

Isıl İşlemin Bazı Ağaç Malzemelerin Eğilme ve Basınç Direncine Etkileri

Şemsettin DORUK, Osman PERÇİN

ÖZET

Bu çalışmada sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) ve kara kavak (*Populus nigra L.*) odunlarından elde edilen örnekler 130, 165 ve 200 °C'de 2, 6 ve 10 saat süre ile ısıl işleme maruz bırakıldıktan sonra örnekler üzerinde TS 2474 esaslarına uygun olarak eğilme ve TS 2595 esaslarına uygun olarak liflere paralel basınç direnci uygulanmıştır.

Deney sonucunda, ısıl işlem süresine ve sıcaklık miktarının artmasına bağlı olarak ağaç malzemenin rengi koyulaşırken basınç direncinde en yüksek değer kontrol kayın örneklerinde 70,94 (N/mm²) olarak elde edilirken en küçük değer ise 200 °C'de 10 saat ısıl işlem uygulanmış kavak odununda 37,09 (N/mm²) olarak elde edilmiştir. Eğilme direncinde de, en yüksek eğilme direnci değeri kontrol kayın odununda 105,7 (N/mm²) olarak bulunurken en düşük eğilme direnci 10 saat süre ile ısıl işleme tabi tutulan kavak odununda 49,17 (N/mm²) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak ısıl işlemin süresi ve sıcaklığı arttıkça eğilme ve basınç değerlerinde belli oranlarda kayıpların yaşandığı söylenebilir.

Anahtar Kelimeler : ısıl işlem, ağaç malzeme, eğilme direnci, basınç direnci

Effects of Heat Treatment on Bending and Compression Strengths of Some Wood

ABSTRACT

In this study, After Scots pine (*Pinus sylvestris L.*), oriental beech (*Fagus orientalis L.*) and black poplar (*Populus nigra L.*) were heat-treated for 2 hours, 6 hours and 10 hours at 130°C, 165°C and 200 °C, bending and compression tests were carried out according to the TS 2474 and the TS 2595.

Experimental results, as depending on the heat treatment time and temperature, increase the wood the color of the dark. While highest pressure resistance the value controls beech samples 70.94 (N/mm²) was obtained, the lowest value and 200 ° C, 10 h heat treated poplar wood in the 37,09 (N/mm²) was obtained. In addition to, highest bending strength controls beech samples 105,7 (N/mm²) was obtain, lowest value and 200 ° C, 10 h heat treated poplar wood in the 49,17 (N/mm²) was obtained. Based on this results, increase of heat treatment time and temperature, values of on the bending and pressure strength can be said.

Keywords : heat treatment, wood material, bending strength, pressure resistance

1. GİRİŞ

Ağaç malzemenin çeşitli yöntemlerle özelliklerinin geliştirilmesi hakkında birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Yapılan tüm bilimsel araştırmalar ve çalışmalar sonucunda ortaya çıkan yöntemlere genel anlamda "Odun Modifikasyonu Yöntemleri" denilmektedir. Bu alanda geliştirilen çalışmalardan birisi de ağaç malzemenin ısıl işlem yöntemiyle modifiye edilmesidir (Bourgois ve ark., 1998) ve (Tjeerdsma ve ark., 1998).

Odunun ısıl işleme tabii tutulması bilimsel olarak ilk defa Almanya'da 1930'lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafında yapılmıştır. 1940'lı yıllarda Amerika'da White

Makale 07.06.2010 tarihinde gelmiş, 29.09.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

Ş. DORUK, D.P.Ü. Simav Teknik Eğitim Fak. Mobilya ve Dekorasyon Eğit.

e-posta : sdoruk@gazi.edu.tr

O.PERÇİN, G.Ü. Teknik Eğitim Fak. Mobilya ve Dekorasyon Eğit

e-posta : opercin@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.2, 143-150

ve 1950'li yıllarda Almanya'da Bavendam, Rundel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman ve Schnoider 1960'lı yıllarda buldukları bilgileri yayınlamışlar ve bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır (Mayes and Oksanen, 2002). Bu alanda yapılan çalışmalar özellikle 1990'lı yıllardan sonra Finlandiya, Hollanda ve Fransa'da bilim adamları tarafından daha ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiş son 10-15 yılda yoğunlaşmıştır. Günümüzde ısıl işlem ya da piyasada yaygın olarak bilinen adıyla "ThermoWood" uygulaması Avrupa'nın birçok ülkesinde değişik isim ve yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlar; ağaç malzemenin ısıtılması için buhar kullanılan Finlandiya (Thermowood) yöntemi, Hollanda buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, Fransız (Rectification) inert gaz kullanılan yöntem ve sıcak yağ kullanılan Alman (OHT) yöntemidir (Mayes, Oksanen, 2002).

Ağaç malzemenin türüne, boyutlarına, ilk baştaki rutubet yüzdesine, ağaç malzemenin beklenen özelliklere, mekanik özelliklere, biyolojik saldırılara karşı direnç kazanmasına ve boyutsal kararlılık gibi nedenlere

bağlı olarak ısı işlem uygulamasında sıcaklık genellikle 180 ile 280 °C arasında tutulurken ısı işlem süresi de, 15 dakika ile 24 saat arasında değişmektedir (Kamdem ve ark.,2002).

Ağaç malzemenin ısı işlemle muamele edilmesi sonucunda içinde barındırdığı yapı taşlarından selüloz, hemiselüloz ve lignin yapısında değişik kompleks yapılar meydana gelmektedir. Böylelikle ağaç malzemenin bazı özellikleri geliştirilirken özellikle mekanik değerlerde düşüşlerin yaşandığı belirlenmiştir (Mitchell, 1988). Ağaç malzemenin özellikle ısı işlem sıcaklığından süreye göre daha fazla etkilendiği, 150 °C ve üzeri sıcaklık uygulamalarında mekanik özelliklerin zayıfladığı belirtilirken biyolojik dayanıklılığın arttığı vurgulanmıştır (Ja'msa" and Viitaniemi, 2001, Mazela at all.,2004)

Ünsal ve Ayrılmış (2005) Okalıptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odunu ile yaptıkları çalışmada; ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak basınç direncinin önemli oranda azaldığını, 180 °C'de 10 saat ısı işlem uygulanmış numunelerin basınç direnci değerinin kontrol örneklerine göre %19 daha düşük olduğu belirlenmiştir (Ünsal, Ayrılmış, 2005).

Aydemir (2007) Göknar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgeç (*Carpinus betulus* L.) odunları ile yaptığı çalışmada; 210 °C'de 12 saat ısı işlem uygulandığında basınç direncinin gürgende %25.81 ve göknarda %24.46, Brinell sertlik değerlerinin göknarda enine kesitte %41.13, radyal kesitte %44.76, teğet kesitte %38.92 ve gürgende enine kesitte %37.47, radyal kesitte %54.45, teğet kesitte %53.59 azaldığını ifade etmiştir (Aydemir, 2007).

Korkut (2008) Uludağ Göknarı (*Abies bormülleriana* Mattf.) ile yaptığı çalışmada; 180 °C'de 10 saat ısı işlem uygulandığında basınç direncinde %29.41, eğilme direncinde %29.28, eğilmede elastikiyet modülünde %40.08, enine kesit janka sertliğinde %22.43, radyal kesit janka sertliğinde %23.27, teğet kesit janka sertliğinde %16.19, dinamik eğilme direncinde %39.24 ve liflere dik çekme direncinde %28.14'lük bir azalma tespit etmiştir (Korkut, 2008).

Basınç direncine, ağaç malzemeye uygulanan ısı işlemin etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada da, *Quercus Suber* odunu 100 ve 300 °C'de ısı işleme tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda, 300 °C'de su buharı ortamında ısı işleme maruz bırakılan örneklerde kontrol örneklerine göre direnç kayıplarının fazla olduğu bunun da ısıya maruz kalan ağaç malzemenin termal bozunmasıyla ilişkili olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada hava ortamında ısıyla muamele edilen örneklerde ise örneklerde direnç kaybı su buharı ortamında meydana gelen direnç kaybı kadar yüksek bulunmamıştır (Rozsa, Fortes, 1989).

Çam odunları 180-250 °C sıcaklıklarda su buharı koruması altında ısı işleme tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak ısı işleme maruz kalan örnekler kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında belli oranlarda eğilme direncinde kayıpların yaşandığı belirlenmiştir (Viitaniemi, 1997).

Farklı sıcaklıklarda ve sürelerde ısı işleme maruz bırakılan çam ve kayın diri odunlarında yapılan deneysel incelemelerde özellikle her iki ağaç türünde 150 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda eğilmede elastikiyet modülünde bir azalmanın meydana geldiği belirtilmiştir. Bununla beraber basınç direnci az miktarda etkilenirken şok direnci daha fazla etkilenmiştir (Schneider, 1971).

Isı işlem uygulamasının sert lif levhalarda mekanik özelliklere etkisinin araştırılması için yapılan çalışmada 140 ve 180 °C sıcaklıklarda çeşitli sürelerde ısı işlem uygulanmıştır. Sonuç olarak, eğilme ve çekme dirençlerinde sıcaklığın ve sürenin belli seviyelere kadar yükseltilmesinde benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır (Voss, 1952).

Isı işlem uygulamasının Okalıptüs (*Eucalyptus saligna*) odununda direnç özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla; Okalıptüs (*Eucalyptus saligna*) odunundan elde edilen örnekler 105–155 °C sıcaklıklarda 10 ile 160 saat arasında değişen sürelerde ısı işleme tabi tutulduktan sonra sonuçlar deneysel metotla belirlenmiştir. Deney sonucunda sıcaklığın ve sürenin artmasıyla, eğilme direncinde, eğilmede elastikiyet modülünde, liflere paralel basınç ve makaslama dirençlerinde ciddi oranlarda düşüşlerin yaşandığı belirtilmiştir (Vital, Lucia, 1983).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Ağaç malzeme

Deney örneklerinin hazırlanmasında ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iğne yapraklı ağaçlardan, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), yayvan yapraklı ağaçlardan, Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve kara kavak (*Populus nigra* L.) odunları kereste işletmelerinden tesadüfi metotla temin edilmiştir. Ağaç malzemenin seçiminde kerestenin sağlıklı, liflerinin düzgün, budaksız, normal büyüme göstermiş, reaksiyon odunu bulunmayan, mantar ve böcek zararlarına uğramış olmasına özen gösterilmiştir. Deney örnekleri, ağaç malzemenin diri odun kısmından alınmıştır.

2.2. Deney örneklerinin hazırlanması

Eğilme direncinin tespiti için TS 2474 (Anonim, 1976) esaslarına uygun olarak 20 x 20 x 360 mm boyutlarında, her bir kombinasyonda 10'ar adet olmak üzere toplam 300 örnek hazırlanmıştır.

Eğilme direncinde kırılma anındaki maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden belirlenmiş ve eğilme direnci (σ_E) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\sigma_E = 3.F_{max}.L / 2.b.h^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Burada;

σ_E : Eğilme direnci (N/mm²)

F_{max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L : Dayanak noktası arasındaki mesafe (mm)

b : Örneğin genişliği (mm)

h : Örneğin kalınlığı (mm)

TS 2595'e göre 20 x 20 x 30 mm boyutlarında her bir varyasyon için 10'ar adet olmak üzere toplam 300 adet hazırlanan örneklere liflere paralel basınç deneyi uygulanmıştır. Kırılma anındaki kuvvet (F_{max}) be-

lirlenerek liflere paralel basınç direnci (σ/B) aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma/B = F_{\max} / a.b \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Burada;

σ/B : Liflere paralel basınç direnci (N/mm²)

F_{\max} : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

a : Dene parçasının kalınlığı (mm)

b : Dene parçasının genişliği (mm)

Dene örneklerine üniversal test cihazında, 2 mm/dk yüklenme hızıyla eğilme ve liflere paralel basınç deneyleri uygulanmıştır (Anonim, 1978).

2.3. Isıl İşlem

Hava kurusu haldeki sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) ve kara kavak (*Populus nigra L.*) odunlarından standartlara uygun olarak hazırlanan dene örnekleri uygulama şartlarının etkinliğinin en aza indirgenmesi için iklimlendirme dolabında 20°C ±1 sıcaklıkta ve %65±2 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelene kadar bekletilmişlerdir. Daha sonra sıcaklık duyarlılığı ±1°C olan bir etüv kullanılarak atmosferik basınç altında ve hava ortamında ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlem uygulaması her bir ağaç türü için, 130, 165 ve 200°C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat süre ile yapılmıştır. Isıl işlem uygulamasından sonra etüvden alınan örnekler tekrar iklimlendirme dolabında 20°C ±1 sıcaklıkta ve %65±2 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelene kadar bekletilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Liflere Paralel Basınç Direnci

Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) ve kara kavak (*Populus nigra L.*) odunlarından hazırlanan örnekler üzerinde gerçekleştirilen liflere paralel basınç direnci varyans analizi değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Liflere paralel basınç direnci değerlerine ait varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü	21299.808	2	10649.904	1821.5316	0,0000
İşlem süresi	573.548	2	286.774	49.0490	0,0000
Ağaç türü * İşlem süresi	29.238	4	7.310	1.2502	0.2896
İşlem sıcaklığı	4252.265	3	1417.422	242.4321	0.0000
Ağaç türü * İşlem sıcaklığı	227.664	6	37.944	6.4898	0.0000
İşlem süresi * İşlem sıcaklığı	312.020	6	52.003	8.8945	0.0000
Ağaç türü * İşlem süresi * İşlem sıcaklığı	157.556	12	13.130	2.2457	0.0098
Hata	1894.323	324	5.847		
Toplam	28746.422	359			

Varyans analizi sonuçlarına göre; liflere paralel basınç direnci deneyi sonuçları üzerinde ağaç türü, işlem süresi, işlem sıcaklığı, ağaç türü-ışlem sıcaklığı, işlem süresi-ışlem sıcaklığı ve ağaç türü-ışlem süresi-ışlem sıcaklığı üçlü etkileşiminin basınç direnci değerlerine etkisi 0.05 yanılma olasılığı için anlamlı bulunmuştur. Ancak ağaç türü ve işlem süresinin etkileşimi anlamlı bulunmamıştır.

Anlamlı bulunan ağaç türü faktörü için yapılan LSD testinin sonuçları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ağaç türü faktörüne göre ortalama basınç performansı homojenlik grupları

Ağaç türü	Ort. (N/mm ²)	HG
Sarıçam	52.26	B
Kayın	65.27	A
Kavak	46.96	C

LSD: 0.6139

Buna göre; en yüksek basınç direnci kayın odununda 65.27 N/mm², en düşük ise kavak odununda 46.96 N/mm² elde edilmiştir. Kayın odununun basınç direnci sarıçam odununa göre %19,93, kavak odununa göre %28.08 daha fazla çıkmıştır.

Isıl işlem süresine bağlı basınç direnci değerleri ile ilgili LSD testi ve homojenlik grupları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Isıl işlem süresine göre ortalama basınç direnci değerleri homojenlik grupları

İşlem süresi(saat)	Ort. N/mm ²	HG
2	56.32	A
6	54.94	B
10	53.23	C

LSD = 0.6139

Isıl işlem süresi faktörüne göre basınç direncinde en yüksek değer 2 saat sonunda 56.32 N/mm² en düşük değer ise 10 saat sonunda 53.23 N/mm² olarak elde edilmiştir. 2 saatlik ortalama basınç direnci 6 saatlik ortalama basınç direncine göre %2.45, 10 saatlik basınç direncine göre ise %5.48 daha fazla çıkmıştır.

Isıl işlem sıcaklığına bağlı basınç direnci değerleri ile ilgili LSD testi sonuçları ve homojenlik grupları Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Isıl işlem sıcaklık faktörüne göre ortalama basınç direnci değerleri homojenlik grupları

İşlem Sıcaklığı(°C)	Ort.(N/mm ²)	HG
Kontrol	59.17	A
130°C	56.42	B
165°C	53.90	C
200 °C	49.83	D

LSD = 0.7089

Isıl işlem sıcaklık faktörüne göre ortalama basınç direncinde en yüksek değer kontrol örneklerinde 59.17(N/mm²) olarak çıkarken bunu sırası ile 135 °C'de 56.42 (N/mm²), 160 °C'de 53.90 (N/mm²) ve 200 °C'de 49.83 (N/mm²) değerleri izlemiştir. Kontrol örnekleri 135 °C'de yapılan basınç direnci değerlerine göre %4.64, 160 °C'de yapılan basınç direnci değerlerine göre %8.90 ve 200 °C'de yapılan basınç direnci değerlerine göre ise %15.78 daha fazla elde edilmiştir.

Buna göre; ağaç türü, ısıl işlem süresi ve sıcaklığının etkileşimine göre en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri kayın kontrol örneklerinde 70.94 (N/mm²), en düşük 200 °C'de 10 saat ısıl işleme maruz bırakılan kavak odununda 37.09 (N/mm²) olarak elde edilmiştir.

Ağaç türü, ısıl işlem zamanı ve işlem sıcaklıklarına göre basınç direnci değerleri grafiksel olarak Şekil 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Ağaç türü – ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine göre ortalama basınç direnci değerleri homojenlik grupları

Ağaç türü İşlem sıcaklığı	Sarıçam		Kayın		Kavak	
	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG
Kontrol	57.03	E	70.94	A	49.54	H
130°C	53.97	F	66.58	B	48.71	H
165°C	50.90	G	63.58	C	47.22	I
200 °C	47.13	I	59.98	D	42.38	J

LSD = 1.228

Çizelge 2.6. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı ikili etkileşimine göre ortalama basınç direnci homojenlik grupları (N/mm²)

İşlem süresi İşlem sıcaklığı	2		6		10	
	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG
Kontrol	59.17					A
130°C	57.75	B	56.23	C	55.28	CD
165°C	55.63	C	54.08	D	51.99	E
200 °C	52.72	E	50.28	F	46.49	G

LSD = 1.228

Ağaç türü- ısıl işlem sıcaklığı ikili etkileşimine bağlı basınç direnci değerleri ile ilgili homojenlik grupları ve LSD değeri Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Ağaç türü ve ısıl işlem sıcaklığı etkileşimine göre en yüksek değer kontrol kayın odununda 70.94 (N/mm²), en düşük ise 200 °C'de ısıl işlem gören kavak odununda 42.38 (N/mm²) olarak elde edilmiştir.

Isıl işlem süresi ve sıcaklık ikili etkileşimine bağlı basınç direnci değerleri ile ilgili homojenlik grupları ve LSD değeri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

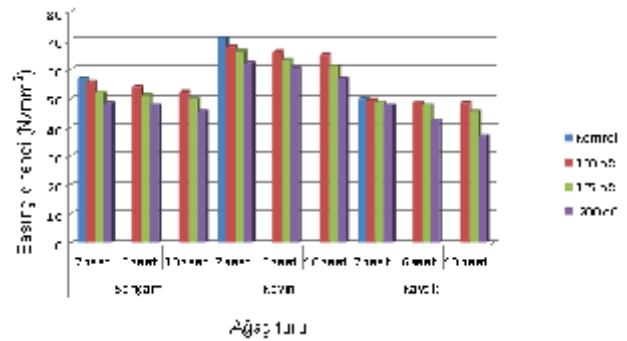
İşlem süresi ve ısıl işlem sıcaklığı etkileşimine göre en yüksek değer kontrol kayın odununda 59.17 (N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 10 saat ısıl işlem gören örneklerde 46.49 (N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü, ısıl işlem süresi ve sıcaklık üçlü etkileşimine bağlı basınç direnci değerleri ile ilgili homojenlik grupları ve LSD değeri Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Ağaç türü, ısıl işlem süresi ve sıcaklığı üçlü etkileşimine göre ortalama basınç direnci değerleri homojenlik grupları(N/mm²)

	Sarıçam			Kayın			Karakavak		
	2 Saat	6 Saat	10 Saat	2 Saat	6 Saat	10 Saat	2 Saat	6 Saat	10 Saat
Kontrol	57.03 G			70.94 A			49.54 KLM		
130°C	55.67 GH	53.88 HI	52.35 IJ	68.19 B	66.34 BC	65.20 CD	49.37 KLM	48.48 LM	48.28 LM
165 °C	51.79 IJ	51.25 JK	49.66 KL	66.41 BC	63.29 DE	61.05 F	48.69 LM	47.69 LM	45.27 Q
200 °C	48.40 LM	47.65 LM	45.33 NO	62.33 EF	60.57 F	57.03 G	47.44 MN	42.60 P	37.09 Q

LSD = 2.127



Şekil 2.3. Ağaç türü, ısıl işlem zamanı ve işlem sıcaklığına göre basınç direnci değerleri

3.2. Eğilme Direnci

Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) ve kara kavak (*Populus nigra L.*) odunlarından hazırlanan örnekler üzerinde

gerçekleştirilen eğilme direnci varyans analizi değerleri Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Bu sonuçlara göre; eğilme direnci deneyi sonuçları üzerinde yapılan incelemelerde ağaç türü, işlem süresi, ağaç türü-ışıl işlem süresi, işlem sıcaklığı, ağaç türü-ışıl işlem sıcaklığı, işlem süresi-ışıl işlem sıcaklığı ve ağaç türü-ışıl işlem sıcaklığı etkileşim değerleri 0.05 yanılma olasılığı için anlamlı bulunmuştur.

Anlamlı bulunan ağaç türü faktörü için yapılan LSD

Çizelge2.8. Eğilme direncine ait varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü	94159.450	2	47079.725	3495.5030	0.0000
İşlem süresi	1051.407	2	525.704	39.0316	0.0000
Ağaç türü *İşlem süresi	197.553	4	49.388	3.6669	0.0062
İşlem sıcaklığı	10922.728	3	3640.909	270.3246	0.0000
Ağaç türü * İşlem sıcaklığı	721.321	6	120.220	8.9259	0.0000
İşlem süresi * İşlem sıcaklığı	722.103	6	120.351	8.9356	0.0000
Ağaç türü *İşlem süresi * İşlem sıcaklığı	497.280	12	41.440	3.0768	0.0004
Hata	4363.844	324	13.469		
Toplam	112635.686	359			

testi ve homojenlik grubu sonuçları Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Ağaç türüne göre ortalama eğilme direnci değerlerinin homojenlik grupları

Ağaç türü	Ort. (N/mm ²)	HG
Sarıçam	79.25	B
Kayın	99.71	A
Kavak	60.11	C

LSD: 0.9318

Ağaç türü faktörüne göre eğilme direncinde en yüksek değer kayın odununda 99.71 (N/mm²), en düşük ise kavak odununda 60.11 (N/mm²) elde edilmiştir. Kayın odunu sarıçam odununa göre %20.51, kavak odununa göre %39.71 daha fazla çıkmıştır.

Anlamlı bulunan ısı işlem faktörü için yapılan LSD testi ve homojenlik grupları Çizelge 2.10’da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Isıl işlem süresine göre eğilme direnci homojenlik grupları ve LSD testi

İşlem süresi(saat)	Ort. (N/mm ²)	HG
2	81.77	A
6	79.73	B
10	77.58	C

LSD = 0.9318

Çizelge 2.12. Ağaç türü, ısı işlem süresi etkileşimine göre eğilme direnci homojenlik grupları

Ağaç türü \ İşlem süresi	Sarıçam		Kayın		Kavak	
	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG
2 saat	80.62	D	102.8	A	61.88	F
6 saat	79.26	DE	100.2	B	59.75	G
10 saat	77.86	E	96.19	C	58.69	G

LSD = 1.614

Isıl işlem süresi faktörüne göre eğilme direncinde en yüksek değer 2 saatlik ısı işlem uygulamasında 81.77 (N/mm²), en düşük değer ise 10 saatlik ısı işlem uygulamasında 77.58 (N/mm²) olarak elde edilmiştir. 6 saatlik ısı işlem uygulamasındaki eğilme direnci 2 saatlik ısı işlem uygulamasına göre %2.49 azalış gösterirken, 10 saatlik ısı işlem uygulaması %5.12 oranında bir azalma meydana gelmiştir.

Anlamlı bulunan ısı işlem sıcaklığı faktörü için yapılan

LSD testi ve homojenlik grupları Çizelge 2.11’de verilmiştir.

Çizelge 2.11. Isıl işlem sıcaklığı faktörüne göre yapılan LSD testi ve homojenlik grupları

İşlem Sıcaklığı	Ort.(N/mm ²)	HG
Kontrol	85.00	A
130°C	83.99	A
165°C	78.66	B
200 °C	71.11	C

LSD = 1.076

Isıl işlem sıcaklık faktörüne göre eğilme direncinde en yüksek değer kontrol örneklerinde 85 (N/mm²), en düşük eğilme direnci değeri 200 °C’de ısı işlem uygulanan örneklerde 71.11 (N/mm²) elde edilmiştir. Kontrol örneklerine göre; 135°C’de ısı işleme tabi tutulan örneklerin eğilme dirençleri %1.18, 165°C’de ısı işleme tabi tutulan örneklerin eğilme dirençleri %7.45, 200°C’de ısı işleme tabi tutulan örneklerin eğilme dirençleri ise %16.24 oranında azalmıştır.

Ağaç türü, ısı işlem süresi etkileşimi faktörüne göre yapılan LSD testi ve homojenlik grubu Çizelge 2.12’de verilmiştir.

Ağaç türü ve ısıtma işlem süresi etkileşimine göre en yüksek değer 2 saat ısıtma işlemi tabii tutulan kayın ağacında 102.8 (N/mm²), en düşük ise 10 saat ısıtma işlemi gören kavak odununda 58.69 (N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü, ısıtma işlem sıcaklığı ikili etkileşimi için yapılan LSD testinin sonuçları ve homojenlik grubu Çizelge 2.13'te verilmiştir.

Çizelge 2.13. Ağaç türü-ısıtma işlem sıcaklığı ikili etkileşimine göre eğilme direnci homojenlik grupları

Ağaç türü / İşlem sıcaklığı	Sarıçam		Kayın		Kavak	
	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG
Kontrol	82.46	D	105.7	A	66.84	G
130°C	81.96	D	104.8	A	65.18	G
165°C	79.18	E	98.77	B	58.02	H
200 °C	73.40	F	89.55	C	50.39	I

LSD= 1.864

Ağaç türü ve ısıtma işlem sıcaklığı etkileşimine göre en yüksek değer kontrol kayın odununda 105.7 (N/mm²), en düşük ise 200 °C'de ısıtma işlemi tabii tutulan kavak örneklerinde 50.39 (N/mm²) elde edilmiştir.

İşlem süresi ve işlem sıcaklığı etkileşiminin LSD sonuçları ve homojenlik grupları Çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.14. İşlem süresi ve işlem sıcaklığı etkileşimine göre eğilme direnci homojenlik grupları

İşlem süresi / İşlem sıcaklığı	2		6		10	
	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG	Ort.(N/mm ²)	HG
Kontrol	85.00					A
130°C	85.13	A	83.96	AB	82.88	BC
165°C	81.54	C	78.26	D	76.16	E
200 °C	75.38	E	71.67	F	66.28	G

İşlem süresi ve işlem sıcaklığı etkileşimine göre en yüksek değer 135 °C'de 2 saat süre ile ısıtma işlemi tabii tutulan örneklerde 85.13 (N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 10 saat ısıtma işlemi tabii tutulan örneklerde 66.28 (N/mm²) elde edilmiştir.

Eğilme direnci değerlerinde ağaç türü, ısıtma işlem süresi ve sıcaklık etkileşimine göre yapılan LSD testi sonuçları ve homojenlik grubu Çizelge 2.15'te verilmiştir.

Eğilme direnci değerlerinde ağaç türü, ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının etkileşiminin incelendiğinde en yüksek kontrol kayın odununda 105.7 (N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 10 saat ısıtma işlemi gören kavak odununda 49.17 (N/mm²) elde edilmiştir.

Çizelge 2.15. Ağaç türü, ısıtma işlem süresi ve sıcak üçlü etkileşimine göre eğilme direnci homojenlik grupları

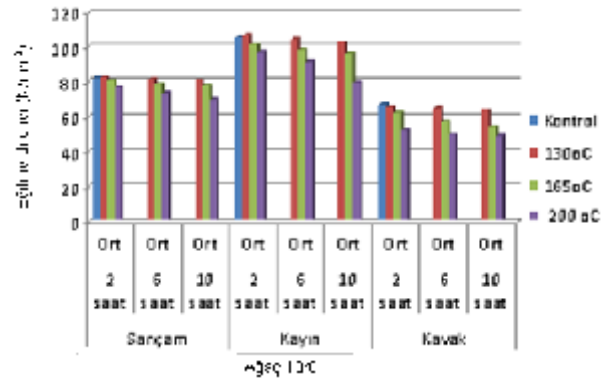
	Sarıçam			Kayın			Karakavak		
	2 Saat	6 Saat	10 Saat	2 Saat	6 Saat	10 Saat	2 Saat	6 Saat	10 Saat
Kontrol	82.46 G			105.7 AB			66.84 LM		
130 °C	82.58 G	81.97 GH	81.32 GH	107.0 A	104.7 AB	102.9 BC	65.85 M	65.25 MN	64.45 MN
165 °C	80.99 GHI	78.76 HIJ	77.78 IJ	101.4 CD	98.54 DE	96.41 E	62.27 N	57.49 O	54.29 OP
200 °C	76.46 JK	73.86 K	69.89 L	97.14 E	91.72 F	79.78 GHI	52.55 PQ	49.44 QR	49.17 R

LSD = 3.228

İşlem süresi, sıcaklık ve ağaç türüne göre eğilme direnci değerleri Şekil 2,3'te grafiksel olarak verilmiştir.

Eğilme direnci değerlerinde ağaç türü, ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının etkileşiminin incelendiğinde en yüksek kontrol kayın odununda 105.7 (N/mm²), en düşük ise 200 °C'de 10 saat ısıtma işlemi gören kavak odununda 49.17 (N/mm²) elde edilmiştir.

İşlem süresi, sıcaklık ve ağaç türüne göre eğilme direnci değerleri Şekil 2,3'te grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 2. 3. İşlem süresi, işlem sıcaklığı ve ağaç türüne göre eğilme direnci değerleri

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Liflere paralel basınç direnci değerlerinde ağaç türleri arasında Doğu kayını istatistiksel olarak en yüksek, kavak en düşük değeri vermişlerdir. Bu durum kayın odunun hücre çeperlerinin kalın, trahe sayısının fazla, lümen boşluğunun dar ve malzeme yoğunluğunun yüksek olmasından, kavak ise hücre çeperlerinin ince lümenleri geniş ve malzeme yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanmış olabilir.

Liflere paralel basınç direncinde ısıtılma işlemiyle ilgili olarak meydana gelen en büyük direnç kaybı; kontrol örneklerine göre 200 °C'de 10 saat ısıtılma işlemi gören kavak odununda % 25.13 oranında meydana gelirken bunu 200 °C'de 10 saat ısıtılma işlemi gören sarıçam % 20.51 ve 200 °C'de 10 saat ısıtılma işlemi gören kayın odunları % 19.60 izlemiştir. Eğilme direncinde; en fazla direnç kaybı kontrol örneklerine göre 200 °C'de 10 saat ısıtılma işlemi gören kavak odununda % 26.43 oranında meydana gelirken bunu 200 °C'de 10 saat ısıtılma işlemi gören kayın odunu % 24.52 ve 200 °C'de 10 saat ısıtılma işlemi gören sarıçam odunu %15.24 olarak izlemiştir.

100-300 °C sıcaklıklarda ısıtılma işlemiyle tabii tutulan *Quercus Suber* odununda yapılan ısıtılma işlemi uygulamasında basınç direncinde kontrol örneklerine göre önemli derecelerde kayıpların yaşandığı ve bu kayıpların hücre çeperlerinde meydana gelen termal bozunmayla ilişkili olduğu belirtilmiştir (Rozsa, Fortes, 1989).

Stiren, akrilonitril ve metilmetakrilat karışımı ve fenol formaldehit reçinesi ile muamele edildikten sonra 200 ve 300 °C sıcaklıklarda ısıtılma işlemiyle tabii tutulan kayın odununda eğilme ve basınç dirençlerinde ısıtılma işlemiyle ilgili olarak belli oranlarda düşüşlerin yaşandığı, bu düşüşlerin ısıtılma işlemi sonrasında meydana gelen ağırlık kayıplarından olduğu belirtilmiştir (Panaiotov, Mateeva, 1984).

Ocalitus (Eucalyptus saligna) odununu 105-155 °C' de 10-160 saat süre ile termo işleme maruz bırakılmıştır. Deney sonucunda odun sıcaklığı ve termo işlem süresinin artmasıyla; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç ve makaslama direnci değerlerinde azalmalar olduğunu belirlemiştir (Vital, Lucia, 1982).

Sarıçam odunu 150,170 ve 190 °C' de 4,6 ve 8 saat süre ile ısıtılma işlemiyle tabii tutulduktan sonra teknolojik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi sonucunda, ısıtılma işlemi sıcaklığına ve süresine bağlı olarak en fazla etkilenen eğilme direnci olmuştur. Eğilme direnci ısıtılma işlemi şartları ağırlaştıkça düşerken basınç direnci artmıştır (Özçifçi ve ark.,2009)

Sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında benzer sonuçlar bulunmuştur. Genel olarak ısıtılma işlemi süresi ve uygulama sıcaklığı arttıkça ağaç malzemenin basınç ve eğilme dirençleri azalmıştır. Çalışma sonucunda, 130°C' de yapılan uygulamalardaki direnç kayıpları 165 ve 200 °C'de yapılan uygulamalar kadar eğilme ve basınç dirençlerini etkilememiştir. En fazla direnç kaybı 200 °C' de meydana gelirken bu sıcaklıkta da 10 saat süre ile muamele edilen örneklerde görül-

müştür. Ağaç malzemelerde direnç kayıplarının yaşanmasında, ağaç malzemelerdeki ısıtılma işlemiyle ilgili olarak meydana gelen kütle kayıplarının ve muamele sonrasında oluşan kompleks yapının neden olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca muamele sonrasında özellikle yüksek sıcaklık ve sürede ağaç malzemelerin rengi daha koyu bir hal almaktadır. Bu yönüyle de ısıtılma işlemi sıcaklığı süreye göre ağaç malzemenin yapısını daha fazla etkilemektedir.

Sonuç olarak, ısıtılma işlemiyle gören ağaç malzemenin teknolojik özellikleri değişmekte ve ağaç malzeme yeni bir yapı kazanmaktadır. Bu çalışma sonucunda ve literatürde de belirtildiği gibi ısıtılma işlemi sıcaklık ve süresine bağlı olarak ağaç malzemenin mekanik özellikleri zayıflamaktadır. Bu nedenle özellikle yüksek sıcaklık ve uzun sürede ısıtılma işlemi gören malzemenin yük taşıma yapısı elamanı olarak kullanılması uygun olmayabilir. Bununla beraber renginin yeni bir özellik kazanması ile değişik dekorasyon işlerinde ısıtılma işlemi görmüş ağaç malzeme tercih edilebilir.

5. KAYNAKLAR

- Bourgeois, J.; Bartholin, M.C.; Guyennet, R. 1998. Thermal Treatment of Wood: analysis of the obtained product. *Wood Science and Technology* 23(4): 303-310.
- Tjeerdsm, B.F.; Boonstra, M.; Militz, H. 1998. Thermal modification of non-durable wood species 2. Improved wood properties of thermal treated wood, *In Proceedings of 29th Annual meeting, Maastricht-The Low Countries*, 14-19 May, Doc. No. IRG/WP/98-40124.
- Mayes, D. and Oksanen, O. (2002) *ThermoWood Handbook*, Finnforest, Finland
- Kamdem, D.P., Pizzi, A., Jermannaud, A., 2002. Durability of heattreated wood. *Holz als Roh-und Werkstoff* 60, 1-6.
- Mitchell, P.H., 1988. Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. *Wood and Fiber Science* 20 (3), 320-355.
- Ja'msa', S., Viitaniemi, P., 2001. Heat treatment of wood better durability without chemicals. In: Rapp A.O. (Ed.), *Review on Heat Treatments of Wood*. Cost Action E22. Proceedings of the Special Seminar, Antibes, France, pp. 17-22.
- Mazela, B., Zakrzewski, R., Grzes' kowiak, W., Cofta, G., Bartkowiak, M., 2004. Resistance of thermally modified wood to basidiomycetes. *Wood Technology* 7 (1), 253-262.
- Unsal, Ö. ve Ayrılmış, N. 2005. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) wood, *Journal of Wood Science* 51:405-409.
- Aydemir, D. 2007. Gökmar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus betulus* L.) Odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısıtılma işlemi etkisi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi.
- Korkut, S. 2008: The effects of heat treatment on some technological properties in Uludağ fir (*Abies bormuelleriana* Mattf.) wood, *Building and Environment*, Volume 43, Issue 4, pp. 422-428.

12. M.E., M.A., Effects os Water Vapour Heatin on Structure and Properties of Cork, Wood Science Technology, 23, 1989, 27-34
13. Viitaniemi P., Decay resistant wood created in a Heating process, İndustrial Horizons, December 1997-23
14. Schneider, A. (1971) Investigations on the Influence of Heat Treatment in the Temperature Range 100-200oC on modulus of Elasticit., *Holz Roh-u Werkstoff*, 29(11): 431-440.
15. Voss,K., 1952, Heat treatment of hardboards, Holz Roh-u. Werkstoff, Vol:10, No: 8, 299-305
16. Vital, B. R. and Lucia, M. D. (1983) Effect of heating on some properties of Eacalyptus saligna Wood, *Revista-Arvore*, 7(2): 136-146.
17. Anonim, 1976. Odunun Statik Eğilmede Dayanımının Tayini, TS 2474. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
18. Anonim 1978 Odunun Liflere Paralel Dogrultuda Basınç dayanımının Tayini, TS 2595, TSE, 19. Ankara.
20. Rozsa., M.E., Fortes M.A., Effects os Water Vapour Heatin on Structure and Properties of Cork, Wood Science Technology, 23, 1989, 27-34.
21. Panaiotov, P., Mateeva,G., 1984, The effect of non-flame heat treatment on the bending and compression strength of modified beech wood, Nauchni trudove, Vissh Lesotekhnicheski İnitut, Sofiya, Mekhanichna Teknologiya-na-D' rvesinata, Vol.27, No. 28 55-60
22. Vital,B.R., Lucia, R.M.D., 1982, Effect of heating on dimensional stability and Hygroscopicity of wood, *Revista-Arvore*, Vol: 6,No: 2, 150,161.
23. Özçifçi, A., Altun, S., Yapıcı, F., Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye