

Vakumlu ve Klasik Kurutma Yöntemlerinin Ahşap Malzemenin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi

Mustafa ALTINOK, İhsan KÜRELİ, Tayfun SERBES

Araştırma Makalesi

ÖZET

Bu çalışmada, klasik ve vakumlu kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ahşap malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla; Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Sarıçam (*Pinus silvestris* L.) odunlarından hazırlanmış, vakumlu ve klasik kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ve kurutulmamış (kontrol) örnekler TS EN 310'a göre eğilme testi, TS 2472'ye göre özgül ağırlık ölçümü uygulanmıştır. Test ve ölçümlerde kurutulmuş örneklerin eğilme dirençleri, özgül ağırlıkları ve kurutma süreleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak, en yüksek eğilme direnci vakumlu kurutulmuş kayında 16,222 N/mm², daha sonra sırasıyla vakumlu kurutulmuş çamda 13,587 N/mm², klasik kurutulmuş kayında 12,789 N/mm² ve en düşük klasik kurutulmuş çamda 9,287 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Özgül ağırlık, en yüksek vakumlu kurutulmuş kayında 0,80 g/cm³, daha sonra sırasıyla klasik kurutulmuş kayında 0,68 g/cm³, vakumlu kurutulmuş çamda 0,55 g/cm³ ve en düşük klasik kurutulmuş çamda 0,49 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Kurutma süreleri ise, en düşük vakumlu kurutmada 35 mm'lik çam 3 gün, en yüksek klasik kurutmada 50 mm'lik kayın 20 gün olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ahşap kurutma, klasik kurutma yöntemi, vakumlu kurutma yöntemi.

The Determination of the Effect to Some Physical and Mechanical Properties of Wood Material of Vacuum and Conventional Drying Methods

ABSTRACT

In this study, the physical and mechanical properties of dried wood were defined and compared according to the methods of vacuumed and conventional wood drying. With this aim, the prepared samples of beech (*Fagus orientalis* L.) and pine (*Pinus silvestris* L.) woods, before drying, and after drying with vacuum and conventional wood drying methods were tested (bending test according to TS EN 310 and measuring specific gravity according to TS 2472). In the tests, drying time, specific weight (gravity) and bending strength of dried wood samples were measured.

As a result, the first in order of bending strength of the dried with vacuum drying method is beech samples (16,222 N/mm²), the latter one is pine samples (13,587 N/mm²), the more latter one is beech samples (12,789 N/mm²) of the conventional wood drying methods, the last one is pine samples (9,287 N/mm²) of the conventional wood drying methods. As to specific weight (gravity), the first in order of the dried with vacuum drying method is beech samples (0,80 g/cm³), the latter one is beech samples (0,68 g/cm³) of the conventional wood drying methods, the more latter one is pine samples (0,55 g/cm³) of the dried with vacuum drying method, the last one is pine samples (0,49 g/cm³) of the conventional wood drying methods. As for drying time, the lowest (3 days) for 35 mm- pinewood in the vacuumed drying method, the highest (20 days) for 50 mm – beechwood for the conventional wood drying methods is determined.

Key words: Wood drying, conventional dried method, vacuum dried method.

1. GİRİŞ

Kurutma, odun içerisinde bulunan ve genellikle kullanım alanlarına göre uygun olmayan suyun (rutubetin) atılma işlemidir. Odunda kullanılacağı yere göre bulunması gereken kuruluk derecesi çok önemlidir.

Makale 16.12.2008 tarihinde gelmiş,31.12.2009 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

*M. ALTINOK, İ. KÜRELİ, T. SERBES, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi 06500 Teknikokullar, Y.mahalle/ ANKARA
e-posta: altinok@gazi.edu.tr, ikureli@gazi.edu.tr
Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.4, 271-278*

Kullanım yerindeki kuruluk derecesine uygun olmayan odun rutubet almak veya vermek suretiyle boyutlarını değiştirmektedir. Böylece, ahşap ürünlerde arzu edilmeyen deformasyon ve kusurlar ortaya çıkmaktadır.

Kurutulan odunun birçok özelliğinin iyileştiği bilinmektedir. Örneğin; iyice kurutulmuş odunda kuruluk derecesi muhafaza edilirse çürümez, az çalışır, işlenirken daha düzgün yüzeyler verir. Yapışma kabiliyeti, direnci, sertliği gibi özellikleri artar (Kantay,1993).

Kurutma tekniğine temel teşkil edecek bilimsel esaslar ilk defa 1920 yılından sonra ortaya konmaya başlanmıştır. Buna dayalı olarak odunun kurutulması kapalı ortamlara taşınmış ve teknik kurutma yöntemleri geliştirilmiştir (Kantay, 1993).

Yadigaroglu (1997), Trabzon (41° kuzey) iklim koşullarında Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* mill.) kerestesinin güneş enerjili fırında ve açık havada kurutulmasını araştırmıştır. Sonuç olarak; Trabzon iklim şartlarında süre, sonuç (kurutma) rutubeti ve maliyet bakımından güneş enerjili fırının açık havada kurutmaya göre daha verimli olduğunu bildirmektedir.

Ünsal (1998), buharlanmış ve buharlanmamış kayın (*Fagus orientalis* L.) odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimini incelemiştir. Sonuç olarak doğu kayınının özgül ağırlığında, direnç değerlerinde ve sertliğinde buharlama işlemi ve süresine bağlı olarak anlamlı bir azalma olduğunu belirlemiştir.

Ünsal (1994), ceviz kerestesinin teknik kurutma ve kurutma programı özelliklerini araştırmıştır. Sonuçta 30 mm kalınlıktaki kerestelerin kurutulmasında 60°C sabit sıcaklık ve % 2 kurutma meyli değeri, 70 mm kalınlıktaki kerestenin kurutulmasında 50°C sabit sıcaklık ve % 1,5 kurutma meyli değerinin yüksek kaliteli kurutma sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Belirlenen kurutma sürelerine göre özellikle yüksek başlangıç rutubetine sahip düzgün lifli olmayan kalın ceviz kerestelerin doğal ön kurutmadan sonra teknik kurutmaya alınmasının uygun olacağını belirtmiştir.

Uysal (1993), Ankara ve çevresinde doğal kurutma ile kurutulmuş odunun mobilya endüstrisinde doğrudan kullanıldığını tespit etmiştir.

Chen, Z., (2001), meşe ağacından elde edilmiş küçük örneklerin 20°C'lik oda sıcaklığında ve 18 mm Hg'lık kurutma ile kurutulabildiğini ve kurutmanın hızlı, deformasyonsuz bir şekilde gerçekleştirilebildiğini bildirmiştir.

Bu çalışmada, klasik ve vakumlu kurutma yöntemi ile kurutulmuş Doğu kayını ve Sarıçam odunlarının kurutma öncesi ve sonrası bazı fiziksel, mekanik özellikleri (eğilme direnci, özgül ağırlık) ve yöntemlerin kurutma süreleri belirlenerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada her iki kurutma yönteminin ahşap türleri ile etkileşimi tespit edilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

2.1.1. Ahşap malzeme

Bu çalışmada, mobilya endüstrisinde yaygın olarak tercih edilen Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunları kullanılmıştır. Tomruklar İstanbul keresteciler sanayinden rasgele seçilerek temin edilmiştir.

2.2. Deney örneklerinin hazırlanması

Rasgele temin edilmiş olan tomruklar yıllık halkaları yüzeye dik gelecek şekilde biçilerek kereste elde edilmiştir. Biçilmiş kerestelerin rutubeti direnç tipi

rutubet ölçme cihazı ve tartı yöntemleri ile ayrı ayrı ölçülmüş ve ortalama % 40 olduğu tespit edilmiştir. Rutubet miktarının belirlenmesinde iki yöntemin uygulanmasının nedeni; ticari kurutma fırınlarında sadece direnç tipi rutubet ölçme cihazının kullanılmasıdır. Her iki tür odundan biçilmiş keresteden; kurutmadan önce ve kurutma işlemi uygulandıktan sonra olmak üzere iki aşamada deney-ölçüm örnekleri hazırlanmıştır.

Birinci aşamada kurutmadan önce, TS EN 310'a göre 15×50×300mm boyutlarında 10'ar adet eğilme testi, TS. 2472'ye göre 30×30×10 mm boyutlarında 10'ar adet özgül ağırlık ölçümü olmak üzere, her iki odun türü için toplam 40 adet kontrol örnekleri hazırlanmıştır.

İkinci aşamada her iki tür odundan 35×250×800 mm ve 50×250×800 mm boyutlarında ve yeterli miktarda taslak parçalar (kereste) iki kurutma yöntemi ile kurutulduktan sonra, "2 odun türü x 2 kurutma yöntemi x 2 deney ölçüm yöntemi x 10" tertibine göre 40 adet eğilme deneyi, 40 adet özgül ağırlık tayini için olmak üzere, 80 adet kurutulmuş ve genel toplam olarak 120 adet deney-ölçüm örneği aynı standartlarda ve boyutlarda hazırlanmıştır. Kurutma işlemleri Atria adlı firmada (Sakarya) yapılmıştır.

2.3. Yöntemler

2.3.1. Klasik fırında kurutma yöntemi

Bu yöntemde kurutma, ahşabın bünyesindeki rutubet 100 °C in altındaki sıcaklıklarda hava-su buharı karışımı aracılığı ile kereste yüzeylerinden buharlaştırılarak gerçekleştirilir. Kurutma için fırının içerisine sıcaklığı düşük kuru hava vantilatörler ile alınmakta, ısıtıcılar ile ısıtmakta ve kerestelerin istif aralarından geçirilmektedir. Sürekli hava sirkülasyonu ile kurutma sağlanabilmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı klasik kurutma fırınının iç duvarları alüminyum kasetler ile kaplanmıştır.

Klasik fırında kurutma aşağıdaki sürece göre uygulanmıştır: Taslak parçalar kurutma fırınına istif edilir. Taslak parçaların makta kısımlarına algılama soketleri yerleştirilir. Taslak parçaların başlangıç rutubeti belirlenir (ortalama % 40 olarak ölçülmüştür). Taslak parçaların son rutubeti (% 9) tayin edildikten sonra gerekli sıcaklık derecelerinde fırın ısıtmaya başlanır.

Klasik fırında ortalama ısıtma süresi en az iki gündür. Bu sürede son sıcaklığa ulaşıldıktan sonra ısıtılmış hava dışarı verilerek içeriye temiz hava alınır. Bu işlem periyodik olarak taslaklar kurutuluncaya kadar devam ettirilir. Klasik fırınlarda günde ortalama % 3-4'lük kuruma sağlanabilmektedir. Taslaklara takılan soketler yardımı ile % 9'luk rutubet miktarına ulaşıldığında, kurutma işlemine son verilmiştir (Atria, 2001).

Taslak parçaların kurutulmasında klasik kurutma fırınının kurutma parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Klasik kurutma fırınının kurutma parametreleri (Serbes, 2003)

Odun türü	Rutubet Ölçme Grubu (G)	T1 °C	T2 °C	LDN %	R ₀ Kg/m ³	W Kg/m ³	β r %	β t %
Sarıçam	3	60-50	80-70	30	480	800	4,4	9,1
Doğu kayını	2	60-45	75-60	29	630	970	5,1	10,5

T1: İlk sıcaklık, T2: Son sıcaklık, R₀: Tam kuru özgül ağırlık, W: Tam yaş özgül ağırlık, β r- β t: Radyal ve teğet yönde daralma

2.3.2. Levhasız periyodik vakumlama fırınında kurutma yöntemi

Vakumlu yöntemde kurutma, istif edilmiş kereste çevresindeki belli bir bağıl nem derecesine sahip havanın istenilen sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra ısıtıcı vantilatörlerin durdurulması akabinde vakum uygulanarak gerçekleştirilir. Vakumlu sistemde kurutma istenilen rutubet derecesine ulaşmaya kadar ısıtma ve vakum uygulama fazları ile sürdürülür. Bu çalışmanın yapıldığı vakumlu kurutma fırını; levhasız, periyodik vakum tekniğinde ve sürekli tekrarlanan ara ısıtmalarda depolanmış ısının odun bünyesinde bulunduğu içyapıdadır.

Vakumlu fırında kurutma aşağıdaki sürece göre uygulanmıştır: Taslak parçalar (35 ve 50 mm kalınlıkta biçilmiş) vakumlu fırına istiflenir. Her birine ve uç kısmından 30 cm içeriye 8 mm çapında pilot delik delinir ve termometre takılır. Vakum pompalama zamanı ayarlanır. En az 30 dakika ve her 1 mm kalınlık için 1 dakika hesabına göre vakum süresi tayin edilir (Atria 2001). Buna göre vakum süresi 35 mm kalınlıktaki taslaklar için 35, 50 mm kalınlıktaki taslaklar için ise 50 dakika olarak ayarlanmıştır. Ağacın türüne göre kurutma programı seçilir (Sarıçam ve Doğu kayını için giriş rutubeti % 40 ve ön ısıtmanın süresi azami 90 dakika olarak ayarlanmıştır).

Ön ısıtma süresi sonunda ısıtma işlemi durdurulur ve vakum uygulanır (Sarıçam için kaba 30 mbar vakum, Doğu kayını için 10 mbar yüksek vakum). Bu uygulama tayin edilen rutubet miktarına ulaşmaya kadar tekrarlanır (Mühlböck, 2001).

Çizelge 2. Vakumlu kurutmada kurutma parametreleri (Serbes, 2003)

Odun türü	Rutubet Ölçme Grubu (G)	Giriş Rutubeti %	Vakum Süresi (dak.)	Vakum Şiddeti (mbar)	Ön ısıtma Süresi (dak.)	Sonuç rutubeti %
Sarıçam	3	40	50	30	60	9
Doğu kayını	2	40	70	10	80	9

Taslak parçaların kurutulmasında vakumlu kurutma fırınının kurutma parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

2.3.3. Özgül ağırlık tayini

Özgül ağırlığın kurutma öncesinden kurutma sonrasına değişimini belirlemek maksadıyla, her bir tür

odun ve kurutma yöntemine göre 30×30×10 mm ölçülerinde örnekler hazırlanmıştır. Bu örneklerin hazırlanmasında TS 2471 ve TS 2472'de belirtilen esaslara uyulmuştur. Örnekler 0,01 hassasiyetteki tartı cihazı ile tartılıp, kurutma öncesindeki ve sonrasındaki rutubet miktarları ve tam yaş ve özgül ağırlıkları tespit edilmiştir. Özgül ağırlık hesaplamada $V = \text{ağırlık (g)} / \text{hacim (cm}^3\text{)}$ formülü kullanılmıştır (Örs,1986).

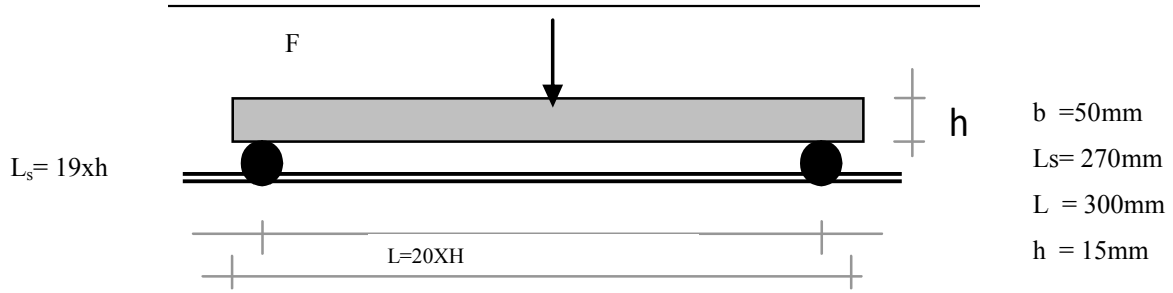
2.3.4. Kuruma sürelerinin belirlenmesi

35×250×800 mm ve 50×250×800 mm boyutlarında hazırlanan taslak parçalara kurutma işlemi uygulanmıştır. Kurutmada, her iki kurutma tekniği için taslakların fırınlara girme zamanları ayrı ayrı (gün ve saat olarak) kaydedilmiştir. Ayarlanmış olan kurutma parametrelerine göre kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminde % 9 rutubet derecesine ulaşıldığında sonlanma anı gün ve saat olarak kaydedilmiştir. Bu işlemler her iki kurutma yönteminde tekrarlanarak, gün ve saat olarak kaydedilmiş olan başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki fark kurutma süreleri olarak tespit edilmiştir (Ünsal, 2002).

2.3.5. Eğilme deneyi

Kurutma öncesi ve kurutma sonrası her bir tür odun ve kurutma yöntemini temsil eden taslak parçalardan 15×30×300 mm boyutlarında hazırlanan deney örneklerine TS EN 310 esaslarına uyularak, universal test cihazının 800 kgf'lik kademesinde eğilme deneyi uygulanmıştır. Deney ve ölçümler Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney sırasında uygulanan kuvvetin örneklerin ortasına gelmesine ve 1.2 N/sn artan hızla

yükleme yapılmasına dikkat edilmiştir. Örneklerin kırılma anındaki kuvvet (F max.) Newton (N) cinsinden cihazın kadrından okunarak kaydedilmiştir (Şekil 1). Eğilme direnci (σ_e); $\sigma_e = 3/2 (F \text{ max.} \times Ls) / (b \times h^2)$ eşitliğinden N/mm² olarak hesaplanmıştır (Ünsal,-1998).



Şekil 1. Eğilme deney düzeneği

2.4. İstatistiksel Değerlendirme

İki odun, bir kontrol ve iki kurutma yöntemi ile oluşturulan 10'arlı gruplar halindeki deney örneklerine, kurutma öncesi ve her iki yöntem ile kurutulduktan sonra özgül ağırlık tayinleri ve eğilme deneyleri uygulanmıştır. Özgül ağırlık tayini ve eğilme deneyleri sonunda $2 \times 2 \times 3 \times 10 = 120$ tertibine göre elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede sonuçlara çoklu varyans analizi uygulanmıştır. Sonuçların anlamlı çıkması halinde farklılığın hangi gruplar arasında önemli olduğunu belirlemek amacı ile Duncan testi yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Özgül Ağırlık Değişimi

Odunun teknolojik özellikleri hakkında fikir veren özgül ağırlık, kurutma bakımından da önemli bir faktördür. Özgül ağırlık değerlerini belirlemek amacıyla her bir kurutma yöntemi ve odun türü için hazırlanan örnekler hassas tartı aleti ile tartılarak, kurutma yöntemlerinin aralarındaki özgül ağırlık (% 40 ve 9 rutubet derecelerinde) değişimi tespit edilmiştir. Her iki tür odunda kurutma öncesi ve kurutma yöntemlerine göre tespit edilen özgül ağırlık değişimleri; kayın odunu için Çizelge 3'de, çam odunu için ise Çizelge 4'de ve bunlara ilişkin varyans analizi

Çizelge 5'de verilmiştir.

Buna göre, kurutma öncesi kayın odununun $0,89 \text{ g/cm}^3$ olan özgül ağırlığı klasik kurutma yönteminde $0,68 \text{ g/cm}^3$ 'e, vakumlu kurutma yönteminde $0,78 \text{ g/cm}^3$ 'e azalarak değişmiştir. Kurutma öncesi özgül ağırlığa göre klasik yöntemdeki azalma miktarının $0,21 \text{ g/cm}^3$, vakumlu yöntemdeki azalma miktarının $0,11 \text{ g/cm}^3$ olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre, kurutma öncesi çam odununun ortalama $0,74 \text{ g/cm}^3$ olan özgül ağırlığı klasik kurutma yönteminde $0,50 \text{ g/cm}^3$ 'e, vakumlu kurutma yönteminde $0,55 \text{ g/cm}^3$ 'e azalarak değişmiştir. Kurutma öncesi özgül ağırlığa göre klasik yöntemdeki azalma miktarının $0,24 \text{ g/cm}^3$, vakumlu yöntemdeki azalma miktarının $0,19 \text{ g/cm}^3$ olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre, özgül ağırlık değişimine etkileri bakımından kurutma yöntemi, odun türü ve bunların ikili etkileşiminin aralarındaki farklılık $0,05$ hata payı ile istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu tespit etmek için, özgül ağırlık ortalama değerlerine $0,95$ güven düzeyinde Duncan testi uygulanmıştır. Duncan testi sonuçlarından ağaç türüne ait değerler Çizelge 6'da, kurutma yöntemine ait değerler Çizelge 7'de ve bunların ikili etkileşimine ait değerler ise Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kayın örneklerin kurutma öncesi ve sonrası özgül ağırlık (g/cm^3) değişimi.

İst.	İşlemsiz	Klasik Kurutma Yöntemi		Vakumlu Kurutma Yöntemi	
	r (%40)	r (% 9)	Azalma	r (% 9)	Azalma
Min.	0,80	0,64	-	0,70	-
Max.	0,96	0,76	-	0,82	-
Ort.	0,89	0,68	0,21	0,78	0,11
s	0,0513	0,0367	-	0,0532	-

Çizelge 4. Sarıçam örneklerin kurutma öncesi ve sonrası özgül ağırlık (g/cm^3) değişimi.

İst.	İşlemsiz	Klasik Kurutma Yöntemi		Vakumlu Kurutma Yöntemi	
	r (%40)	r (% 9)	Azalma	r (% 9)	Azalma
Min.	0,66	0,45	-	0,47	-
Max.	0,83	0,55	-	0,61	-
Ort.	0,74	0,50	0,24	0,55	0,19
s	0,0536	0,0317	-	0,0505	-

Çizelge 5. Kurutma yöntemlerinin odun türüne göre özgül ağırlığa etkisine ait çoklu varyans analizi.

Varyans Kaynağı	S.D	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P<%5
Odun türü (A)	1	0,594	0,594	234,0860	0,0000
Kurutma yöntemi (B)	2	0,532	0,266	104,8717	0,0000
A x B	2	0,023	0,012	4,5654	0,0147
HATA	54	0,137	0,003		
Toplam	59	1,286			

Çizelge 6. Özgül ağırlık değişimine odun türünün etkisine ait Duncan testi sonuçları (g/cm³).

Odun türü	Ortalama	Homojenlik grubu
Sarıçam odunu	0,59	B
Doğu kayını odunu	0,79	A

LSD: 0,02835

Buna göre, özgül ağırlık değişimine odun türünün etkisi bakımından yüksek kayında 0,79 g/cm³, çamda ise 0,59 g/cm³ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 7. Özgül ağırlık değişimine kurutma yönteminin etkisine ait Duncan testi sonuçları (g/cm³).

Kurutma şartları	Ortalama	Homojenlik grubu
İşlemsiz r (% 40)	0,82	A
KL - r (% 9)	0,59	C
Vk - r (% 9)	0,67	B

LSD: 0,03473 KL: Klasik kurutma yöntemi, Vk: Vakumlu kurutma yöntemi, r: Özgül ağırlık

Buna göre, özgül ağırlık değişimine kurutma yönteminin etkisi bakımından işlemsiz dikkate alınmazsa, en yüksek vakumluda 0,67 g/cm³, klasik kurutmada ise 0,59 g/cm³ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 8. Özgül ağırlık değişimine odun türü ve kurutma yönteminin etkilerine ait Duncan testi sonuçları (g/cm³).

Odun türü ve kurutma şartları	Ortalama	Homojenlik grubu	
Sarıçam odunu	İşlemsiz r (% 40)	0,74	C
	KL - r (% 9)	0,50	F
	Vk - r (% 9)	0,55	E
Doğu kayını odunu	İşlemsiz r (% 40)	0,89	A
	KL - r (% 9)	0,68	D
	Vk - r (% 9)	0,78	B

LSD: 0,04911 KL: Klasik kurutma yöntemi, Vk: Vakumlu kurutma yöntemi, r: Özgül ağırlık

Buna göre, özgül ağırlık değişimine odun türü ve kurutma yöntemi ikili etkileşiminin etkisi bakımından, en yüksek işlemsiz (kurutulmamış) kayında 0,89 g/cm³, en düşük klasik kurutulmuş çamda 0,50 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. İşlemsiz olanlar dikkate alınmazsa, en yüksek vakumlu kurutulmuş kayında 0,78 g/cm³, daha sonra sırasıyla klasik kurutulmuş kayında 0,68 g/cm³, vakumlu kurutulmuş çamda 0,55 g/cm³ ve en düşük klasik kurutulmuş çamda 0,50g/cm³ olarak belirlenmiştir.

3.2. Kurutma Süreleri

Kurutma sürelerinin belirlenmesinde, kurutulacak parçanın kalınlığı önemli bir faktördür. Bu çalışmada elde edilen, her iki odun türünün malzeme kalınlığına ve kurutma yöntemine göre değişen kurutma süreleri kayın ve çam odunu için Çizelge 9'da verilmiştir.

Buna göre, sonuç rutubeti % 9 olmak şartıyla, klasik kurutmada kayın odununun kurutma süresi kalınlığa göre; 35 mm olan 18 gün, 50 mm olan 20 gün, vakumlu kurutmada ise 35 mm olan 6 gün, 50 mm olan ise 7 gün gibi düşük bir sürede gerçekleşmiştir. Çam odununun klasik kurutmada kuruma süresi kalınlığa göre; 35 mm olan 10 gün, 50 mm olan 14 gün, vakumlu kurutmada ise 35 mm olan 3 gün, 50 mm olan ise 5 gün gibi düşük bir sürede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

3.3. Eğilme Deneyi

Bu çalışmada elde edilen kurutma yöntemi ve odun türüne göre eğilme direnci ortalamaları Çizelge 10'da, bunlara ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 9. Kayın ve çam örneklerin klasik ve vakumlu fırınında kuruma süreleri.

Odun Türü	KURUTMA SÜRELERİ					
	Kurutma öncesi		Klasik kurutma yöntemi		Vakumlu kurutma yöntemi	
	Rutubet %	Kalınlık mm	Sonuç Rutubeti (%)	Süre (Gün)	Sonuç Rutubeti (%)	Süre (Gün)
Doğu kayını odunu	40	50	9	20	9	7
	40	35	9	18	9	6
Sarıçam odunu	40	50	9	14	9	5
	40	35	9	10	9	3

Çizelge 10. Kurutma metodu ve odun türüne göre eğilme direnci ortalamaları istatistiği

Odun Türü	İst.	Kurutma Yöntemi/ Eğilme Direnci (N/mm ²)		
		İşlemsiz (r: % 40)	Vk - (r: % 9)	Kl - (r: % 9)
Sarıçam odunu	Min	5,779	13,175	8,256
	Max	6,673	14,204	9,632
	Ort	6,171	13,587	9,287
Doğu kayını odunu	Min	6,536	15,342	12,177
	Max	7,430	16,856	13,209
	Ort	7,024	16,222	12,789

Buna göre, kurutma öncesi % 40 rutubet derecesinde tespit edilen eğilme direnç değerleri, kurutma gerçekleşikten sonra artmaktadır. Bu artış, en yüksek vakumlu kurutulmuş kayın odununda 16,222 N/mm², daha sonra sırasıyla vakumlu kurutulmuş çam odununda 13,587 N/mm², klasik kurutulmuş kayın odununda 12,789 N/mm² ve en düşük klasik kurutulmuş çam odununda 9,287 N/mm² olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 11. Kurutma yöntemi ve malzeme türüne ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	S.D	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P<%5
Kurutma yöntemi (A)	2	691,279	345,639	2097,2766	0,0000
Malzeme (B)	1	81,431	81,431	494,1096	0,0000
AxB	2	18,240	9,120	55,3370	0,0000
HATA	54	8,889	0,165		
Toplam	59	799,849			

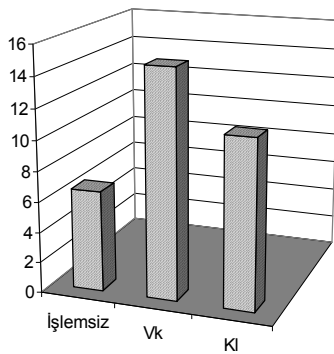
Buna göre, eğilme direncine etkileri bakımından kurutma yöntemleri ve odun türlerinin kendi aralarında ve faktörlerin ikili etkileşimlerinin farklılığı 0,05 hata payı ile istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu tespit etmek için ortalama değerlere 0,95 güven düzeyinde uygulanan Duncan testi sonuçları, kurutma yöntemi için Çizelge 12'de, odun türü için Çizelge 13'de, kurutma yöntemi - odun türü ikili etkileşimi için Çizelge 14'de verilmiştir.

Çizelge 12. Kurutma yöntemine göre Duncan testi sonuçları

Kurutma yöntemi	Ort.	H.G.
İşlemsiz - (r: % 40)	6, 598	(C)
Vk - (r: %9)	14, 910	(A)
Kl - (r: %9)	11, 040	(B)

LSD: 0,2575

Buna göre, eğilme direnci en yüksek vakumlu kurutmada % 9 rutubette 14,910 N/mm², klasik kurutmada % 9 rutubetle 11,040 N/mm², en düşük % 40 rutubette 6,598 N/mm², olarak elde edilmiştir. Bunlara ilişkin grafik Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kurutma metodunun eğilme direncine etkisine ait grafik

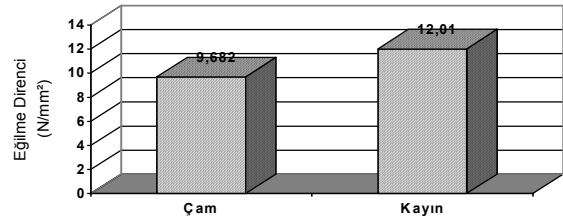
Çizelge 13. Odun türüne göre Duncan testi sonuçları (N/mm²)

Ağaç Türü	Ort.	H.G.
Sarıçam odunu	9,682	(B)
Doğu kayını odunu	12,010	(A)

LSD: 0,2103

Buna göre, eğilme direnci en yüksek kayın odununda 12,010 N/mm², en düşük çam odununda 9,682 N/mm²

olarak elde edilmiştir. Bunlara ilişkin grafik Şekil 3'de verilmiştir.



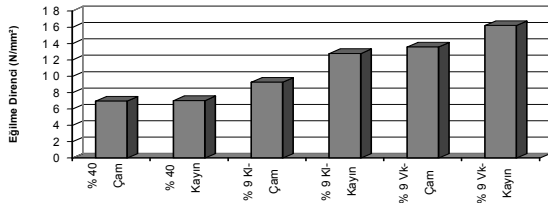
Şekil 3. Odun türünün eğilme direncine etkisine ait grafik

Çizelge 14. Kurutma yöntemi - odun türü ikili etkileşimine göre Duncan testi sonuçları (N/mm²)

Kurutma Yöntemi - Odun Türü	Ort.	H.G.
İşlemsiz r (% 40) - ÇAM	6,171	(F)
İşlemsiz r (% 40) - KAYIN	7,024	(E)
Kl - r (%9) - ÇAM	9,287	(D)
Kl - r (%9) - KAYIN	12,790	(C)
Vk - r (%9) - ÇAM	13,587	(B)
Vk - r (%9) - KAYIN	16,222	(A)

LSD: 0,3837

Buna göre, eğilme direnci en yüksek vakumlu kurutulmuş kayın odununda 16,222 N/mm², daha sonra sırasıyla vakumlu kurutulmuş çam odununda 13,587 N/mm², klasik kurutulmuş kayın odununda 12,790 N/mm² ve en düşük klasik kurutulmuş çam odununda 9,287 N/mm² olarak tespit edilmiştir. % 40 rutubette eğilme direnci kurutma yöntemlerinde kurutulanlardan daha düşük kayın odununda 7,024 N/mm² ve çam odununda 6,171 N/mm² olarak elde edilmiştir. Örneklerin kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra eğilme dirençlerindeki artışa ilişkin grafik Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Kurutma yöntemi- Odun türü ikili etkileşiminin eğilme direncine etkilerine ait grafik

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Özgül ağırlık

Özgül ağırlık tayininde örneklerin kurutulmadan önce ve kurutma fırınlarında kurutulduktan sonra özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Klasik kurutma ile kurutulan deney örneklerinde yapılan ölçümlerde; kayın odununda ortalama $0,68 \text{ g/cm}^3$, vakumlu fırında kurutulan kayın odununda $0,80 \text{ g/cm}^3$ olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3). Çam örneklerde ise klasik kurutmada $0,49 \text{ g/cm}^3$, vakumlu kurutmada $0,55 \text{ g/cm}^3$ olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4). Rutubet miktarlarının aynı olmasına rağmen bu özgül ağırlık farkının nedeni, vakumlu kurutmada kurutulan odunada vakum uygulandığı için, odunun bünyesindeki suyun çıkmasıyla boş kalan lümenlerde bir miktar çökme meydana gelmesinden ve kurumadan öncekine göre birim hacimdeki odun miktarının artmasından kaynaklanmış olabilir.

Kurutma süresi

Kurutma sürelerini belirlemek için aynı boyutlardaki deney örnekleri kurutulmuştur. Kurutma işlemleri sonunda, klasik kurutma süresi en uzun 50 mm'lik kayında 20 gün ve 35 mm'lik kayında 18 gün, en kısa 50 mm'lik çamda 14 gün ve 35 mm'lik çamda 10 gün belirlenmiştir. Vakumlu kurutma süresi en uzun 50 mm'lik kayında 7 gün ve 35 mm'lik kayında 6 gün, en kısa 50 mm'lik çamda 5 gün ve 35 mm'lik çamda 3 gün olarak tespit edilmiştir (Çizelge 9). Odun türü bakımından, çamın kayına göre daha çabuk kuruduğu, kurutma yöntemi bakımından, vakumlu yöntemin klasik yöntemle göre daha hızlı kuruttuğu görülmektedir. Bu sonuç Chen, Z., (2001)'in çalışmasının sonucu ile örtüşmektedir. Bunun nedeni, kayın odununda meydana gelen tülleşmenin kuruma sırasında rutubetin alınmasına engel olması ve vakumlama tekniği ile odun bünyesinden daha sistematik ve sürekli rutubet alınması olabilir.

Eğilme direnci

Klasik ve vakumlu kurutma yönteminin mekanik özellikleri etkileyip etkilemediğini belirlemek için yapılan eğilme deneylerinde, kontrol örneklerinden; kayının ortalama eğilme direnci $7,024 \text{ N/mm}^2$, çamın ise $6,171 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. Klasik yöntemle kurutulmuş kayın örneklerde $12,789 \text{ N/mm}^2$, çamda $9,287 \text{ N/mm}^2$, vakumlu yöntemle kurutulmuş kayın örneklerde $16,222 \text{ N/mm}^2$, çamda ise $13,587 \text{ N/mm}^2$ olarak elde edilmiştir. Bu durumda, kurutmanın genel

olarak odunun eğilme direncini artırdığı, bu artışın sonuç rutubetleri aynı olmasına rağmen kurutma yöntemi bakımından vakumlu yöntemde klasiğe göre daha yüksek miktarda meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni, vakumlu kurutmada kurutulmuş odunun hücrelerinin vakumlama sırasında çökmesiyle özgül ağırlıkta artış meydana gelmesi olabilir. Kontrol örneklerinin eğilme dirençleri esas alındığında, kayının eğilme direnci klasik yöntemle kurutmada 1.8 kat, vakumluda 2.3 kat, çamın eğilme direnci klasik yöntemle kurutmada 1.5 kat, vakumluda 2.2 kat artış kaydettiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, kurutulmuş odunun özgül ağırlığının ve eğilme direncinin daha çok artması neden olması ve daha kısa sürede kurutma yapılabilmesi nedeniyle, özellikle parke veya taban tahtası gibi sağlam olması istenilen ve devamlı basınç kuvveti ile karşı karşıya kalan ahşap elemanlar için vakumlu kurutma tercih edilebilirler. Ayrıca ahşap malzeme kurutma işlemi yapacak firmaların kurutma yöntemi tercihi yaparken şunları göz önünde bulundurmaları gereklidir. Düşük maliyetli, istenilen kurutma sonuçlarını yerine getirebilen, zaman kaybını önleyen yöntem olması. Bu faktörlere göre vakumlu kurutma yöntemi uygun bir alternatif olarak önerilebilir.

5. KAYNAKLAR

- Kantay, R., (1993), Kereste Kurutma ve buharlama, **İ.Ü. Orman Fakültesi**, Ormanlık Eğitim Ve Kültür Vakfı, Yayın No: 6
- Yadigaroglu, R., (1997), Trabzon (41 derece kuzey) İklim Koşullarında Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa* mill.) Kerestesinin Güneş Fırınında ve Açık Havada Kurutulması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon.
- Ünsal, Ö., (1994), Ceviz Kerestenin Teknik Kurutma Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Ünsal, Ö., (1999), Buharlanmış ve Buharlanmamış Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uysal, B., (1993), Ankara ve Çevresinde Mobilya Endüstrisinde Kullanılan Ahşap Malzemenin Kurutulmasında Kullanılan Yöntemlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atria, (2001), Üretici Firma Broşürü, İstanbul.
- Mühlböck, (2001), Üretici Firma Broşürü, İstanbul.
- Örs, Y., (1986), Odunun Fiziksel Özellikleri, **K.Ü. Orman Fakültesi** Yayını, No:11, Trabzon.
- Ünsal, Ö., (2002), Teknik Kurutma Fırın Boyutlarının ve Hava Hareket Hızının Kurutma Kalitesi ve Süresi Üzerine Etkisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri:A, c.2, s.1, 101-111, İstanbul.
- Serbes, T., (2003), İki Farklı Kurutma Yöntemi İle Kurutulmuş Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik

- Özelliklerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
11. Chen, Z., (2001), Vacuum Drying Of Small Wood Components At Room Temperature, Forest Products Journal, October.
12. TS. 2470, (1976), Odunda Fiziksel Ve Mekanik Deneyler İçin Numune Alma Metotları Ve Genel Özellikler, T.S.E., Ankara.
13. TS. 2471, (1976), Odunda, fiziksel ve mekaniksel Deneyler için Birim Hacim Rutubet Miktarı Tayini, T.S.E., Ankara.
14. TS. 2472, (1976), Odunda, fiziksel ve mekaniksel Deneyler için Birim Hacim Ağırlığı Tayini, T.S.E., Ankara.