.
- Brito, J.O., Silva, F.G., LEao, M.M. ve Almeida, G., 2008, Chemical Composition changes in Eucalyptus and Pinus Woods submitted to Heat Treatment, *Bioresource Technology* 99 (2008) 8545-8548)
- Calonego, FW, Severo, ETD, Ballarin, AW. (2012). "Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. Grandis*", *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(4): 453-460.
- Candelier, K., Dumarçay, S., Pétrissans, A., Desharnais, L., Gérardin, P., & Pétrissans, M. (2013a). "Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: Nitrogen or vacuum". *Polymer degradation and Stability*, 98(2), 677-681.
- Candelier, K., Dumarçay, S., Pétrissans, A., Gérardin, P., & Pétrissans, M. (2013b). "Comparison of mechanical properties of heat treated beech wood cured under nitrogen or vacuum". *Polymer degradation and stability*, 98(9), 1762-1765.
- Dubey, MK, Pang, S, Walker, J. (2012). "Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment", *Holzforschung* 66: 49-57.
- Edlund, ML, Jermer, J. (2004) Durability of heat-treated wood, In Final Workshop COST action E22 "Environmental optimisation of wood protection", Lisboa-Portugal, March 2004.
- Esteves, BM., Pereira, HM. (2009). "Wood modification by heat treatment: A review," *BioResources* 4(1), 370-404
- Gaff, M, Gašparík, M. (2013) "Shrinkage and Stability of Thermo-Mechanically Modified Aspen Wood". *BioResources*, 8(1), 1136-1146.



Gündüz, G., Niemz, P., & Aydemir, D. (2008). Changes in specific gravity and equilibrium moisture content in heat-treated fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) wood. *Drying Technology*, 26(9), 1135-1139.

Karamanoğlu, M , Kaymakçı, A . (2018). Higrotermal yaşlandırma işleminin ısı işlem görmüş kestane odununun renk ve sertlik özellikleri üzerine etkisi . *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi* , 1 (1) , 31-37 . DOI: 10.33725/mamad.429726

Korkut DS., Güller B., 2008, The effects of heat treatment on physical properties and surface roughness of red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood, *Bioresource technology*, 99 (2008) 2846-2851.

Korkut, S., Kocaefe, D. (2009). "Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi". *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5(2), 11-34.

Kamdem, DP, Pizzi A, Jermannaud, A. (2002) "Durability of heat-treated wood". *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60 (1): 1-6.

Jamsa S, Viitaniemi P (2001) Heat treatment of wood - Better durability without chemicals, Review on heat treatments of wood, In proceedings of Special Seminar held in Antibes, France.

Sailer, M., Rapp, A. O., Leithoff, H., & Peek, R. D. (2000). Upgrading of wood by application of an oil-heat treatment. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 58(1/2), 15-22.

Severo, E.T.D., Calonego, F.W., Sansigolo, C.A. (2012). "Physical and chemical changes in juvenile and mature woods of *Pinus elliottii* var. *elliottii* by thermal modification", *Eur J Wood Prod* 70: 741-747.

TS 2471, (1976). Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 2472, (1976.) Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4084, (1983). Odunda Radyal ve Teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4086, (1983). Odunda Hacimsel Şişmenin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Welzbacher, CR, Brischke, C, Rapp, AO. (2007) "Influence of treatment temperature and duration on selected biological, mechanical, physical and optical properties of thermally modified timber". *Wood Material Science and Engineering* 2 (2): 66-76.

Yıldız, Ü.C., 1994, Bazı Hızlı Büyüyen Ağaç Türlerinden Hazırlanan Odun-Polimer Kompozitlerinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, KTÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.