



ISIL İŞLEMİN (THERMO-PROCESS) AĞAÇ MALZEMENİN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mustafa ALTINOK¹, Osman PERÇİN¹, Şemsettin DORUK²

¹Gazi Üniversitesi – Teknoloji Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü, 06500, Teknikokullar/Ankara, altinok@gazi.edu.tr, percin@gazi.edu.tr

²Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü, Simav / Kütahya

Geliş Tarihi: 08.04.2010

Kabul Tarihi: 24.09.2010

ÖZET

Termo-işlem (*thermo-process*) kimyasal madde kullanmadan ağaç malzemenin modifikasyonu için kullanılan bir yöntemdir ve endüstriyel anlamda Türkiye’de yeni uygulanmaya başlamıştır. Bu çalışmada; karaçam (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior L.*) odunlarına ısı işlem uygulamasının odunlarda hava kuru yoğunluk, tam kuru yoğunluk, boyutsal çalışmalardan hacimsel değişim (şişme ve çekme), su geçirgenliği ve çarpılma (burulma) özellikleri belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda; ısı işlem uygulamasının ağaç malzemelerin hava kuru yoğunluk ve tam kuru yoğunluk özelliklerini önemli oranlarda düşürmüştür. Bununla beraber hacimsel çekme ve şişme, su geçirgenlik direncinde önemli derecede direnç artışı olurken ağaç malzemenin çarpılma veya burulma özellikleri üzerine de olumlu etkisinin olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Isıl işlem, ağaç malzeme, teknolojik özellikler

EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF WOOD MATERIAL

ABSTRACT

Thermo process is without using chemical material for modification method of wood and was recently introduced to Turkey. This study was conducted to determine some technological properties of the applied heat treatment wood materials blackpine (*Pinus nigra var. pallasiana*) and ash (*Fraxinus excelsior L.*) wood. Thereafter each sample was tested for observation of air dry density, oven dry density, volumetric swelling, volumetric shrinkage, water permeability and torsion were determined.

The results indicated that the heat treatment method decreased the air dry density and oven dry density. However, important increase was observed for volumetric swelling, volumetric shrinkage, water permeability and torsion strenght value.

Key words: Heat treatment, wood material, technological properties

1. GİRİŞ

Ağaç malzemenin çeşitli yöntemlerle özelliklerinin geliştirilmesi hakkında birçok çalışmalar 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 biriside ağaç malzemenin ısı işlem yöntemiyle modifiye edilmesidir [1,2].

Odunun ısı işleme tabii tutulması bilimsel olarak ilk defa Almanya’da 1930’lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafında yapılmıştır. 1940’lı yıllarda Amerika’da White 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 [3].

Ağaç malzemenin türüne, boyutlarına, ilk baştaki nem yüzdesine, ağaç malzemenin beklenen özelliklere, mekanik özelliklere, biyolojik saldırılara karşı direnç kazanmasına ve boyutsal kararlılık gibi nedenlere bağlı olarak ısıl işlem uygulamasında sıcaklık genellikle 180 ile 280 °C arasında tutulurken ısıl işlem süresi de, 15 dakika ile 24 saat arasında değişmektedir [4].

Ağaç malzemenin ısıl 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. Ağaç malzemenin özellikle ısıl işlem sıcaklığından süreye göre daha fazla etkilendiği, 150 °C ve üzeri sıcaklık uygulamalarında mekanik özelliklerin zayıfladığı belirtilirken biyolojik dayanıklılığın arttığı vurgulanmıştır [5,6,7].

Ünsal ve Ayrılmış (2005) Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odunu ile yaptıkları çalışmada; ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak basınç direncinin önemli oranda azaldığını, 180 °C'de 10 saat ısıl işlem uygulanmış numunelerin basınç direnci değerinin kontrol örneklerine göre %19 daha düşük olduğunu belirlenmiştir [8].

Aydemir (2007) Gökmar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunları ile yaptığı çalışmada; 210 °C'de 12 saat ısıl 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 [9].

Korkut (2008) Uludağ Gökmarı (*Abies bormülleriana* Mattf.) ile yaptığı çalışmada; 180 °C'de 10 saat ısıl 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 [10].

Basınç direncine, ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlemin etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada da, *Quercus Suber* odunu 100 ve 300 °C'de ısıl işleme tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda, 300 °C'de su buharı ortamında ısıl işleme maruz bırakılan örneklerde kontrol örneklerine göre direnç kayıplarının fazla olduğu bununda 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 [11].

Çam odunları kullanılarak yapılan çalışmada 180-250 °C sıcaklıklarda su buharı koruması altında ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak ısıl işleme maruz kalan örnekler kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında belli oranlarda eğilme direncinde kayıpların yaşandığı belirlenmiştir [12].

Farklı sıcaklıklarda ve sürelerde ısıl 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 çok direnci daha fazla etkilenmiştir [13].

Isıl işlem uygulamasının sert lif levhalarda mekanik özelliklere etkisinin araştırılması için yapılan çalışmada 140 ve 180 °C sıcaklıklarda çeşitli sürelerde ısıl işlem uygulanmıştır. Sonuç olarak, eğilme ve çekme direçlerinde ısının ve sürenin belli seviyelere kadar yükseltilmesinde benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Sıcaklıkların süresine bağlı olarak belli oranda artışlar görülmüş sıcaklığın daha da artmasıyla bu özelliklerde düşüşlerin yaşandığı belirtilmiştir [14].

Isıl işlem uygulamasının Okaliptus (*Eucalyptus saligna*) odununda direnç özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla; Okaliptus (*Eucalyptus saligna*) odunundan elde edilen örnekler 105–155 °C sıcaklıklarda 10 ile 160 saat arasında değişen sürelerde ısıl 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 [15].

Bu çalışmada; yeni yeni uygulama alanı bulan ve odun modifikasyon yöntemlerinden biri olan ısıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin bazı teknolojik özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ağaç malzemenin korunmasına yönelik bir çok teknik uygulanırken bunlar daha çok kimyasal maddeler ile sağlanmaktadır. Isıl işlem uygulaması kimyasal madde kullanmaksızın ağaç malzemenin korunmasına yönelik bir işlemdir. Ayrıca ağaç malzemenin higroskopisitesini daha olumlu yönde etkilerken boyutsal kararlılık kazanmasına da yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada ayrıca bu yönüyle de bir amacı kapsamaktadır.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan hava kuruğu yoğunluğu 0,57 gr/cm³ olan Karaçam (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve hava kuruğu yoğunluğu 0,73 gr/cm³ olan Dişbudak (*Fraxinus excelsior L.*) odunları kullanılmıştır. Kullanılan ağaç malzemeler Bolu-Gerede’de faaliyet gösteren Nowawood işletmesinden satın alma yöntemi ile temin edilmiştir.

2.2. Metot

Ağaç malzemelere ısıl işlem uygulamasında Şekil 2.1’de gösterilen üretim metodu gereğince 212 °C’de ısıl işlem uygulanmıştır. Bu ısıl işlem uygulama yönteminde aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir.

Isı artışı ve yüksek ısıda kurutma

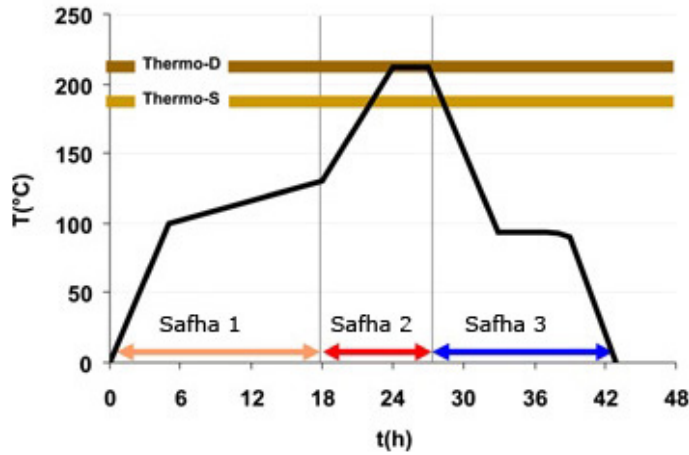
Isı ve buhar kullanılarak fırın sıcaklığı hızlı bir şekilde 100 °C’ye çıkarılır. Sonra, kurutmanın yer aldığı yüksek sıcaklık süresi boyunca ısı muntazam bir şekilde 130 °C’ye yükseltilir ve ahşaptaki nem içeriği yaklaşık %0’a düşürülür.

Isıl işlem

Yüksek sıcaklıkta kurutma oluşur oluşmaz, fırın içerisindeki sıcaklık 185-212 °C’ye artırılır. Hedeflenen seviyeye ulaşıldığında, son kullanım uygulamasına bağlı olarak sıcaklık 2-3 saat sürekli sabit kalır.

Soğutma ve iklimlendirme

Son bölümde, su spreyi sistemi kullanılarak ahşabın ısısı 50 °C - 60 °C ye düşürülür ve ahşabın nemi % 4-6’ya ulaşıncaya kadar devam edilir.



Şekil 2.1. Isıl işlem uygulama metodu

Hava kuru haldeki karaçam ve dişbudak odunlarından elde edilen kontrol ve deney örnekleri üzerinde hava kuru yoğunluk, tam kuru yoğunluk, hacimsel şişme, hacimsel çekme, su geçirgenlik ve çarpılma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Hava kuru yoğunluk tayini için, TS 2472 (Anonim, 1972) standardına uygun olarak 20x20x30 mm ölçülerinde hazırlanan örnekler; 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilerek, rutubetleri hava kuru (%12) hale getirilmiştir. Bu durumda ±0,01g duyarlıklı analitik terazide tartılıp (W_{12}), ±0,01mm duyarlıklı dijital kumpasla boyutları belirlendikten sonra, hacimleri hesaplanarak (V_{12}), hava kuru yoğunluklar (D_{12}) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

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

W_{12} : %12 rutubetteki örnek ağırlığı (gr)

V_{12} : %12 rutubetteki örnek hacmi (cm^3)

D_{12} : %12 rutubetteki yoğunluk (g/cm^3)

Tam kuru yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde hava kuru haldeki örnekler kullanılmıştır. Bu maksatla örnekler etüv makinesine konarak sıcaklığı kademeli olarak 50 °C, 75 °C ve 103 ± 2 °C'ye çıkarılarak örneklerin ağırlıkları değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek tam kuru hale getirilmiştir. Etüvden çıkartılarak örnekler içerisinde P_2O_5 olan desikatöre alınarak, soğumaları sağlanmıştır. Daha sonrada ağırlıkları ve üç yöndeki boyutları ölçülerek tam kuru özgül ağırlık (D_0) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

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

W_0 : % 0 rutubetteki örnek ağırlığı (gr)

V_0 : %0 rutubetteki örnek hacmi (cm^3)

D_0 : %0 rutubetteki yoğunluk (g/cm^3)

Hacimsel genişleme denemelerinde; 30 x 30 x 15 mm ebatlarında radyal ve teğet yönlerde hazırlanan örnekler kullanılmıştır. Deneyler TS 4084 ve 4086 esaslarına uygun olarak yapılmıştır. Hacimsel genişleme örnekleri önce kurutma fırınında tam kuru hale getirilmiş daha sonra boyutları ±0,01mm duyarlıklı dijital kumpasla belirlenmiştir. Daha sonra örnekler 20 °C destile su içerisinde tamamen batırılarak boyutları değişmez

hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Daha sonra radyal, teğet ve boyuna yönlerdeki yaş ölçüleri tespit edilerek aşağıdaki formül yardımıyla genişleme yüzdesi (α) belirlenmiştir.

$$\alpha = \frac{L_r - L_0}{L_r} \times 100(\%)$$

Burada;

L_r = Rutubetli ölçü

L_0 = Tam kuru ölçü'dür.

Bu eşitlikten yararlanarak radyal yöndeki değerler yerine konarak radyal genişleme yüzdesi (α_r) ve teğet yöndeki değerler formülde yerine konarak teğet genişleme yüzdesi (α_t) hesaplanmıştır. Daha sonra aşağıdaki eşitlik yardımıyla toplam hacimce genişleme yüzdesi (α_v) hesaplanmıştır. Boyuna yöndeki genişleme ihmal edilmiştir.

$$\alpha_v = \alpha_r + \alpha_t (\%)$$

Hacimsel daralma denemelerinde; TS 4083 ve 4085 esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla örnekler 20 °C destile su içerisinde batık halde boyutları değişmez hale gelinceye kadar bekletilerek radyal ve teğet yönde, LDN üzerindeki ölçüleri tespit edilmiştir. Daha sonra aynı örnekler kurutma fırınına konarak 103 ± 2 °C'de değişmez boyutlara gelinceye kadar kurutulmuş, sonrada içerisinde P_2O_5 olan desikatöre alınarak soğumaya bırakılmıştır. Soğumayı takiben radyal ve teğet yöndeki tam kuru ölçüleri belirlenerek aşağıdaki formüle göre daralma miktarı (β) hesaplanmıştır.

$$\beta = \frac{L_r - L_0}{L_r} \times 100(\%)$$

Burada;

L_r = Rutubetli ölçü

L_0 = Tam kuru ölçü'dür.

Bu eşitlikten yararlanarak radyal yöndeki değerler yerine konarak radyal daralma yüzdesi (β_r) ve teğet yöndeki değerler formülde yerine konarak teğet daralma yüzdesi (β_t) hesaplanmıştır. Daha sonra aşağıdaki eşitlik yardımıyla toplam hacimce daralma yüzdesi (β_v) hesaplanmıştır. Boyuna yöndeki daralma ihmal edilmiştir.

$$\beta_v = \beta_r + \beta_t (\%)$$

Su geçirgenliği deneyi için, TS EN 1027 esaslarına göre her bir kombinasyonda 50x50x20 mm ebatlarında 10'ar adet olmak üzere toplam 40 adet deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Daha sonra yüzeyleri zımparalanarak deneye hazır hale getirilmiştir. Her bir deney örneğinin yüzeyine enjektör yardımıyla bir damla saf su damlatılmış ve kronometre ile zaman tutularak malzemenin suyu tamamen bünyesine absorbe etmesi beklenmiştir. Su damlatma yüksekliği her bir örnek için eşit (2cm) tutulmuş ve açı 24 derece olarak ayarlanmıştır.

Şekil bozukluğunun belirlenmesinde TS EN 1310 esas alınmıştır. Kontrol ve deney örneklerinden 20x200x300 mm boyutlarında her bir grup için 10'ar adet olmak üzere toplam 40 adet deney örneği hazırlanmıştır. Ahşap malzemenin üç yönde farklı çalışması sebebiyle başlangıçta düzgün olan kenar, yüzey ve profillerde eğilme, burulma oluklaşma gibi şekil farklılaşmaları oluşabilmektedir. Farklılaşmada ağaç türü, kullanılan thermo (ısı) işlem metodu ve süresi, ağaç malzemenin bekletilme süresi gibi faktörler rol oynayabilir. Bu çalışmada %12 rutubete sahip örnekler normal şartlarda oda içerisinde 2 ay bekletilerek gerekli ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde levhalar bir çelik plaka üzerinde oturtularak bir referans noktasına göre en büyük çarpılma miktarı ± 0.01 hassasiyetli dijital kumpas ile belirlenmiştir.

2.3. İstatistik Yöntemler

Kontrol ve deney örneklerinin hava kurusu ve tam kuru yoğunluk, hacimsel şişme ve çekme değerlerine, su geçirgenlik ve çarpılma özelliklerine 212 °C’de su buharı koruması altında uygulanan ısıl işlem metodunun etkilerini belirlemek amacıyla MSTATC analiz yöntemi kullanılmıştır. Gruplar arası farklılığın anlamlı çıkması halinde etki derecesi “Duncan Testi” yardımıyla belirlenmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre ortalamalar, işlem türüne göre kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Hava kurusu yoğunluk değerlerine ısıl işlem uygulamasının etkilerinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hava kurusu özgül ağırlık değerlerinin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	0.413	1	0.413	193.4212	0.0000
İşlem çeşidi (B)	0.005	1	0.005	2.2445	0.1428
Ağaç türü *İşlem çeşidi	0.069	1	0.069	32.1617	0.0000
Hata	0.077	36	0.002		
Toplam	0.564	39			

Bu sonuçlara göre; ağaç türü ve ağaç türü x işlem çeşidi arasındaki ikili etkileşimin, hava kurusu özgül ağırlık değerlerine etkisi 0.05 yanılma olasılığı için anlamlı, işlem çeşidi faktörü anlamsız olarak bulunmuştur. Anlamlı bulunan ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi değişkenlerinde farklılık oluşturan grubu veya grupları (alt değişkenleri) tespit etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi değişkenlerinin hava kurusu yoğunluk değişim oranına ait Duncan testi sonuçları

FAKTÖR		Ort	HG
Ağaç türü	Dişbudak	0.7043	A
	Karaçam	0.5010	B
LSD: 0,02861			
Ağaç türü * İşlem çeşidi	Dişbudak* Kontrol	0.7567	A
	Dişbudak* Isıl işlem	0.6519	B
	Karaçam* Kontrol	0.5315	C
	Karaçam* Isıl işlem	0.4705	D
LSD: 0,04045			

X_{Ort.}: Ortalama değer, H.G: Homojenlik grubu

Homojenlik gruplarında, (A) harfi en başarılı sonucu ifade etmekte ve harfler ilerledikçe başarısızlık artmaktadır. Ağaç türü faktörüne göre hava kurusu özgül ağırlıklarında dişbudak odunu 0.7043 g/cm³ çıkarken Karaçam odunu 0.5010 g/cm³ olarak çıkmıştır. Buna göre dişbudak odunu karaçam odununa göre %28,43 oranında daha fazla özgül ağırlığa sahiptir.

Ağaç türü ve işlem çeşidi ikili etkileşimine göre, hava kurusu özgül ağırlık değerlerinde en yüksek değer kontrol Dişbudak odununda (0.7567 g/cm³), en düşük ise ısıl işlem gören karaçam örneklerinde (0.4705 g/cm³) olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak diş budak odununda hava kurusu yoğunlukta ısıl işleme bağlı olarak %13.84 civarında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Aynı düşüş karaçam odununda % 11.47 olarak gerçekleşmiştir. Tam kuru yoğunluk değerlerine ısıl işlem uygulamasının etkilerinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Tam kuru yoğunluk değerlerinin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	0.370	1	0.370	168.0308	0.0000
İşlem çeşidi (B)	0.002	1	0.002	0.8281	
Ağaç türü *İşlem çeşidi	0.082	1	0.082	37.3805	0.0000
Hata	0.079	36	0.002		
Toplam	0.533	39			

Bu sonuçlara göre; ağaç türü ve ağaç türü x işlem çeşidi arasındaki ikili etkileşimin, tam kuru özgül ağırlık değerlerine etkisi 0.05 yanılma olasılığı için anlamlı, işlem çeşidi faktörü anlamsız olarak bulunmuştur. Anlamlı bulunan ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi değişkenlerinde farklılık oluşturan grubu veya grupları (alt değişkenleri) tespit etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi değişkenlerinin tam kuru yoğunluk değişim oranına ait Duncan testi sonuçları

FAKTÖR		Ort	HG
Ağaç türü	Dişbudak	0.6848	A
	Karaçam	0.4925	B
LSD: 0,02861			
Ağaç türü * İşlem çeşidi	Dişbudak* Kontrol	0.7369	A
	Dişbudak* Isıl işlem	0.6327	B
	Karaçam* Kontrol	0.5311	C
	Karaçam* Isıl işlem	0.4539	D
LSD: 0,04045			

X_{Ort.}: Ortalama değer, H.G: Homojenlik grubu

Sonuçlar incelendiğinde Dişbudak odununa ait tam kuru yoğunluk değeri (0.6848 g/cm³) çıkarken, karaçam odununa ait tam kuru yoğunluk değeri (0.4925 g/cm³) olarak elde edilmiştir. Dişbudak odununun, karaçam odununa göre % 28,08 oranında tam kuru yoğunluğu fazla çıkmıştır.

Ağaç türü ve işlem çeşidi ikili etkileşimine göre, tam kuru özgül ağırlık değerlerinde en yüksek değer kontrol Dişbudak odununda (07369 g/cm³), en düşük ise ısıtıl işlem gören karaçam örneklerinde (0.4539 g/cm³) olarak elde edilmiştir. Dişbudak odununda tam kuru yoğunluk değerinde, ısıtıl işleme bağlı olarak bir düşüşün yaşandığı ve bu oranın yaklaşık % 14.14 olduğu belirlenirken Karaçam odununda bu oran % 14.53 olarak gerçekleşmiştir. Boyutsal çekme değerlerine ısıtıl işlem uygulamasının etkilerinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Boyutsal çekme değerlerinin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	7.468	1	7.468	8.0947	0.0073
İşlem çeşidi (B)	3.175	1	3.175	3.4416	0.0718
Ağaç türü *İşlem çeşidi	4.938	1	4.938	5.3519	0.0265
Hata	33.215	36	0.923		
Toplam	48.796	39			

Bu sonuçlara göre; ağaç türü ve ağaç türü x işlem çeşidi arasındaki ikili etkileşimin, boyutsal çekme değerlerine etkisi 0.05 yanılma olasılığı için anlamlı, işlem çeşidi faktörü anlamsız olarak bulunmuştur. Anlamlı bulunan ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi etkileşimi için yapılan LSD testinin sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi değişkenlerinin boyutsal çekme değişim oranına ait Duncan testi sonuçları (%)

FAKTÖR		Ort (%)	HG
Ağaç türü	Dişbudak	1.890	B
	Karaçam	2.754	A
LSD: 0,6145			
Ağaç türü * İşlem çeşidi	Dişbudak* Kontrol	1.960	B
	Dişbudak* Isıl işlem	1.821	B
	Karaçam* Kontrol	3.387	A
	Karaçam* Isıl işlem	2.121	B
LSD: 0,8691			

Sonuçlara bakıldığında Dişbudak odununa ait boyutsal çekme oranı % 1.89 çıkarken, karaçam odununa ait boyutsal çekme oranı % 2.754 olarak elde edilmiştir.

Ağaç türü ve işlem çeşidi ikili etkileşimine göre, boyutsal çekme değerlerinde en yüksek değer kontrol karaçam odununda % 3.387, en düşük ise ısıtıl işlem gören dişbudak örneklerinde % 2.121 olarak elde edilmiştir. Isıl işlem gören dişbudak odununda kontrol örneklerine göre hacimsel çekme oranı yaklaşık %8 oranında daha meydana gelirken bu oran karaçam odununda yaklaşık olarak %51 oranında gerçekleşmiştir.

Boyutsal şişme değerlerine ısıtıl işlem uygulamasının etkilerinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Boyutsal şişme değerlerinin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	223.209	1	223.209	339.5193	0.0000
İşlem çeşidi (B)	1.421	1	1.421	2.1608	0.1503
Ağaç türü *İşlem çeşidi	0.066	1	0.066	0.1003	
Hata	23.667	36	0.657		
Toplam	248.363	39			

Boyutsal şişme değerlerine ait varyans analizi değerlendirildiğinde ağaç türü 0.05 yanılma olasılığı için anlamlı bulunurken işlem çeşidi ve ağaçtürü-işlem çeşidi etkileşimi anlamsız bulunmuştur. Anlamlı bulunan ağaç türü faktörü için yapılan LSD testinin sonuçları Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Ağaç türüne göre boyutsal şişme değerlerinin karşılaştırma sonuçları (%)

Faktör		Ort	HG
Ağaç türü	Dişbudak	1.328	B
	Karaçam	6.053	A
LSD: 0.5185			

Ağaç türüne göre, boyutsal şişme değerlerinde Dişbudak odunu % 1.328 oranında çıkarken Karaçam odununda % 6.053 olarak gerçekleşmiştir.

Kontrol ve deney örneklerine ait su geçirgenlik deneyine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Su geçirgenliğine ait değerlerinin varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	22354735.225		22354735.225	235.1178	0.0000
İşlem çeşidi (B)	18000247.225	1	18000247.225	189.3191	0.0000
Ağaç türü *İşlem çeşidi	11015552.025	1	11015552.025	115.8570	0.0000
Hata	3422839.500	36	95078.875		
Toplam	54793373.975	39			

Su geçirgenlik değerlerine ait varyans analizi değerlendirildiğinde ağaç türü, işlem çeşidi ve ağaç türü-işlem çeşidi ikilisinin etkileşimi 0.05 yanılma olasılığı için anlamlı bulunmuştur. Anlamlı bulunan ağaç türü, işlem çeşidi, ağaç türü ve işlem çeşidi etkileşim faktörü için yapılan LSD testinin sonuçları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Ağaç türü, işlem çeşidi, ağaç türü ve işlem çeşidi etkileşimleri faktörü için yapılan LSD testinin sonuçları (sn)

Faktör		Ort (sn)	HG
Ağaç türü	Dişbudak	1680	A
	Karaçam	185,1	B
LSD:197.2			
İşlem çeşidi	Kontrol	261.9	B
	Isıl İşlem	1604	A
LSD: 197.2			
Ağaç Türü* İşlem çeşidi	Dişbudak* Kontrol	484.7	B
	Dişbudak* Isıl işlem	2876.0	A
	Karaçam* Kontrol	39.10	C
	Karaçam* Isıl işlem	331.2	B
LSD:278.9			

Ağaç türüne göre yapılan su geçirgenlik değerinde Dişbudak odunu 1680.0 sn çıkarken, Karaçam odunu 185.1 sn olarak gerçekleştirmiştir. Buradan açıkça dişbudak odununun su geçirgenlik direncinin daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

İşlem çeşidine göre yapılan su geçirgenlik değerinde kontrol örnekleri 261.9 sn çıkarken, ısıl işlem gören örnekler 1604.0 sn olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçtan ısıl işlem muamelesinin ağaç malzemenin su geçirgenlik değerini 6 kat artırdığı belirlenmiştir.

Ağaç türü-işlem çeşidi etkileşiminde su geçirgenlik değerleri incelendiğinde en yüksek su geçirgenlik direnci ısıl işlem gören dişbudak odununda 2876 sn. olarak gerçekleşirken, en düşük kontrol Karaçam odununda 39.10 sn. olarak gerçekleşmiştir. Isıl işlem gören dişbudak odunu kontrol örneğine yaklaşık 6 kat daha dirençli çıkarken karaçam odununda bu değer yaklaşık 8.5 kat olarak gerçekleşmiştir.

Çarpılma deneyi değerlerine ısıl işlem uygulamasının etkilerinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Çarpılma değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	0.001	1	0.001	4.0976	0.0500
İşlem çeşidi (B)	0.005	1	0.005	41.4190	0.0000
Ağaç türü *İşlem çeşidi	0.000	1	0.000	2.9485	0.0945
Hata	0.005	36	0.000	-	-
Toplam	0.011	39			

Yapılan analiz sonuçlarına göre, çarpılma değerlerinde ağaç türü ile ağaç türü ve işlem çeşidi etkileşim değerleri 0.05 önem seviyesinde anlamlı çıkmazken işlem çeşidi anlamlı bulunmuştur. Bu anlamda, anlamlı bulunan işlem çeşidi için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Çarpılma değerlerinde işlem türü için yapılan Duncan testi sonuçları

Faktör		Ort	HG
İşlem çeşidi	Kontrol	0.04460	A
	Isıl işlem	0.02155	B
LSD: 0.02023			

Çarpılma testi sonuçlarında yapılan Duncan testi sonuçlarına göre kontrol örneklerinde % 4.46 çıkarken ısıl işle gören örneklerde %2.15 olarak gerçekleşmiştir.

Dişbudak ve karaçam odunlarına 212 °C’de uygulanan ısıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özellikleri üzerindeki etkileri 0.05 önem seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Isıl işlem uygulaması, ağaç malzemenin hava kuru ve tam kuru yoğunluk değerlerinde belli oranlarda düşüşlere neden olmuştur. Bu anlamda daha önce yapılan çalışmalarla benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir [16]. Termal olarak modifiye edilmiş okalıptus odununun hava kuru yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü ve liflere paralel basınç direnci üzerinde ısıl işlemin etkisi araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü liflere dik yönde yapılmış ve ısıl işlem sıcaklığı ve muamele süresi arttıkça; ağaç malzemenin yoğunluk, basınç direnci ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Isıl muamele görmüş okalıptus odununun renk, fiziksel ve mekanik özelliklerinin üzerine etkileri belirlenmiştir. Isıl işlem uygulanmış okalıptus örneklerine sertlik, şişme, fırın kuru ağırlık ve örneklerin renk değişimi muamele edilmemiş örneklerle karşılaştırılarak test edilmiştir. Sonuçlar ısıl işlem ile odun örneklerinin renkleri koyulaşırken, ısıl işlem sıcaklığı ve şartları artırıldıkça yoğunluk, şişme ve sertlik değerlerinde düşüşlerin olduğu belirlenmiştir [17].

Benzer bir çalışmada kayın ve ladin odunları üzerinde yapılmış ve kayın odununun 200 °C sıcaklıkta 10 saat muamele sonunda yoğunluk düşüşü %18 oranlarında olmuştur. Bu düşüş oranı ladin odununda %10,5 olduğu belirlenmiş ve bu düşüşün hücre lümenlerindeki madde kaybının yaşanmasından ve uygulanan yüksek sıcaklıktan dolayı hemiselülozun parçalanmasından dolayı kaynaklandığı sonucuna varılmıştır [18].

Boyutsal veya hacimsel çekme ve şişme değerlerinin belirlenmesinde de ısıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin bu özellikleri üzerindeki etkileri istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Isıl işlem metodu ağaç malzemenin higroskopisitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kayın gövdeli akçağaç odununa uygulanan ısıl işlem metodunun süresine ve sıcaklığına bağlı olarak ağaç malzemenin yoğunluk, ağaç malzemenin şişme özellikleri ve yüzey pürüzlülük değerlerinde azalmaların olduğu belirlenmiştir [19].

Sarıçam odununa uygulana ısıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin hacimsel şişme değerini %50 oranında azaltmıştır. Bununla ilgili daha önce yapılan çalışmalarda da ısıl işlemin ağaç malzemenin higroskopisitesini azaltıcı ve boyutsal kararlılık kazandırmada etkili olduğu belirtilmiştir. Bu özelliklerdeki değişimin miktarı, uygulanan ısıl işlem yöntemine, sıcaklığa, süreye ve ağaç malzeme türü gibi parametrelere bağlı olarak

değişmektedir [20]. Huş ağacı ve sahil çamı odununa uygulanan ısı işleminin ağaç malzemelerin daralma ve genişleme özelliklerinde %30 ile % 80 arasında değişimlerin olduğunu belirtmiştir [21]. Ayrıca Yıldız (2002), ısı işlem gören kayın odununda hacimsel şişmenin %47,64 civarında azaldığını belirtirken, Santos (2000), okaliptus ağacında ısı işlem uygulamasının %24 civarında genişlemeyi azaltıcı etkisinin olduğunu vurgulamıştır [22].

Isıl işleme bağlı olarak ağaç malzemede boyutsal kararlılık kazanmada, ısı işleminin süresi ve sıcaklığına bağlı olarak ağaç malzeme ana bileşenlerinden hemiselülozun kaybolması boyut stabilizasyonunun kazanılmasında en önemli etken olarak görülmüştür [23]. Isıl işlemde uygulanan ısı muamele sonucunda boyutsal stabilizasyondaki gelişmelerin ağaç türlerine göre değiştiği ve radyal yöndeki çalışmanın diğer yönler için daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sonucunda her ağaç türünün anatomik yapısının farklılıklarından dolayı olduğu belirlenmiştir [24]. Isıl işlemin, ağaç malzemede çalışma özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi için yapılan çalışmada çam (*Pinus Sylvestris*) ve huş (*Betula alba*) odunları 80, 100, 115, 130 ve 140 °C sıcaklıklarda 6, 12, 24, 48 ve 96 saat süreyle ısı işleme tabi tutulmuştur. Sonuçlar kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında maksimum genişleme yüzdesinin ve genişleme katsayısının % 30-40 oranında azaldığı belirlenmiştir [25].

Ağaç malzemenin boyutsal kararlılığı üzerine, ısı işlem uygulamasının önemli etkileri vardır. Düşük sıcaklıkta uygulanan ısı işlem sonucunda, ağaç malzeme bünyesinde bulunan ve hücre çeperlerine yerleşmiş olan uçucu ve bağlı suyun bünyeden uzaklaştırılmasıyla ağaç malzemede düşük kütle kaybına neden olmaktadır. Makro moleküler bileşiklerin kaybı 100 °C sıcaklığın üzerinde gerçekleşirken ilerleyen zaman ve sıcaklıklar kütle kaybını olumsuz etkilemektedir. Hücre duvarındaki materyallerin kaybı, eğer uygulanan ısı işlem prosesi optimum olmazsa fazla oranlarda büzülme oluşumu meydana gelebileceğinden odunun boyutsal değişiminde de rol oynayabilir [26]. Ağaç malzemenin normal kurutma sıcaklıklarından daha yüksek sıcaklıklarda ısıyla muamele edilmesi en eski, en basit ve kolay boyut stabilizasyonu yöntemidir [27].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan testlerin sonuçları değerlendirildiğinde, ısı işlem uygulamasının Dişbudak ve Karaçam odunlarının teknolojik özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır.

Hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerlerinde, ısı işleme bağlı olarak belli oranlarda kayıpların yaşandığı görülmüştür. Bu kayıpların yaşanmasında sıcaklığa bağlı olarak odun yapısında meydana gelen kütle kayıplarının neden olduğu söylenebilir. Bununla beraber ağaç malzemenin çarpılma (burulma) özelliklerinde de ısı işleme bağlı olarak olumlu gelişmeler olduğu çalışma sonucunda belirlenmiştir. Kontrol örnekleri ısı işlem gören örneklerle göre yaklaşık iki kat daha fazla deformasyona uğramışlardır. Yani ısı işlem uygulamasında sıcaklık ve süre arttıkça odunun hacimsel genişlemesi azalmakta ve böylelikle boyutsal stabilizasyonu geliştirilebilmektedir. Isıl işlem uygulaması ağaç malzeme üzerinde hiçbir kimyasal madde kullanmadan boyutsal stabilizasyonun sağlanmasında önemli bir ağaç modifikasyon yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylelikle çevre ve insan sağlığına zarar veren kimyasalların kullanımına ihtiyaç duyulmaksızın hacimsel genişlemenin yaklaşık % 50 oranında azaltılabilmesi, ısı işlem uygulanmış dişbudak ve karaçam odunlarında özellikle boyutsal kararlılığın önemli olduğu rutubetli ortamlarda kullanılma imkânını arttıracaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Bourgois, J., Bartholin, M.C., Guyennet, R.. Thermal Treatment of Wood: analysis of theobtained product. *Wood Science and Technology* 23(4): 303-310. 1998
- [2] Tjeerdsm, B.F.; Boonstra, M.; Miltiz, H. Thermal modifi cation of non-durable wood species2. 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. 1998
- [3] Mayes, D. and Oksanen, O. (2002) *ThermoWood Handbook*, Finnforest, Finland

- [4] Kamdem, D.P., Pizzi, A., Jermannaud, A., Durability of heattreated wood. Holz als Roh-und Werkstoff 60, 1–6. 2002
- [5] Mitchell, P.H., Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. Wood and Fiber Science 20 (3), 320–355. 1988
- [6] Jařmsař, S., Viitaniemi, P., 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. 2001
- [7] Mazela, B., Zakrzewski, R., Grzes' kowiak, W., Cofta, G., Bartkowiak, M., Resistance of thermally modified wood to basidiomycetes. Wood Technology 7 (1), 253–262. 2004
- [8] Unsal, Ö. ve Ayrılmış, N.. 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. 2005
- [9] Aydemir, D.. Göknař (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgeň (*Carpinus betulus* L.) Odunlarının bazı fiziksel, mekanik veteknolojik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi. 2007
- [10] Korkut, S., The effects of heat treatment on some technological properties in Uludağ fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.)wood, Building and Environment, Volume 43, Issue 4, pp. 422-428. 2008:
- [11] Rozsa., M.E., Fortes M.A., Effects os Water Vapour Heatin on Structure and Properties of Cork, Wood Science Technology, 23, 27-34,1989
- [12] Viitaniemi P., Decay resistant wood created in a Heating process, İndustrial Horizons, - 23, December 1997
- [13] Schneider, A., 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. 1971
- [14] Voss,K., Heat treatment of hardboards, Holz Roh-u. Werkstoff, Vol:10, No: 8, 299-305, 1952
- [15] Vital, B. R. and Lucia, M. D. Effect of heating on some properties of Eacalyptus saligna Wood, *Revista-Arvore*, 7(2): 136-146. 1983
- [16] Unsal, O. and Ayrilmis, N. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood, *J Wood Sci*, 51: 405–409. 2005
- [17] Unsal, O, Korkut, S. and Atik, A., The Effect of Heat Treatment on Some Properties and Colour in Eucalyptus(*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) Wood, *Maderas Ciencia y tecnologia*, 5(2): 145–152. 2003
- [18] Yıldız, S. Physical, mechanical, technological and chemical properties of *Fagus orientalis* and *Picea orientalis* wood treated by heat, PhD Thesis, Blacksea Technical University, Trabzon, Turkey, p: 245. 2002
- [19] Korkut,S., Kök, M.S., Korkut,D. And Gürleyen,T., The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood, Bioresource Technology,Volume 99, Issue 6, April 2008, Pages 1538-1543
- [20] 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,

- [21] Viitaniemi, P., ThermoWood – Modified wood for improved performance. In: Proceedings of wood the ecological material the 4th Euro-wood symposium. Stockholm, Sweden. Sep 22-23 1997 Träteck Rapport. 9709084, pp 67–69, 1997.
- [22] Santos, J. A., Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. *Wood Science and Technology*. 34, 39-43, 2000.
- [23] Stamm, A. J. and Baechler, R. H. Decay resistance and dimensional stability of five modified woods, *Forest Products Journal*, Vol:10, No:1, 22–26. 1960
- [24] Yun, K. E., Kim, G. H. and Kim, J. J. Effect of heat treatment on the dimensional stability and bending properties of radiata pine sapwood, *Journal of Korean Wood Science and Technology*, 27(4): 30–37. 1999
- [25] D'yakanov, K.F., Kur'yanova, T.K., Shchekin, V.A., 1989, Reducing Swelling and Limit of Hygroscopicity of wood, *Derevoobrabatyvayushchaya- Promb-shlennost*, Vol:5, 12-13
- [26] Millett, M. A. and Gerhards, G. C. (1972) Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C, *Wood Science*, 4(4): 193–201.
- [27] Seborg, R.M., Tarkow, H., and Stamm A.J., 1953, Effect of Heat upon The Dimensional Stabilization Of Wood, *Forest Products Research Society. Journal*, Vol:3, No: 3, 59-67

