

Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

Şemsettin DORUK^{1*}, Mustafa ALTINOK², Osman PERÇİN²

¹ Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fak. Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü/KÜTAHYA

² Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü/ANKARA

Alınış Tarihi:05.07.2010 Kabul Tarihi:26.11.2010

Özet: Odunun ısıtılması eski çağlardan beri ahşabın kurutulması ve özelliklerin modifiye edilmesinde kullanılan bir metottur. Günümüzde de ısı muamelesi aynı nedenlerden dolayı endüstriyel olarak kullanılmaktadır. 150 °C ve üstündeki sıcaklıklardaki muamelelerle odunun rengi değiştirilebilmekte, biyolojik direnç ve boyutsal stabilizasyon iyileştirilebilmektedir. Fakat odunun mekaniksel özelliklerinde kayıplar olmakta ve odunun kimyasal yapısı değişmektedir. Bu dezavantaj ısıyla muamele edilmiş odunun, kullanım yerini sınırlamaktadır. Endüstriyel önemi olan yerli ağaç türlerinin ısı işlem sonrası teknolojik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin bilinmesi hem endüstriyel hem de akademik anlamda önemlidir. Bu çalışma, endüstride yaygın olarak kullanılan ve Türkiye’de geniş yetiştirme alanlarına sahip karaçam (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisini belirlemek için yapılmıştır.

Test sonuçlarına göre, ısı işlem uygulaması ağaç malzemenin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinde düşüşlere neden olduğu belirlenmiştir. Isıl işleme bağlı olarak en fazla etkilenen eğilme direncidir. Bununla beraber ısı işlem sonucunda ağaç malzemenin rengi koyulaşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Isıl İşlem, Ağaç Malzeme, Mekanik Özellikler, Eğilme Direnci

The Effects Of Heat Treatment On Some Physical and Mechanical Properties Of Wood Material

Abstract: Since ancient times, heating wood has been used a method to dry and modify its properties. Nowadays, heat treatment is used in industrial processes for the same reasons. Treatment at temperatures above 150 °C can change the color, improve resistance to biodegradation and enhance dimensional stability. However, losses in the mechanical and technological strength of wood may also occur, and this drawback is a limitation for the use of heat-treated wood in a broad range of products. Data about the mechanical and physical properties of Turkish wood species are important for industry and academia. In this study evaluated the effect of heat treatment on some physical and mechanical properties of blackpine (*Pinus nigra var. pallasiana*) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) woods which have industrially high usage potential and large plantations in Turkey.

The results indicated that the heat treatment method decreased the some physical and mechanical properties of wood material. The bending strength was the more effected depending on heat treatment. However, the color of the samples was shifted to darker depending on temperature and duration.

Key words: Heat Treatment, Wood Material, Mechanical Properties, Bending Strength

Giriş

Ağaç malzeme kendi yapısına has birçok olumlu özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanlarına sahiptir. Bununla beraber yine yapısından dolayı kullanım alanını sınırlayan veya kullanımı esnasında karşılaşılan bir takım sorunlar bulunmaktadır.

Ağaç malzemenin ısı ile etkileşimi çok uzun zamanlardan beri süre gelmiştir. Vikingler dış ortamda kullandıkları ağaç malzemeleri ateşle muamele ederek onun dayanıklılığını artırmanın yollarını aramaya başlamışlardır. Günümüzde bu türden uygulamalar daha teknolojik ve bilimsel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir

Ağaç malzemenin olumsuz özelliklerinin bertaraf edilmesi veya en aza indirgenmesi ve özelliklerinin daha da geliştirilmesi için birçok endüstriyel ve bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan yöntemlere genel anlamda “Odun Modifikasyon Yöntemi” denmektedir.

Odunun modifiye edilmesi denince ilk akla gelen şüphesiz kullanılan kimyasal maddelerdir. Kimyasal maddelerden insan ve çevre sağlığına zarar verenlerle

birlikte insan ve çevre dostu kimyasallar da mevcuttur. Kullanılan kimyasal maddelerin insan ve çevreye verdiği zararlardan dolayı kullanılması yasaklanmış veya kullanımı en aza indirgenmiştir. Bu alanda gösterilen çabalar da halen devam etmektedir.

Ağaç malzemenin zararsız yöntemlerle modifiye edilmesi ile ilgili çalışmalar günümüzde hız kazanmıştır. Bu alanda geliştirilen çalışmalardan birisi de ağaç malzemenin ısı işlem yöntemiyle modifiye edilmesidir (Bourgeois vd, 1998; Tjeerdsma vd,1998).

Odunun ısı işleme tabii tutulması bilimsel olarak ilk defa Almanya’da 1930’lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafından 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 ve son

10-15 yılda yoğunlaşmıştır. Günümüzde ısıtım işlemi 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 da buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, Fransız (Rectification) inert gaz kullanılan yöntem ve sıcak yağ kullanılan Alman (OHT) yöntemidir (Mayes ve Oksanen, 2002).

Ağaç malzemenin türüne, boyutlarına, ilk baştaki nem yüzdesine, malzemedeki beklenen, mekanik özelliklere, biyolojik saldırılara karşı direnç kazanmasına ve boyutsal kararlılık gibi nedenlere bağlı olarak ısıtım işlemi uygulamasında sıcaklık genellikle 180 ile 280 °C arasında tutulurken ısıtım işlemi süresi de, 15 dakika ile 24 saat arasında değişmektedir (Kandem vd, 2002).

Isıtım işlemi görmüş ağaç malzeme dış cephe kaplaması, kapı, pencere, bahçe mobilyası gibi dış mekân uygulamalarında, yer döşemesi, lambri, banyo ve sauna gibi iç mekân uygulamalarında gittikçe genişleyen kullanıma sahiptir (Viitaniemi, 2000). Isıtım işlemi görmüş malzemenin fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri, malzemenin bu kullanım alanlarındaki performansını etkilemektedir.

Çam odunları kullanılarak yapılan çalışmada 180–250 °C sıcaklıklarda su buharı koruması altında ısıtım işlemi tabii tutulmuş örnekler, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında belli oranlarda eğilme direncinde kayıpların yaşandığı belirlenmiştir (Viitaniemi, 1997).

Isıtım işlemi uygulamasının sert lif levhalarda mekanik özelliklere etkisinin araştırılması için yapılan çalışmada 140 ve 180 °C sıcaklıklarda çeşitli sürelerde ısıtım işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak, eğilme ve çekme dirençlerinde 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 (Voss, 1952).

Sahil çamı ve okaliptüs odun örnekleri 2-12 saat süre ile buharla birlikte 190-210°C sıcaklıklarda ısıyla muamele edilerek ısıtım işlemi ağaç malzeme yapısında meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda elastikiyet modülü çam örneklerinde %5, okaliptüs örneklerinde ise %15 oranında azalmıştır. Ayrıca eğilme direncinde ciddi düşüşlerin gerçekleştiği belirtilmiştir (Esteves vd, 2006).

Isıtım işlemi uygulamasının ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini belirlemek için kayın ve çam odunları 100, 130, 150, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda 6, 24, ve 48 saat süreyle ısıtım işlemi maruz bırakılmıştır. Deney sonunda 150 °C nin üzerindeki sıcaklıkların örneklerin elastikiyet modülünde azalmalara neden olduğu belirtilmiştir. Elastikiyet modülüne göre, basınç direnci az derecede etkilenirken, şok direncine göre fazla miktarda etkilenmiştir (Schneider, 1971).

Chamaecyparis obtusa ve *Fagus crenata* odunları üzerinde ısıtım işlemi uygulamasının ağaç malzemenin şok direncine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 150 ve 200 °C sıcaklıklarda 1, 3, 5, 10 ve 20 saat süreyle ısıtım işlemi tabii tutulmuşlardır. Çalışma sonuçlarında 5 saatlik 150 ve 200 °C sıcaklık ve 1 saat 200 °C sıcaklık uygulamalarının şok direncinde % 50 oranında düşmelere neden olduğu belirlenmiştir. Bunlarla birlikte sertlik değerlerinde ve eğilme direnci değerlerinde de önemli değişiklikler görülmüştür. 5 saatlik 150 °C sıcaklık uygulamasında eğilme direnci etkilenmemiştir. Ancak 200 °C sıcaklıklarda ısıtım işlemi uygulaması kontrol örneklerine göre eğilme direnci değerlerinde % 50 oranında bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir (Kitahara ve Chugenji, 1951).

Okaliptüs odunu 120, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat süreli ısıtım işlemi tabii tutulmuştur. Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere dik ve liflere paralel çekme direnci, yarıma direnci ve şok direnci tespit edilmiştir. Tüm direnç değerlerinde maksimum azalma 180 °C’de 10 saat ısıtım işlemi uygulanmış örneklerde meydana gelmiştir. Bu durumda en düşük eğilme direnci 101,35 N/mm² olup %21.68’lik bir azalma söz konusudur. Eğilmede elastikiyet modülü 7647.398 N/mm²’lik değeri ile %33.46’lık bir azalmaya uğramıştır. Liflere paralel çekme direnci 58.89 N/mm² ile %21.04, liflere dik çekme direnci 3.79 N/mm² ile %13.07, dinamik eğilme direnci 6.69 N/mm² ile %5.37 ve yarıma direnci 0.38 N/mm² ile %33.33’lük bir azalmaya maruz kalmıştır. En fazla kayıp ise eğilmede elastikiyet modülü (%33.46) ve yarıma direncinde (%33.33) olduğu belirlenmiştir (Korkut vd, 2008).

Isıtım işlemi, ağaç malzemenin mekanik özelliklerinde düşüşe sebep olması nedeniyle, özellikle yüke maruz kalacak ve direnç özelliği istenen uygulama yerlerinde ağaç malzemenin kullanılmasını kısıtlayabilir. Fakat uygun ısıtım metotları ve şartları kullanılarak odunun direncindeki kayıplar engellenebilirse kullanım yerleri genişletilebilir (Winandy, 1996).

Bu çalışma endüstride yaygın olarak kullanılan ve Türkiye’de geniş yetiştirme alanlarına sahip karaçam (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtım işlemi etkisini belirlemek için yapılmıştır.

Materyal ve Metod

Ağaç Malzeme

Bu çalışmada ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan hava kurusu yoğunluğu 0,57 gr/cm³ olan Karaçam (*Pinus nigra var. pallasiana*) ve 0,73 gr/cm³ olan dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) odunları kullanılmıştır. Kullanılan ağaç malzemeler Bolu-Gerede’de faaliyet gösteren Nowawood işletmesinden temin edilmiştir. Ağaç malzemeye Şekil 1’de gösterilen üretim metodu gereğince 212 °C’de ısıtım işlemi uygulanmıştır. Bu ısıtım işlemi yönteminde şu işlem basamakları takip edilmiştir.

Isı Artışı ve Yüksek Sıcaklıkta Kurutma

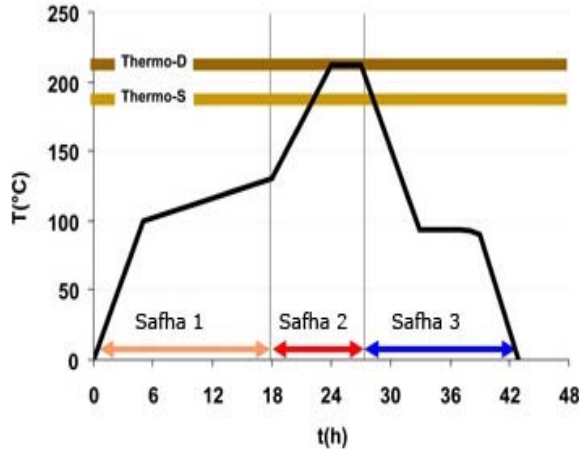
Isıl işlem uygulamasında ağacın başlangıç rutubetinin önemi yoktur. Isıl işlem taze kesilmiş (yaş) ya da kuru ağaçlara uygulanabilir. Isıl işlem uygulama yönteminde kurutma en uzun safhadır. Isı ve buhar kullanılarak fırın sıcaklığı hızlı bir şekilde 100 °C'ye çıkarılmıştır. Sonra, kurutmanın yer aldığı yüksek sıcaklık süresi boyunca ısı muntazam bir şekilde 130 °C'ye yükseltilmiş ve ahşaptaki nem içeriği yaklaşık %0'a düşürülmüştür.

Isıl işlem

Yüksek sıcaklıkta kurutma oluşur oluşmaz, fırın içerisindeki sıcaklık 185 °C'ye arttırılmıştır. Hedeflenen seviyeye ulaşıldığında, son kullanım uygulamasına bağlı olarak sıcaklık 2-3 saat sabitlenmiştir.

Soğutma ve Kondisyonlama

Son bölümde, su spreyi sistemi kullanılarak ahşabın ısı 50 °C - 60 °C ye düşürülmüş ve ahşabın nemi % 4-6'ya ulaşıncaya kadar devam edilmiştir.



Şekil 1. Isıl işlem uygulama metodu Thermo-S (Stabilite 180°C), Thermo-D (Dayanıklılık 210°C) (<http://www.novawood.com.tr>)

Metot

Hava kurusu haldeki karaçam ve dişbudak odunlarından elde edilen kontrol ve deney örnekleri üzerinde hava kurusu yoğunluk, tam kuru yoğunluk, statik eğilme,

liflere paralel yapışma, vida tutma dirençleri ile birlikte Brinell sertlik ölçümleri yapılmıştır.

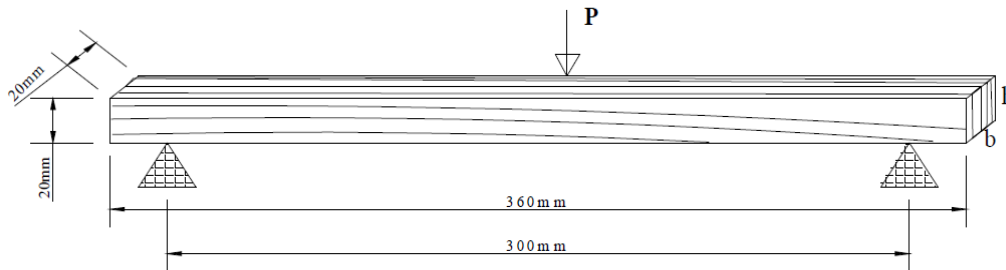
Hava kurusu yoğunluk tayini için, TS 2472 (Anonim, 1976) standardına uygun olarak 20x20x30 mm ölçülerinde hazırlanan örnekler; 20±2 °C sıcaklık ve % 65±5 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilerek, rutubetleri hava kurusu (%12) hale getirilmiştir. Bu durumda ±0,01g duyarlılıklı analitik terazide tartılıp (W₁₂), ±0,01mm duyarlılıklı dijital kumpasla boyutları belirlendikten sonra, hacimleri hesaplanarak (V₁₂), hava kurusu yoğunluklar (D₁₂) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

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

Tam kuru yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde hava kurusu haldeki örnekler kullanılmıştır. Bu maksatla örnekler etüve 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 çıkartılan örnekler desikatöre alınarak, soğumaları sağlanmıştır. Daha sonra ağırlıkları ve üç yöndeki boyutları ölçülerek tam kuru özgül ağırlıkları (D₀) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

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

Eğilme direnci denemeleri TS 2474'e (Anonim, 1976) uygun olarak hazırlanan 20x20x360 mm boyutlarındaki örnekler üzerinde yapılmıştır. Denemelerde dayanak noktalarının açıklığı 300 mm olarak alınmış ve kırılma anındaki kuvvet (P_{max}) okunup eğilme direnci (σ_E) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Şekil 2'de eğilme deneyinde kullanılan örneklerin şekli ve boyutları verilmiştir.



Şekil 2. Eğilme direnci örneklerinin şekli ve boyutları

$$\sigma_E = \frac{3 \cdot P_{\max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Burada;

P_{max}= Kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b= Deney numunesinin genişliği (mm)

h= Deney numunesinin kalınlığı (mm)

Liflere paralel yapışma direnci TS 205 (Anonim, 2004) ve DIN 53255 esaslarına göre yapılmıştır. Bu amaçla 150x20x15 mm ebatlarında hazırlanan deney örneklerine liflere paralel çekme uygulayarak katman yapışma direnci belirlenmiştir. Yapışma direnci deneyinde yapıştırıcı olarak Kleibert PVAc-D4 tutkalı kullanılmıştır. Üretici firma tarafından tutkalın teknik özellikleri; yoğunluğu

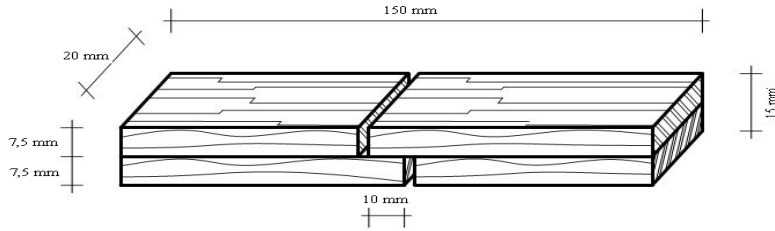
~1,12 g/cm³, viskozitesi (20 °C) 13000±2000 mPas, pH değeri ~3, jelleşme zamanı 6-10 dakika, tebeşirleşme noktası +5 °C, donma direnci -30 °C, sertleştirici oranı %5 (*Turbo-Hardener 303,5*), kullanım miktarı 180-200 g/m², uygulama şekli fırça ya da silindirik sürme makinesi, depolama süresi ~12 ay, presleme süresi; 20 °C'de 15 dakika, 50 °C'de 5 dakika, 80 °C'de 2 dakika olarak verilmiştir. Yapıştırma işleminde pres basıncı karaçam için 0.7 N/mm², dişbudak için 0.9 N/mm² olarak ayarlanmış ve 20 °C'de 15 dakika basılı halde tutkal sertleşene kadar beklenmiştir. Daha sonra taslak haldeki parçalardan standartlara uygun olarak örnekler kesilmiştir.

Kopma anındaki maksimum kuvvet (F_{max}) tespit edilerek yapışma direnci (σ_y);
 $\sigma_y = F_{max} / A = F_{max} / (a \cdot b)$ (N/mm²) eşitliğinden hesaplanmıştır.

Burada:

F_{max} = Kopma anındaki kuvvet (N)
 a = Yapışma yüzeyinin genişliği (mm)
 b = Yapışma yüzeyinin uzunluğu (mm)

Şekil 3'te liflere paralel yapışma deneyinde kullanılan örneklerin şekli ve boyutları verilmiştir.



Şekil 3. Yapışma deneyi örneklerinin şekli ve boyutları

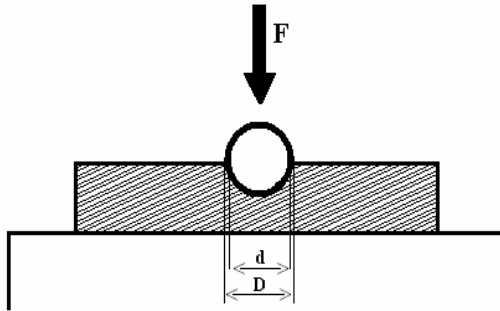
Sertlik, ağaç malzeme içerisine girmeye çalışan herhangi bir cisme karşı koyma gücüdür. Brinell sertlik deneyleri 50x50x20 mm boyutlarında 10 adet hazırlanan örneklerle ve TS 2479 (Anonim, 1976) esaslarına göre yapılmıştır. Brinell sertlik testinin prensibi Şekil 4'te verilmiştir.

kâğıdı konmuştur. Çukur çapları yıllık halka mikroskobu ile ±0,01 mm duyarlılıkta ölçülerek, Brinell sertlik değeri (H_B) belirlenmiştir.

$$H_B = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Bu eşitlikte;

F = Uygulanan kuvvet (N)
 D = Brinell sertlik küresinin çapı (mm)
 d = Numune Yüzeyi çukur çapı (mm)



Şekil 4. Brinell sertlik deney düzeneği

Yıllık halkalara teğet kesitlerin orta noktasından 10 mm çapındaki küre ile 50 kgf uygulanacak şekilde makineye yerleştirilmiştir. Maksimum kuvvete 15 saniyede ulaşacak şekilde hız ayarlanmış ve bu kuvvet etkisinde 30 saniye beklenmiştir. Deney esnasında kürenin numune içerisinde meydana getirdiği çukur sınırının keskin, belirgin olabilmesi ve çukur çapının 0,01 mm duyarlılıkta ölçülebilmesi için, çelik küre ile numune arasına karbon

Vida tutma direnci ASTM D 1037 (1991) standardına uygun olarak yapılmıştır. ASTM D 1037'e göre numune alma ve deney parçalarının kesilme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deney parçaları kare şeklinde olup her bir kenarının uzunluğu 75 mm ±1 ve 20 mm kalınlık ebatlarında hazırlanmıştır. Daha sonra bu parçalar % 65 ± 5 rutubet ve 20 °C ± 2 °C sıcaklıktaki klima odasında hava kuruşu ağırlığa gelinceye kadar kondisyonlanarak deneylere için hazır hale getirilmiştir. Deneylerde TS 431/1 (Anonim, 2001) 'de 4x40 sembolü ile gösterilen çelik, düz havşa başlı, yıldız yarıklı, helisel dişli, diş tepe açısı 60°±6° olan vida kullanılmıştır. Vidalama işlemi sadece yüzeyden uygulanmıştır. Çizelge 1'de kullanılan vidaya ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan vida ve uygulama özellikleri

Vida tipi	Klavuz delik çapı (mm)	Klavuz delik derinliği (mm)	Vidalama derinliği
4x40	Dişbudak (%80) 3.2	15± 1	19± 0.5
	Karaçam (%70) 2.9	15± 1	19± 0.5

Vida tutma direncinin hesaplanmasında (σ_v) aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_v = F / A \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$A = \pi \cdot D \cdot L$$

π = Sabit sayı (3,14)
 D = Vida çapı (mm)
 L = Vida etkili boyu (mm)

İstatistik Yöntemler

Kontrol ve deney örneklerinin hava kuru ve tam kuru yoğunluk, eğilme ve yapıma dirençleri ile birlikte Brinell sertlik değerlerine; ısı işlemin etkilerini belirlemek için çoklu varyans analizi kullanılmıştır. Gruplar arası farklılığın $p < 0.05$ 'e göre istatistiksel anlamda farklı

çıkması halinde bu farklılıkların gruplar arasındaki önemi için LSD (en küçük önemli fark) testi kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Hava kuru yoğunluk değerlerine ısı işlem uygulamasının etkilerinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Hava kuru 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 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'te verilmiştir.

Çizelge 3. Ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi değişkenlerinin hava kuru yoğunluk değişim oranına ait Duncan testi sonuçları

FAKTÖR		Ort (g/cm ³)	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 kuru 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.

Dişbudak odununda (0.7567 g/cm³), en düşük ise ısı işlem gören karaçam örneklerinde (0.4705 g/cm³) olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak diş budak odununda hava kuru yoğunlukta ısı işleme bağlı olarak %13.84 civarında bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Aynı düşüş karaçam odununda % 11.47 olarak gerçekleşmiştir.

Ağaç türü ve işlem çeşidi ikili etkileşimine göre, hava kuru özgül ağırlık değerlerinde en yüksek değer kontrol

Tam kuru yoğunluk değerlerine ısı işlem uygulamasının etkilerinin belirlenmesi için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. 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 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Ağaç türü, ağaç türü ve işlem çeşidi değişkenlerinin tam kuru yoğunluk değişim oranına ait Duncan testi sonuçları

FAKTÖR		Ort (g/cm ³)	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

Ağaç türü ve işlem çeşidi ikili etkileşimine göre, tam kuru özgül ağırlık değerlerinde en yüksek değer kontrol Dişbudak odununda (0.7369 g/cm³), en düşük ise ısıl işlem gören karaçam örneklerinde (0.4539 g/cm³) olarak elde edilmiştir. Dişbudak odununda tam kuru yoğunluk değerinde, ısıl işleme bağlı olarak bir düşüşün yaşandığı

ve bu oranın yaklaşık % 14.14 olduğu belirlenirken Karaçam odununda bu oran % 14.53 olarak gerçekleşmiştir.

Eğilme direncine ait sayısal verilere uygulanan varyans analiz sonuçları çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Eğilme direnci varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	4001628.911	1	4001628.911	55.8372	0.0000
İşlem çeşidi (B)	4296824.745	1	4296824.745	59.9563	0.0000
Ağaç türü *İşlem çeşidi	3720555.693	1	3720555.693	51.9152	0.0000
Hata	2579974.822	36	71665.967		
Toplam		39			

Eğilme direnci varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü, işlem çeşidi, ağaç türü ve işlem çeşidi etkileşimi bakımından 0.05 önem seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Anlamlı bulunan ağaç türü, işlem çeşidi, ağaç türü ve

işlem çeşidi etkileşimi değişkenlerinde farklılık oluşturan gruba veya grupları (alt değişkenleri) tespit etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Eğilme direnci Duncan testi sonuçları

FAKTÖR		Ort (N/mm ²)	HG
Ağaç türü	Dişbudak	102.43	A
	Karaçam	66.88	B
LSD: 171.2			
İşlem çeşidi	Kontrol	103.11	A
	Isıl işlem	66.20	B
LSD: 171.2			
Ağaç türü * İşlem çeşidi	Dişbudak* Kontrol	138.04	A
	Dişbudak* Isıl işlem	66.83	B
	Karaçam* Kontrol	68.12	B
	Karaçam* Isıl işlem	65.59	B
LSD: 242.2			

Ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlem toplamda ağaç malzemenin eğilme direncini %35.79 oranında düşürmüştür. Isıl işleme bağlı olarak en fazla eğilme direnci kaybı dişbudak odununda meydana gelmiştir.

Liflere paralel yapışma direncine ait yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 8' de ve anlamlı bulunan gruplara ait Duncan testi sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 8. Liflere paralel yapışma direncine ait varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	5269148.646	1	5269148.646	152.8055	0.0000
İşlem çeşidi (B)	8370017.882	1	8370017.882	242.7308	0.0000
Ağaç türü *İşlem çeşidi	5264489.614	1	5264489.614	152.6704	0.0000
Hata	1241377.847	36	34482.718		
Toplam	20145033.989	39			

Çizelge 9. Liflere paralel yapışma direnci Duncan testi sonuçları

FAKTÖR		Ort (N/mm ²)	HG
Ağaç türü	Dişbudak	8.90	A
	Karaçam	5.27	B
LSD: 171.2			
İşlem çeşidi	Kontrol	9.37	A
	Isıl işlem	4.79	B
LSD: 171.2			
Ağaç türü * İşlem çeşidi	Dişbudak* Kontrol	12.99	A
	Dişbudak* Isıl işlem	4.80	C
	Karaçam* Kontrol	5.74	B
	Karaçam* Isıl işlem	4.79	C
LSD: 242.2			

Isıl işlem ağaç malzemenin liflere paralel yapışma direncini genel olarak %49 oranında düşürmüştür. Brinell sertlik değerlerinin varyans analizi sonuçları

Çizelge 10, anlamlı bulunan gruplar arası Duncan testi sonuçları ise Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 10. Brinell sertlik değerlerine ait varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	11.820	1	11.820	1960.0076	0.0000
İşlem çeşidi (B)	0.198	1	0.198	32.8734	0.0000
Ağaç türü *İşlem çeşidi	0.20	1	0.20	3.2984	0.0777
Hata	0.217	36	0.006	-	-
Toplam	12.255	39			

Brinell sertlik değerlerinde yapılan varyans analizi sonuçlarına göre ısıl işlem metodu ağaç türü ve işlem çeşidi gruplarında 0.05 önem seviyesinde önemli

bulunurken, ağaç türü ve işlem çeşidi etkileşiminde önemli bulunmamıştır.

Çizelge 11. Brinell sertlik değerine ait Duncan testi sonuçları

Faktör		Ort (Kg/mm ²)	HG
Ağaç türü	Dişbudak	1.212	B
	Karaçam	2.299	A
LSD: 0.2980			
İşlem çeşidi	Kontrol	1.826	A
	Isıl işlem	1.685	A
LSD: 0.2980			

Vida tutma dirençlerine ait varyans analizi Çizelge 12 ve anlamlı bulunan gruplara ait

Duncan testi sonuçları da Çizelge 13 de verilmiştir.

Çizelge 12. Vida tutma direncine ait varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F Hesap	Önem düzeyi % 5
Ağaç türü (A)	14594174.371	1	14594174.371	292.2772	0.0000
İşlem çeşidi (B)	1086806.678	1	1086806.678	21.7655	0.0000
Ağaç türü *İşlem çeşidi	17769.184	1	17769.184	0.3559	
Hata	1797575.457	36	49932.652		
Toplam	17496325.690	39			

Vida tutma direncine ait varyans analizi sonuçlarına göre ısıl işlem uygulamasının ağaç türü ve işlem çeşidi üzerinde 0.05 önem seviyesinde etkili olduğu

belirlenmiştir. Ağaç türü ve işlem çeşidi etkileşiminde bunun anlamsız olduğu gözlenmiştir.

Çizelge13. Vida tutma direncinde Duncan testi sonuçları

Faktör		Ort (N/mm ²)	HG
Ağaç türü	Dişbudak	11.80	A
	Karaçam	6.74	B
LSD: 142.9			
İşlem çeşidi	Kontrol	9.96	A
	Isıl işlem	8.58	B
LSD: 142.9			

Dişbudak odununda vida tutma direncinin fazla olması yoğunluğunun fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Vida tutma direncinde ısıl işleme bağlı olarak %13.85 oranında bir düşüşün yaşandığı belirlenmiştir.

Dişbudak ve karaçam odunlarına 212 °C'de uygulanan ısıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri 0.05 önem seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Isıl işlem uygulaması, ağaç malzemenin hava kurusu ve tam kuru yoğunluk eğilme direnci, yapışma direnci, vida tutma direnci ve sertlik değerlerinde belli oranlarda düşüslere neden olmuştur. Bu anlamda bu çalışma, daha önceki yapılan çalışmalarla bir paralellik göstermektedir.

Hava kurusu yoğunluk değerleri; Dişbudak odununda 0.7567 (g/cm³) elde edilirken, karaçamda 0.5315 (g/cm³) elde edilmiştir. Isıl işlem şartlarına bağlı olarak yaşanan hava kurusu yoğunluk kaybı Dişbudak odununda, % 13.84 oranında gerçekleşirken, Karaçam'da %11.47 oranında gerçekleşmiştir. Termal olarak modifiye edilmiş okalıptus odununun hava kurusu yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü ve liflere paralel basınç direnci üzerinde ısıl işlemin etkisi araştırılmıştır. Isıl işlem sıcaklığı ve muamele süresi arttıkça; ağaç malzemenin yoğunluk, basınç direnci ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü belirlenmiştir(Ünsal vd, 2003).

Aydemir, (2007) ısıl işlemin ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisini belirlemek için Gökmar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve Gürgeç (*Carpinus betulus* L.) odunlarını 170, 190 ve 210 °C'de 4, 8 ve 12 saat süreyle ısıl işleme tabi tutmuştur. Çalışma sonucunda ısıl işlem gören ağaç malzemelerin biyolojik direnç ve boyutsal kararlılığın artmasına neden olurken mekanik dirençlerde de azalmalara neden olduğu belirtilmiştir.

Yüksek sıcaklıklarda muamele edilen kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) odununun mekanik özellikleri, boyutsal stabilizasyonu ve renk değişimi üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Deney sonunda sıcaklık artışıyla ilgili olarak mekanik özelliklerde düşüşün gerçekleştiğini, odunun boyutsal stabilizasyonunun arttığını ve odun renginin koyulaştığı belirlenmiştir(Bekhta and Niemz, 2003).

Başka bir çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununu 150, 170, 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulmuş ve numuneler üzerinde eğilmede elastikiyet modülü (EM), eğilme direnci (ED), basınç direnci (BD), ağırlık kaybı (AK), toplam renk değişimi (ΔE^*) ve hacimsel şişme (HS)

değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre ısıl işlem, sarıçamın EM ve ED değerlerini düşürdüğünü, BD değerini artırdığını görülmüştür (Özçifçi vd 2009).

Isıl uygulamasının ağaç malzemedeki mekanik özelliklere etkilerinin incelendiği bir çalışmada Okalıptus (*Eucalyptus saligna*) odununu 105-155 °C de 10-160 saat süre ile ısıl işleme maruz bırakılmıştır. Örnekler üzerinde, ısıl işlem uygulamasının mekanik özelliklere etkisi değerlendirilmiştir. Deney sonucunda odunda sıcaklık ve ısıl işlem sürenin artmasıyla; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç ve makaslama direnci değerlerinde azalmalar olduğunu belirlenmiştir(Vital vd. 1982).

Sonuç ve Öneriler

Ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlem şartlarına bağlı olarak odun yapısı yeni bir form kazanmaktadır. Bununla beraber oluşan bu yeni formun bazı özellikleri olumlu yönde meydana gelirken bir kısmında olumsuz etkilenebilmektedir. Isıl işlem uygulaması özellikle ağaç malzemenin mekanik dirençlerinde belli oranlarda kayıplara neden olmaktadır. Bunun nedeni, ısıya ve süreye bağlı olarak odun bünyesinde yaşanan kütle kaybıyla, odun ana bileşenlerinden lignin yapısının deformasyona uğraması ve polimer yapının bozunmasıyla ifade edilebilir. Bununla beraber mekanik direncin düşmesinde birçok faktör etkili olabilmektedir.

Literatürdeki yapılan benzer çalışmalara göre, direnç azalmaları odun polimerlerinin depolimerizasyon reaksiyonları sonucu meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda moleküller arasındaki ve moleküllerin kendi içerisindeki bağlar deformasyona uğrayarak kopmaya başlamaktadır. Bu bağların kopması, sıcaklık ve sürenin artmasıyla daha da artmaktadır.

Ağaç malzemeye uygulanan ısıl işlem mekanik dirençlerde kayıpların yaşanmasına neden olduğundan ısıyla muamele edilen ağaçlar, dayanım gerektiren ve yük taşıyan unsurlar olarak kullanılması önerilmezken daha çok estetik ve dekoratif amaçlı kullanılması ile birlikte özellikle boyutsal kararlılığın önemli olduğu sulu veya nemli mekanlarda kullanılması önerilebilir. Bununla beraber ağaç malzemenin biyolojik direnç kazanması dış ortam şartlarında kimyasal madde kullanılmaksızın ağacın korunması amacıyla kullanılabilir.

Kaynaklar

- Bourgois, J., Bartholin, M.C., Guyennet, R., 1998, Thermal Treatment of Wood: analysis of the obtained product. *Wood Science and Technology* 23(4): 303-310.
- Tjeerdsma, B.F., Boonstra, M., Militz, H., 1998. Thermal modification 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.
- Mayes, D., 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.
- Viitaniemi, P., New properties for thermally-treated wood. *Indust Horizons*. March, 9, 2000.
- Viitaniemi P., Decay resistant wood created in a Heating process, *Industrial Horizons*, December 1997- 23.
- 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.
- Voss, K., 1952, Heat treatment of hardboards, *Holz Roh-u. Werkstoff*, Vol:10, No: 8, 299-305.
- Esteves, B., Velez, M. A., Domingos, I., Pereira, H., 2006, Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood, *Wood Science Tech.*, Department of Applied Sciences, University of Quebec at Chicoutimi, Chicoutimi, Canada.
- Kitahara K., Chugenji M., Effects of Heat Treatment On The Mechanical Properties of Wood, *J. Jap., For. Soc.*, 33, 1951, 414-419.
- Korkut, S., Korkut, D.S., Bekar, İ., Okalıptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi *I. Ulusal Okalıptüs Sempozyumu, 15-17 Nisan 2008, Tarsus*.
- Winandy, J. E., 1996, Effects of Treatment, Incising, and Drying on Mechanical Properties of Timber, *Forest Products Laboratory, USDA Forest Service*, pp.9.
- TS 2472, 1976, Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneylemler için Birim Hacim Ağırlığın Tayini, TSE, Ankara.
- TS 2474, 1976, Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, TSE Ankara.
- TS EN 205. Adhesives-wood adhesives for non-structural applications – Determinations of tensile shear strength of lap joints. Turkish Standards Institute, Ankara 2004.
- TS 2479, Odunun statik sertliğinin tayini, TSE, Ankara, Kasım 1976.
- ASTM-D 1037-91, American society for testing and materials (ASTM). Standard methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, PA: ASTM Annual Book of Standards; 1991.
- TS 431, Wood screws. Institute of Turkish Standards; 2001.
- 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.
- Aydemir, D. 2007, Göknar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus betulus* L.) Odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısı işleminin etkisi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi.
- Bekhta, P., Niemz, P., 2003, Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, *Holzforschung*, 57(5):539-546.
- Özçifçi, A., Altun, S., Yapıcı, F., Isıl işlem uygulamasının ağaç malzeminin teknolojik özelliklerine etkisi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük,
- 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.
- Isıl işlem, Ağaç malzeme, Termowood, http://www.novawood.com.tr/thermowood_meto du.htm (Erişim Tarihi: 6.1.2010).