



T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAPSIZ MEŞE (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp.
iberica (Steven ex Bieb) Krassiln)'NİN BAZI
TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN
ETKİLERİ**

TOLUNAY ŞANLI

HAZİRAN 2008

SAPSIZ MEŞE (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp.
iberica (Steven ex Bieb) Krassiln)'NİN BAZI TEKNOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

TOLUNAY ŞANLI

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALINDA
YÜKSEK LİSANS DERECELERİ İÇİN
GEREKLİ ÇALIŐMALARINI YERİNE GETİREREK ONAYA
SUNULAN TEZ

HAZİRAN 2008

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Onayı

Prof. Dr. A. Demet KAYA
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans Derecesinde bir tez olarak gerekli çalışmaları yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet AKGÜL
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezin Yüksek Lisans Derecesinde bir tez olarak onaylanması, düşüncemize göre, amaç ve kalite olarak tamamen uygundur.

Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT
Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

1. Yrd. Doç. Dr. Nevzat ÇAKICIER
2. Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ
3. Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT (Danışman)

ABSTRACT

THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON SOME TECHNOLOGICAL PROPERTIES IN OAK (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb) Krassiln) WOOD

ŞANLI, Tolunay
Master of Science, Department of Forest Industrial Engineering
Advisor: Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT

June, 2008 – 114 pages

In this study, some technologic properties of heated Oak (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb) Krassiln) wood was investigated.

Heating wood has since ancient times been a method to dry and modify its properties. Nowadays heat is used in industrial processes for the same reasons.

Heat treatment was applied on the wood samples at three different temperatures (120, 150 and 180°C) and three different durations (2, 6 and 10 hours) under atmospheric pressure (\pm sensitively).

As physical properties; oven-dry density and swelling, as mechanic properties; compression strength parallel to the grain, static bending strength and modulus of elasticity were determined.

The results indicated that the effects of heat treatment on physical properties especially with dimensional stabilization was found satisfactory. Physical and mechanic properties values generally exhibited a decrease with increasing the exposure durations and temperatures.

The obtained results were analyzed using ANOVA and Duncan Test, the effects of temperature and duration to physical and mechanical properties were determined. According to the results, increasing temperatures resulted more weight loss on the heat treated specimens than the control specimens. The results indicated that the effects of heat treatment on physical properties of specimens in regard to swelling was found satisfactory. Mechanic and technologic properties generally exhibited a decrease with increasing the exposure durations and temperatures.

Key Words: Oak, *Quercus petraea*, Heat Treatment, Physical and Mechanic Properties

ÖZET

SAPSIZ MEŞE (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb) Krassiln)'NİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

ŞANLI, Tolunay
Y.Lisans, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT

Haziran, 2008 - 114 Sayfa

Bu çalışmada; ısıtım işlem uygulanan Sapsız Meşe (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb) Krassiln) odununun teknolojik özellikleri incelenmiştir.

Odunun ısıtılması muamelesi eski çağlardan beri bir kurutma ve özelliklerin modifiye edilmesinde kullanılan bir metottur. Günümüzde de ısı muamelesi aynı nedenlerden dolayı kullanılmaktadır.

Üç farklı sıcaklık (120, 150 ve 180°C) ve üç farklı süre (2, 6 ve 10 saat) olmak üzere toplam 9 varyasyonda oluşturulan deneme deseninde her varyasyon için ayrı kontrol grubu oluşturulmuştur. Isıtım işlem uygulaması normal atmosfer ortamında, sıcaklığı $\pm 1^{\circ}\text{C}$ duyarlılıkta kontrol edilebilen bir etüvde gerçekleştirilmiştir.

Isıtım işlemine tabi tutulan test örneklerinde fiziksel özelliklerden; tam kuru yoğunluk ve genişleme, mekanik özelliklerden liflere paralel basınç direnci, eğilme

direnci ve eğilmede elastikiyet modülü tespit edilmiş ve kontrol gruplarıyla karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak; ısıtım işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisi özellikle boyut stabilizasyonu bakımından memnun edici bulunmuştur. Fiziksel ve mekanik özelliklerde, genellikle artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak bir düşüş kaydedilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ANOVA ve Duncan testi kullanılarak ısıtım işlem görmüş odunun fiziksel ve mekanik özelliklerine sıcaklık ve sürenin etkileri belirlenmiştir. Sonuçlar ısıtım işlemin örneklerin fiziksel özellikleri üzerinde özellikle de genişleme üzerine etkisinin olumlu olduğunu göstermiştir. Sıcaklık ve sürenin artmasıyla mekanik ve teknolojik özelliklerde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sapsız Meşe, *Quercus petraea*, Isıtım İşlem, Fiziksel ve Mekanik Özellikler

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı üstlenerek araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesi sırasında, değerli bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında değerli tavsiyelerini ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Derya SEVİM KORKUT'a, deney çalışmalarım da ve tez hazırlama döneminde bilgilerinden faydalandığım değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın tüm safhalarında yardımlarından faydalandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Ramazan KANTAY'a ve Sayın Hocam Doç. Dr. Öner ÜNSAL'a, Yrd. Doç. Dr. Bülent KAYGIN'a, Yrd. Doç. Dr. Nevzat ÇAKICIER'e ve emeği gecen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Nilay ŞANLI, babam Mustafa ŞANLI ve annem Nuran ŞANLI'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ABSTRACT	iii
ÖZET	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1. 1. Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi	3
1.1.1. Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi	3
1.1.1.1. Ağırlık Kaybı	3
1.1.1.2. Daralma-Genişleme Oranları (Çalışma)	6
1.1.1.3. Çatlama ve Renklenmeler	12
1.1.2. Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi	16
1.1.3. Isıl İşlemin Biyolojik Özellikler Üzerine Etkisi	23
1.1.4. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi	26
1.1.4.1. Hemiselülozlar	26
1.1.4.2. Selüloz	28
1.1.4.3. Lignin	29
1.1.4.4. Karbonlaşma ve Gazlaşma	30

1.3. Isıl İşlem Metotları	31
1.3. Literatür Özeti	38
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	69
2.1. Materyal.....	69
2.2.1 Sapsız Meşe (<i>Quercus petraea</i> (Mattuschka) Liebl. subsp. <i>iberica</i> (Steven ex Bieb) Krassiln) Hakkında Genel Bilgiler	69
2.2. Yöntem.....	72
3. BULGULAR.....	78
3.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular	78
3.1. Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	88
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	95
KAYNAKLAR.....	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1. Tam Kuru Yoğunluk İstatistikî Verileri	78
Çizelge 2. Tam Kuru Yoğunluk Değeri'ne Ait Varyans Analizi	78
Çizelge 3. Tam Kuru Yoğunluk Değeri 'ne Ait Duncan Testi	79
Çizelge 4. Radyal Genişleme İstatistikî Verileri	80
Çizelge 5. Radyal Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi	81
Çizelge 6. Radyal Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi.....	82
Çizelge 7. Teğet Genişleme İstatistikî Verileri	83
Çizelge 8. Teğet Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi	83
Çizelge 9. Teğet Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi	84
Çizelge 10. Boyuna Genişleme İstatistikî Verileri	85
Çizelge 11. Boyuna Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi	86
Çizelge 12. Boyuna Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi	87
Çizelge 13. Basınç Direnci İstatistikî Verileri	88
Çizelge 14. Basınç Direnci'ne Ait Varyans Analizi	88
Çizelge 15. Basınç Direnci'ne Ait Duncan Testi	89
Çizelge 16. Eğilme Direnci İstatistikî Verileri	90
Çizelge 17. Eğilme Direnci 'ne Ait Varyans Analizi	91
Çizelge 18. Eğilme Direnci 'ne Ait Duncan Testi	92
Çizelge 19. Eğilmede Elastikiyet Modülü İstatistikî Verileri	93

Çizelge 20. Eğilmede Elastikiyet Modülü 'ne Ait Varyans Analizi	93
Çizelge 21. Eğilmede Elastikiyet Modülü 'ne Ait Duncan Testi	94
Çizelge 22. Isıl İşlemde Uygulanan Sıcaklık ve Süreye Bağlı Olarak Fiziksel ve Mekanik Özelliklerde Meydana Gelen Azalma	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Plato Wood Metodu İşlem Basamakları	32
Şekil 2. Yağlı Isıl İşlem Metodunun Temel Tasarım Planı	34
Şekil 3. ThermoWood Metodunun Isıl İşlem Safhaları	37
Şekil 4. Liflere Paralel Basınç Direnci Örneklerinin Şekli, Boyutları ve Yükün Uygulanması	74
Şekil 5. Statik Eğilme Direnci Örneklerinin Şekli, Boyutları ve Yükün Uygulanması	75

1. GİRİŞ

Ağaç malzeme; kolay işlenmesi, ısı ve sese karşı iyi bir yalıtıcı olması, renk ve estetik özellikleri ve yoğunluğunun düşük olmasına nazaran yüksek direnç değerlerine sahip olması nedeniyle geniş bir kullanım alanı olan organik bir malzemedir. Bununla birlikte kullanımı sırasında sorunlar çıkarabilmesi sebebiyle kullanım alanları sınırlı olabilmektedir. Tam kuru hal ile lif doygunluğu noktası arasında rutubet alıp vererek boyutlarını değiştirmesi, düşük sıcaklık derecelerinde bile kolay tutuşabilmesi, mantar ve böceklere karşı dayanımının yetersiz olması ağaç malzemenin sakıncalı özelliklerine verilebilecek örneklerdir (Yıldız, 2002).

Ağaç malzemenin olumsuz örneklerinin en aza indirgenmesi ve olumlu özelliklerinin daha da artırılması amacıyla yönelik olarak yapılan araştırma sonuçlarına göre ortaya çıkan yöntemlere “Odun Modifikasyonu Yöntemleri” denilmektedir. Odun modifikasyonu yöntemleri fiziksel ve kimyasal yönden etkili olabilmektedir. Fiziksel yönden etkili odun modifikasyonu yöntemlerinde, genellikle odunun hücre boşluklarının ve diğer kapilar boşluklarının organik veya inorganik maddelerle doldurulması ve bir materyal olarak takviye edilmesi hedeflenmektedir. Kimyasal yönden etkili olan odun modifikasyonu yöntemlerinde, hücre çeperi bileşenleri ile reaksiyon veren ve böylelikle odunun kimyasal kompozisyonunu değiştiren kimyasal maddeler kullanılmakta ve böylece odunun kimyasal yapısının değiştirilerek sakıncalı özelliklerinin azaltılması yoluna gidilmektedir (Yıldız, 2002).

Genel hatları itibariyle bu tarzda tanımlanabilen odun modifikasyonu yöntemleri çoğu zaman yüksek bir maliyeti de beraberinde getirdiği için, son yıllarda odun modifikasyonu yöntemleri tek bir muamele ile birden fazla özelliği iyileştirme

şeklinde ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan, kullanılan kimyasal maddelerin çevre kirliliğine yol açmaması, ekonomiklik ve uygulama kolaylığı odun modifikasyonu yöntemleri için önem kazanmaya başlamıştır. Ağaç malzemenin ısı işleme tabi tutulması onun kimyasal kompozisyonunu değiştirmekte ve dolayısıyla odun modifikasyon yöntemleri arasında yer almaktadır (Yıldız, 2002).

Bir odun modifikasyon yöntemi olarak ele aldığımızda, odunun 100-250⁰C'ler arasında normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi ısı işlem olarak kabul edilmektedir. Ağaç malzemenin kimyasal maddelerle modifikasyonunda özel işlem teçhizatları, teknik kurutma ve farklı bir kalite kontrol uygulaması gerekli olurken, ısı işleminde bütün bunlara ihtiyaç duyulmamakta ve ayrıca kimyasal maddelerin çevreye verebileceği zararlar söz konusu olmamaktadır (Yıldız, 2002).

Ağaç malzemenin ısı işleme tabi tutulması başta odunun rutubet alıp vermesini azaltmak bir başka deyişle oduna boyut stabilizasyonu kazandırmaktır. Ayrıca ağaç malzemeyi tahrip eden organizmalara karşı biyolojik dayanıklılığı artırmak ve denge rutubet miktarını düşürmek de ısı işlem hedefleri arasında yer almaktadır.

Bina dışı kullanımlarda ahşabın dayanıklılığını artırmak için uygulanan ısı işlem yüzyıllardan beri bilinmektedir. Öyle ki Vikingler ısı işlemi çit malzemesi gibi dış yapılarda 1000 yıl kadar önce kullanmışlardır. Odunun ısı işlemiyle ilgili literatürde birçok metot rapor edilmiş olup; ısı işlemle ilgili ilk makaleler 1920'lerdedir. Odunun ısı işleme tabi tutulması konusunda ilk bilimsel çalışmalar 1930 yılında Alman bilim adamları Stamm ve Hansen tarafından, 1940 yılında A.B.D.'li bilim adamı White tarafından yapılmıştır. 1950'lerde Germans Bavendam, Runkel ve Buro bu konuda çalışmalara devam etmişlerdir. 1960'larda Kollman ve Schneider, 1970'lerde Rusche ve Burmester yine bu konuda çalışmışlardır.

1990’larda bu konuda Hollvea, Finlandiya ve Fransız bilim adamları oldukça fazla çalışma yapmışlardır. Isıl işlem görmüş odunun koruyucu etkileri yüzyıllardır bilinmesine rağmen konu, bir araştırma olgusu olarak bilim adamları tarafından son 10 yılda geniş bir şekilde ele alınmaya başlanmıştır (Korkut ve Bakangil, 2007).

Bu çalışmada, Sapsız Meşe (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb) Krassiln) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkili incelenmiştir. Bu amaçla, odun örnekleri 120, 150 ve 180°C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat süreyle 9 farklı kombinasyonda ısıl işleme tabi tutulmuş ve odun yapılarında meydana gelen değişimler ortaya konmuştur.

1.1 Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi

Ağaç malzeme ısıl işlemin alt sıcaklık sınırı olan 100⁰C’ den itibaren termal bozunmaya başlamakta, 200⁰C’nin üzerinde yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve gaz fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. 270⁰C’nin üzerinde odunun pirolizi ve yanma olayı başlamaktadır. Odunu gaz haline getirmek için ise 500⁰C’nin üzerindeki sıcaklıklar uygulanmaktadır (Fengel ve Wegener, 1989).

1.1.1 Isıl İşlemin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi

1.1.1.1 Ağırlık Kaybı

Odunun ısıtılması; muamele metodu, sıcaklık ve maruz bırakılma zamanına bağlı olarak odunun hacminde ve kütleinde düşüşe sebep olur (Rusche, 1973; Fung ve diğ., 1974). Isıl işlem uygulaması ile meydana gelen ağırlık kayıplarının, mevcut hidroksil gruplarının azalması neticesinde görülen odun yapısında tutulan suyun

kaybı, odun hücre çeperi bileşenlerindeki maddesel kayıplar ve hemiselülozların parçalanmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir (Viitanen ve diğ., 1994a; Fengel ve Wegener, 1989).

Düşük sıcaklıkta uygulanan ısı işlem, uçucu ve bağlı suyun kaybıyla düşük kütle kaybına sebebiyet verir. Makro moleküler bileşiklerin kaybı 100⁰C sıcaklığın üzerinde gerçekleşir ve ilerleyen zaman ve sıcaklıklar kütle kaybını olumsuz etkilemektedir. Hücre duvarındaki materyallerin kaybı, eğer proses optimum olmazsa fazla oranlarda büzülme oluşumu gerçekleştirebileceğinden odunun boyutsal değişiminde rol alabilmektedir (Millet ve Gerhards, 1972).

24 saat boyunca ısı işleme tabi tutulan ladin (*Picea abies*) odununda 120⁰C'de başlayan ağırlık kaybı %0.8 iken 200⁰C'de bu oran %15.5'e çıkmaktadır (Fengel, 1966).

Dakikada 5⁰C artan sıcaklıklarla ısı işlem görmüş kayın (*Fagus sylvatica*) odunundaki ağırlık kaybı 150⁰C'de %8.1 iken, 200⁰C'de %9.8 olarak tespit edilmiştir (Fengel ve Wegener, 1989).

180-200⁰C sıcaklıklarda ve 8-10 bar'lık bir inert gaz atmosferinde ısı işlem tabi tutulan kayın odunundaki ağırlık kaybının %10-15, ladin odunundaki ağırlık kaybının ise %5-10 oranlarında olduğu belirtilmiştir (Feist ve Sell, 1987).

Termal degradasyonun nemli şartlar altında kuru şartlara göre daha fazla gerçekleştiği belirlenmiştir. Termal muameleden dolayı oluşan kütle kaybı, hidro ya da higrotermal proses kullanıldığı zaman daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bunun yanında hidrotermal muamele, ısıtılmış buhar muamelesiyle karşılaştırıldığında ağırlık kaybı oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapraklı ağaçlar genellikle, belirli şartlar altında ısıtıldığında iğne yapraklı ağaçlardan daha yüksek kütle kaybı gösterirler. Çam ve kayının kütle kaybının 200⁰C de daha yüksek olduğu

belirlenmiştir. Fakat direnç kayıpları sadece kütle kaybına ve tür özelliklerine bağlıdır. Ladinin kayına göre termal olarak daha stabil olduğu, ısıtma süresince oluşan kütle kaybı değerlerinden belirlenmiştir (Schneider ve Rusche 1973; Rusche, 1973). 200°C sıcaklıkta kuru şartlar altında kesikli ve sürekli ısıtma yapılarak iki yöntem karşılaştırılmış ve sonuçların ısıtma zamanıyla yakından ilgili olduğu görülmüştür. Isıl muamele sonucunda soğutma yapılması odunun yapısını etkili bir şekilde dengeleyen bir periyot olduğu ve böylece ısıl işlem süresince kristallikte fazla oranlarda değişimin olması engellenebilmektedir (Bhuiyan ve diğ., 2001).

Nitrojen ortamında 240–290°C’ler arasındaki sıcaklıklarda odun 30 dakika ısıl işleme tabi tutulmuş ve bu muameleyi takiben yapılan incelemelerde kristallikte herhangi bir değişim belirlenememiştir. 120–220°C sıcaklıklarda 10 dakika bir ısıl işlem uygulamasında kristallik de bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Buna karşın aynı sıcaklıklarda 20 saat hava ortamında ısıtma ile kristalliğin düştüğü ifade edilmiştir (Bourgois ve diğ. 1989). Nem ortamında pamuk selülozunun kristalliği incelendiğinde 300°C sıcaklıkta 1 saat ısıl işlem sonucunda kristallikte herhangi bir parçalanma görülemedi. Fakat 320°C sıcaklıklarda 20 dakika ısıtmadan sonra kristallikte bozulmalar meydana gelmiştir. Kristalin boyu ve yoğunluğundaki düşüş seviyeleri farklılık göstermiştir. Bu durum kristallerin termal parçalanmalarının heterojen olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu değişimler de yine selülozun kristalliğindeki değişimlerle ilgilidir (Hirai ve diğ., 1972; Bhuiyan ve diğ., 2001; Kim ve diğ., 2001).

1.1.1.2 Daralma-Genişleme Oranları (Çalışma)

Ağaç malzemeyi normal kurutma sıcaklıklarının üzerindeki sıcaklık derecelerine kadar ısıtmak en basit, en ucuz ve en eski boyut stabilizasyonu yöntemidir (Seborg ve diğ., 1953). Boyutsal stabilizasyondaki artış, termal olarak modifiye olmuş odunda elde edilebilmektedir. Fakat gözlenen etkiler ısıtma işlemine bağlı olarak değişmektedir. Stamm ve Hansen (1937), odunun boyutsal stabilizasyonunun yalnızca kimyasal maddelerin kullanılmasıyla değil, sadece ısı işlem uygulaması ile de sağlanabileceği sonucuna varmışlardır. Bu yaklaşımlar, Tiemann (1920)'nin çalışmasına da bir temel oluşturmuş ve bunun sonucunda yüksek sıcaklıklardaki kurutma işlemleri ile higroskopisitenin ağaç malzemede meydana gelen genişleme ve daralma etkisinin azaldığı görülmüştür.

Isı ile boyut stabilizasyonu sıcaklık ve zaman parametrelerine bağlıdır. Verilen bir daralma önleyici etkinlik değeri için gereken zaman, logaritmik olarak sıcaklıktaki azalmayla artmaktadır. Isı etkisiyle boyut stabilizasyonu odunun yapısında bulunan suyun kaybedilmesiyle sağlanmaktadır. Burada bir çapraz bağlanma reaksiyonu söz konusu olup, kuru ısının rutubetli ısıdan daha etkili olduğu ifade edilmektedir. Sözü edilen çapraz bağlanma, komşu odun bileşenleri üzerindeki iki hidroksil grubu arasındaki suyun parçalanmasıyla meydana getirilen eter bağı yani oksijen bağı ile sağlanmaktadır (Seborg ve diğ., 1953). Stamm ve Hansen (1937), kuru odunun ısı işlemine maruz bırakılması sonucunda higroskopisitede önemli oranda bir azalma meydana geldiğini, aynı işlemin rutubetli oduna uygulanmasıyla higroskopisitenin azalmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca rutubetli oduna uygulanan ısı işleminin kuru oduna uygulanan ısı işlemine oranla odunu 10 kat daha hızlı degrade ettiği görülmüştür (Skaar, 1976; Stamm, 1956).

Teorik olarak, hücre çeperi içerisindeki en higroskopik polimerlerin yer aldığı hemiselülozların ısı ile bozundurulması ve bunun sonucunda suyla reaksiyona girebilecek serbest polar adsorpsiyon grupları miktarının bir başka deyişle higroskopisitesinin azaltılmasıyla oduna boyut stabilizasyonu kazandırılmaktadır (Inoue ve diğ., 1993; Feist ve Sell, 1987). Selüloz ve kısmen lignin hemiselülozlardan daha yavaş ve daha yüksek sıcaklıklarda degrade olmaktadır. Başlangıçtaki hemiselüloz birimlerine göre ısı ile oluşan uçucu bozunma ürünleri, daha az sayıda serbest polar adsorpsiyon gruplarına sahiptir ve daha az higroskopiktir. Yapraklı ağaç hemiselüloz birimleri olan pentozanlar, iğne yapraklı ağaç hemiselüloz birimleri olan heksozanlara göre bozunmaya karşı daha hassastır (Feist ve Sell, 1987). Bir başka deyişle, ısı etkisiyle yapraklı ağaçlar iğne yapraklı ağaçlardan daha hızlı bozunmaktadır. Bunun sebebi, muhtemelen yapraklı ağaçların daha fazla sayıda asetil gruplarına sahip olmalarıdır (Hilis, 1975; Millett ve Gerhards, 1972).

Ağaç malzemenin polimerik yapısında yer alan bir bileşen olarak hemiselülozlar, diğer hücre çeperi bileşenleri olan lignin ve selülozu bağlayıcı bir ana işleve ve aynı zamanda birbirine komşu hücreler arasında yapıştırma etkisine sahiptir. Dolayısıyla, hemiselülozun termal bozunması yüzünden meydana gelen değişiklikler ve kayıplar odun özelliklerinde önemli bazı etkiler yapmaktadır (Feist ve Sell, 1987). Isı işleminin değişik ağaç türleri üzerindeki etkileri hemiselülozların tipine ve miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin bir yapraklı ağaç türü olan kayın bir iğne yapraklı tür olan çama göre daha yoğun reaksiyonlar göstermekte; çamdaki reaksiyon yoğunluğu da ladine göre daha fazla olmaktadır. Buna göre ortalama ağırlık kaybı ve boyut stabilizasyonu oranları çam ve ladine göre kayında biraz daha yüksek olmaktadır (Giebeler, 1983).

70-200⁰C sıcaklıklar arasında 6, 24 ve 48 saat süreyle ısıtıl işlem uygulanan kayın, meşe ve çam diri odunlarında meydana gelen sorpsiyon davranışlarının incelendiği bir çalışmada; 70⁰C'deki uygulamadan sonra türlerin sorpsiyon kapasitelerinin değişmediği görülmüştür. Buna mukabil 100⁰C, 130⁰C ve 150⁰C sıcaklıklarda sorpsiyon kapasitelerinde bir azalma meydana gelmiştir. Sorpsiyon kapasitesindeki azalma ısıtıl işlem süresi ve sıcaklığına paralel olarak artma göstermiştir. 180⁰C'de 6 ve 24 saat süreyle yapılan ısıtıl işlemlerde; sorpsiyon kapasiteleri benzer oranda azalan örneklerin, 24 saat süreyle uygulanan ısıtıl işlemden sonraki sorpsiyon kapasitelerindeki azalış, 48 saat süreli ısıtıl işlem ile karşılaştırıldığında daha fazla olmuştur. Bu durumun; muhtemelen ligninin ergimesi gibi kimyasal proste meydana gelen değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Isıtıl işleme tabi tutulan odunun sorpsiyon kapasitesindeki bu değişmeler, odun bileşenlerinin sorpsiyon karakteristiği ile olduğu kadar bu bileşenlerin odunun kimyasal bileşimindeki oranlarıyla ve farklı termal stabilite değerleri ile de açıklanmaktadır (Kollmann ve Schneider, 1963).

Rusche (1973) yaptığı çalışmada; iğne yapraklı ağaç örneklerinin su itici etkinlik değerinin hem muamele sıcaklığı hem de zamanına bağlı olarak değiştiğini; ağırlık kaybı %20'ye yaklaştığında su itici etkinlik değerinin maksimuma ulaştığını ve 165⁰C'den 205⁰C'ye değişen sıcaklıklarda 6 saat ısıtıl işlem ile su itici etkinlik değerinde düşüşlerin belirginleştiğini ifade etmiştir.

Boyutsal stabilizasyondaki değişimin kullanılan muamele atmosferine bağlı olarak ciddi oranda değiştiği gözlenmiştir. Odun örnekleri 300⁰C'de hava ya da nitrojen ortamında ısıtılmış ve ağırlık kaybının %20 olduğu noktada, boyutsal stabilizasyon maksimuma ulaştığı belirlenmiştir. Bu ağırlık kaybının yanında boyutsal stabilizasyondaki artışın kapalı sistemlerde daha fazla gerçekleştiği

bulunmuştur. Boyutsal stabilizasyon açık sistemlerde nitrojen ortamında yapıldığında kütle kaybı %20'yi geçtiği zaman değişim görülmemiştir fakat örnekler yine açık sistemlerde hava ortamında ısıtıldığında boyutsal stabilizasyonda düşüşler gözlenmiştir. Konsantre olmuş sıvı sodyum hidroksit, morp haline ya da primidin de modifiye olmuş odunun şişmesi, modifiye olmamış oduna göre aynı seviyede ya da daha yüksektir. Ancak odunun suda şişmesi düşmektedir. Bu elde edilen verilerden boyutsal stabilizasyonundaki artışın, termal modifikasyon süresince eter çapraz bağlarının oluşumunun ciddi bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Liginde çapraz bağ oluşumu, termal olarak modifiye olmuş odunun boyutsal stabilizasyonunda bir gelişme sağlayan faktörler arasında olmayabileceğini düşündürmektedir (Burmester, 1975). Hemiselülozun kaybolması ısı muamele görmüş odunun boyutsal stabilizasyonuna en büyük katkıyı sağladığını göstermiştir. Isıl işlem sonucunda boyutsal stabilizasyondaki değişime katalizlerin etkileri araştırılmış ve kataliz ($ZnCl_2$ ya da $NaCl$) varlığında ve yokluğunda açık bir sistemde ısı işlemin sonucu olarak odunun boyutsal stabilizasyonu çalışılmıştır. Sonuçta kataliz olmayan termal muamele de, ağırlık kaybı ve boyutsal stabilizasyon %16 oluncaya kadar ilişkilidir. Daha sonra boyutsal stabilizasyonda düşme başlar. Her iki kataliz varlığındaki muamele durumundaki bu ilişki %10 ağırlık kaybindan sonra kaybolmaktadır (Stamm ve Baechler, 1960). Isıl muamele sonucunda boyutsal stabilizasyondaki gelişmelerin türlere bağlı olduğu ve radyal yöndeki çalışmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun anatomik farklılıklarından dolayı olduğu belirlenmiştir. Yapılan birçok araştırmada özellikle 100–230⁰C arasındaki sıcaklıklarda ve 2–48 saat süreli ısı işlem uygulamasıyla, kayın, kızılğaç, meşe, okaliptus, kavak, sarıçam, fin çamı, akçaağaç, huş, ladin, göknar gibi ağaç türlerinde meydana gelen boyutsal stabilite değişiklikleri incelenmiş ve sonuçta genellikle

sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte kullanılan tekniğe de bağlı olarak %55–90 varan bir boyut stabilizasyonu sağlanmıştır (Feist ve Sell, 1987; Giebeler, 1983; Burmester, 1973; Viuaniemi, 1997).

Odunun higroskopik özellikleri, termal modifikasyonun sonucu olarak düşer, bu düşüş zaman ve proses sıcaklığıyla ilgilidir. 300⁰C'de hava ortamında termal olarak modifiye edilen çamın %90 bağıl nemdeki denge rutubet oranı değeri 1 saatlik muamele edilmiş odunda, ısıl işlem görmemiş oduna göre daha düşüktür. Isıtma nitrojen altında yapıldığında, termal olarak muamele edilmiş odunun sorpsiyon kapasitesi 60 dakika ısıtma zamanından sonra düşmüş ve daha sonra değişmemiştir. Hava varlığında ve yokluğunda termal muamele görmüş odunun sorpsiyon davranışı, muamele zamanı ve sıcaklığı artarken odun örneklerinin sorpsiyon kapasitesinin düştüğü belirlenmiş. Fakat örnekler 200⁰C'de hava ortamında ısıtıldığı zaman kütle kaybı yaklaşık %20 olduğunda ilerleyen ısıtma periyotlarında (Kayın için 24 saat ve Ladin için 48 saat) tekrar artmaya başladığı belirlenmiştir (Rusche, 1973). Isıl işlemde dolayı nispi kütle kaybı ve sorpsiyon kapasitesindeki düşüş hava ortamındaki termal muamelede daha fazla olmuştur. Kayın odunu, ladinle karşılaştırıldığında sorpsiyon davranışında ciddi bir düşüş görülmüştür. Nitrojen ve hava akımı altında 15 saat 300⁰C'de Douglas göknarı ısıtılmış ve 10 saatlik bir periyotlar süresinde %90 ve %30 bağıl nemdeki örneklerin denge rutubet oranı belirlenmiştir. İlk periyotlarda belirlenen denge rutubet oranı değerleri muamele görmemiş odunla karşılaştırıldığında düşük olmasına rağmen, bu değerler her periyot da daha da düşmüş ve hava ortamında ısıtılan odunun denge rutubet oranı değerleri 5. periyottan sonra muamele görmemiş odundan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu davranışın odunda sadece sınırlı değerlerde olduğu görülmüştür (Schneider, 1973).

Başlangıç rutubeti %1-48 arasında değişen kayın odun örneklerinde 100⁰C'de 24-96 saat ısıtılma maruz bırakıldıktan sonra odun higroskopisitesinde sıcaklığın artmasıyla birlikte bir azalma; fakat sorpsiyon karakteristiklerinde bir durağanlık gözlenmiştir (Nikolov ve Enceev, 1967).

Hillis ve Rozsa (1978) 100⁰C'de 2 saat süreyle kısa bir ön ısıtma veya buharlama işlemiyle hemiselüloz-lignin matriksini plastikleştirerek termal bozunmayı en düşük seviyeye getirmişler ve oduna ek bir boyutsal stabilizasyon kazandırmışlardır.

Bir diğer çalışmada ise; rutubetli haldeki meşe, kayın ve sarıçam odunlarının bir otoklav içerisinde ve basınç altında muamelesiyle ısıtılma optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu işleme rutubet-ısı-basınç yöntemi adı verilmiş ve direnç değerlerindeki kayıpların telafi edilebilir olmasının yanında; meşe öz odunu için %75, kayın diri odunu için %60, çam diri ve öz odunu için %55 ve ladin diri ve öz odunu için %52 oranlarında boyut stabilizasyonu sağlanmıştır (Burmester, 1973).

180-200⁰C sıcaklıklarda ve 8-10 bar'lık bir inert gaz atmosferinde 1.8 m³'lük bir pilot reaktör içerisinde gerçekleştirilen rutubet-ısı-basınç muamelesi yöntemi ile daralma ve genişlemede 55-80 oranında bir azalma sağlanmıştır. Özellikle pencere doğramaları gibi yüksek boyut stabilizasyonu gerektiren uygulamalarda yeni ve ekonomik bir potansiyel yöntem sadece %10'luk bir direnç kaybı ile elde edilebilmiştir (Giebeler, 1983).

Basınç altında iken sıkıştırılarak ya da buharlanarak ısıtılma tabii tutulan odunun boyut stabilizasyonu hemiselülozun degradasyonu ile değil lignin-hemiselüloz matrikslerinin ısı ile plastikleştirilmesi sonucunda başarılmaktadır. Bu şekilde hemiselülozun degradasyonu en düşük seviyede olmakta; mekanik

özelliklerdeki azalma tolere edilebilir hale gelmektedir. Buna ilaveten yüzey sertliğinde de bir miktar artış sağlanabilmektedir (Inoue ve diğ., 1991).

Keith ve Chag (1978) yaptıkları çalışmada; 220°C'de 2 saat süreyle ısıtılma işlemi uygulama sonucunda denge rutubet miktarının %50 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Repellin ve Guyonet (2005) yaptıkları çalışmada; 60°C'den 200°C'ye değişen sıcaklıklarda örneklerin 1 saat muamelesinde muamele sıcaklığı artarken rutubet miktarının önemli derecede arttığını ifade etmişlerdir.

1.1.1.3 Çatlama ve Renklenmeler

Odunun kurutma sırasındaki daralması, yapısındaki hücre çeperlerinin daralmasından kaynaklanmaktadır. Hücre çeperlerinin boyutları dikkate değer oranda azalmaktadır. Ladinin hücre çeperi hacimsel daralma miktarı ilkbahar odununun da %26.5 yaz odununda ise %29.5 olarak bulunmuştur. Bu daralma ilkbahar odunu gözenek hacminde bir azalma ve yaz odunu gözenek hacminde bir artma meydana getirmektedir. Sıcaklığın yükselmesiyle meydana gelen ilave daralma tesirleri hacmin daralmasında olduğu gibi, termal bozulma sonucu ortaya çıkan madde kayıpları yüzünden artmaktadır. Bu kayıplar hücre tabakalarının tiplerine göre farklılık göstermektedir. Farklı daralma etkileri hücre çeperi içerisinde çatlamalara neden olmaktadır. Çatlaklar daha ziyade hücre köşesinde yer alan S1 ve S2 geçitleri arasında olduğu gibi en zayıf bölgelerde de gözlenmektedir (Fengel ve Wegener, 1989). 180-200°C sıcaklıklarda ısıtılma işlemi maruz bırakılan ladinin yaz odunu traheitlerinde meydana gelen çatlaklar aynı zamanda, birleşik orta lamelde ve S1 tabakasının bitişiğinde gözlenmektedir (Fengel, 1966).

180-200°C sıcaklıklarda ve 8-10 barlık bir inert gaz atmosferinde, rutubet, ısı, basınç muamelesiyle ısıtılma işlemi uygulanan ladin ve kayın örneklerinde sıcaklığın

artmasıyla birlikte, odunun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkileyen kırılabilirlik ve yarıma eğilimlerinin arttığı gözlemlenmiştir (Giebeler, 1983).

110-180⁰C sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakılan kayın ve çam diri odunun da meydana gelen kurutma deformasyonları incelenmiştir. Çam diri odunu boyuna yönde yüzey çatlaklarıyla kollaps ve çarpılmalar olmaksızın kurutulmuştur. Buna karşılık birçok durumda iç çatlaklar meydana gelmiştir. Kayın odununda, yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısı işlemden sonra boyuna yüzey üzerinde herhangi bir yüzey çatlaklığı görülmemiştir. Fakat iç çatlak oluşumları çam diri odunundan daha çok belirgin olmuştur. Kayın odunu ile yapılan tüm testlere göre kollaps oluşumunun 110 ve 130⁰C sıcaklıklardaki ısı işlemden sonra, 150 ve 180⁰C sıcaklıklardaki ısı işlem uygulamalarına göre daha çok dikkat çekici olduğu görülmüştür (Schneider, 1973).

Yapılan bir diğer çalışmada, 220⁰C de 6-8 saat süreyle ısı işleme tabi tutulmuş Fin çamı, kayın ve ladin örneklerinde mikroskobik incelemeler ışığında hücre duvarı içerisinde boyuna yönde çatlaklar, 220⁰C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yine hücre duvarı içerisinde yarıklar tespit edilmiştir (Anonymous, 2003).

Uygulanan ısı işlem süresi, sıcaklığı ve tekniğine bağlı olarak odun renginde fark edilebilir bir koyulaşma meydana gelmektedir.

Mailum ve Arenas (1974); 90,110,130,150 ve 175⁰C sıcaklıklarda 240 saat süreyle farklı Filipin odunu türlerinin kalitesi üzerine kuru ısı işlem muamelesinin etkilerini araştırmış ve odun renginin sıcaklığa bağlı olarak açık renkten koyu kahverengine doğru değiştiğini tespit etmişlerdir. Belirgin renk değişimlerinin yapraklı ağaç odunlarında 60⁰C'de iğne yapraklı ağaç odununda ise 90⁰C'de

başlamakta olduğu ve sıcaklığın artmasıyla birlikte renklenme şiddetinin arttığı bildirilmiştir (Kantay, 1993).

Preslendikten sonra 180-200-220⁰C'de 2,4,6,8 dakika süreyle buharlanan veya 4,8,12,16 ve 20 dakika süreyle ısıtılma tabii tutulan Sugi (*Cryptmeria japonica* D.Don) odununun l-a-b tekniğine göre belirlenen renk farklılığı testinden en az renk değişimi 180⁰C de buharla muamele edilen örneklerde yalnızca hafif bir sararma şeklinde olmuştur. 200 ve 220⁰C sıcaklıklarda uygulanan ısıtılma muamele sonucunda ise koyu bir sararma meydana gelmiştir. Çeşitli zaman periyotlarında ve özellikle yüksek sıcaklıklarda ısıtılma tabii tutulan tüm örneklerde önemli derecede renk koyulaşması görülmüştür (Inoue ve diğ., 1993).

110-180⁰C sıcaklıklarda ısıtılma maruz bırakılan kayın ve çam diri odunu örneklerinin renk bozulmalarını değerlendirmek için spektrofometre vasıtasıyla spektral yansıma eğrileri kaydedilmiştir ısıtılma işlem süresine ilaveten, ısıtılma işlem sıcaklığının da örnek renginin koyulaşması gibi yansımadaki azalma üzerinde fark edilir derecede etkili olduğu gözlenmiştir. Yansımadaki azalma genellikle çam diri odununa göre kayın odununda dikkate değer oranda daha fazla olmuştur (Schneider, 1973).

Sehstedt-Person (2003)'de 65–95⁰C'de sarıçam ve ladinin diri odununun termal muamelesinde renk değişimleri gerçekleştiğini bildirmiştir. Ekstraktiflerdeki bileşiklerin bu değişikliklerin ana sebebi olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; renk değişimlerinin kompleks değişimlerin orijinlerinde lignin, hemiselülozun degradasyonu ve belirli ekstraktif bileşiklerinden kaynaklandığı görülmüştür.

Daha yüksek sıcaklıkta daha koyu bir renk elde edilebilmekte ve iğne yapraklı ağaçlarda renk sürekliliği, kullanılan odunun yoğunluğuna ve ilkbahar ya da

yaz odunu olup olmamasına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Kullanım esnasında renk performansını belirlemek için bazı çalışmalar yapılmıştır (Bourgois ve diğ., 1991; Bekhta ve Niemz, 2003). Termal olarak modifiye olmuş odunun renk stabilitesi hızlandırılmış dış ortam direnci süresince kontrol örneklerinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Fakat rengin, ısıl işlem görmüş odun da bir dış koruyucuyla muamele edilmezse kaybolduğu gözlenmiştir (Syrjanen ve Kangas, 2000; Ayadi ve diğ., 2003).

Isıl işleme meydana gelen renk koyulaşması sonucunda odun yüzeyi koruyucu bir tabakayla kaplanmadıktan sonra UV ışığına karşı dayanıklı olmamaktadır. Normal boyama işlemlerinde problem olmakla beraber elektrostatik boyama kullanıldığında, ısıyla muamele edilmiş odunda ekstra olarak rutubetlendirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır. UV degradasyonundan dolayı astar boya üzerine opak sistemler (su esaslı akrilik veya solvent esaslı alkidler) tavsiye edilmektedir. Bu şekilde uzun yıllar açık havaya maruz bırakılmış ısıl işlem muameleli odunların performanslarının muamelesiz oduna göre daha iyi olduğu gözlenmiştir (Militz, 2002).

225⁰C sıcaklıkta buhar altında 6 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulan ladin levhalarının yüzeyleri dış cephe rtcleri ile kaplandıktan sonra 5 yıl süreyle açık hava şartlarına maruz bırakılmıştır. Isıl işlem görmüş levhaların açık havaya karşı dayanımları su ve solvent esaslı boyaarla kapatılmış malzemelerde artmıştır (Jamsa ve diğ., 2000).

Farklı laboratuarlarda ısıl işlem uygulanan ağaç malzemenin tutkallanabilirliği konusunda birçok araştırma yapılmıştır. alışmalar polivinil tutkalları, poliüretan tutkalları, izosiyonat tutkalları, resorsinol fenolik tutkallar gibi

çoğu endüstriyel tutkal tipinin ısıtılma işlem görmüş ağaç malzemeye uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Ancak ısıtılma işlem sonucu hidrofobik hale gelen odun yüzeyine odunu çevreleyen tutkal içerisindeki çözücünün daha güçlü penetre olduğu gözlemlenmiştir. Emisyon ölçümleri ile ilgili olarak yapılan bir başka çalışmada da terpenlerin, alfafinlerin, kamfinlerin muamele edilmemiş çam odunundaki emisyonların, muamele edilmişlere oranla çok daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Kotilainen, 2000; Mayes ve Oksanen, 2002).

Benzeri bir çalışmada havada kurutulan İskoç çamı ile 24 saat boyunca 230°C sıcaklıkta ısıtılma işlemine tabi tutulan İskoç çamı odunundan buharlaşarak ayrılan organik bileşiklerin emisyonunun, havada kurutulan odun örneklerinden 8 kat daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır (Manninen ve diğ., 2002). Isıtılma işlem uygulamasından sonra odunda serbest furfural ile alakalı olduğuna inanılan çok karakteristik bir karamel kokusu hissedilmektedir (Militz, 2002). Isıtılma işlem görmüş odunun hoş olmayan kokusu muameleden 2–3 hafta sonra kaybolur (McDonald ve diğ., 2002).

1.1.2 Isıtılma İşleminin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

Isıtılma işleminin olumlu özellikleri yanında bir takım olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak termal bozulma oranıyla ilişkilendirilen ve madde kaybıyla açıklanan direnç kayıpları meydana gelmektedir (Rusche, 1973).

Odunun direnci ve sertliği ısıtıldığında azalmakta, soğutulduğunda da artmaktadır. Odun kısa süreli ısıtıldığında da sıcaklık etkisi derhal meydana gelmekte ve odun eski özelliklerine yeniden geri dönebilmektedir. Direnç ve sertlik özelliklerinde meydana gelen dönüşümsüz azalmalar, eğer odun uzun süreler için artan sıcaklıklarda ısıtılma işlemine maruz bırakılırsa ortaya çıkmaktadır. Odunun mekanik

ve teknolojik özelliklerinde meydana gelen bu tip dönüşümsüz değişimlerin; odunun termal bozunmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Mitchell, 1988). Termal bozunmayla; en çok mekanik direnç özellikleri, şok ve eğilme direnç özellikleri, en az ise elastikiyet modülü ve ağırlık kaybı etkilenmektedir (Maclean, 1954; Maclean, 1955). Eğilme direnci muamele şartlarına bağlı olarak % 0-30 oranında azalma gösterebilmektedir. Endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılan güney çamının 118⁰C sıcaklığa maruz bırakılması direnç üzerinde olumsuz bir etki yapmamıştır (Koch, 1971; Yao ve Taylor, 1979). Daha yüksek sıcaklıklarda kurutma isteği odunun direnç özelliklerine verebileceği zarar dikkate alınarak, daha ılımlı hale getirilmektedir. Örneğin 132⁰C'de 9 saat ten daha uzun sürede kurutmanın eğilme direnci üzerinde önemli bir azalmaya neden olabileceği öne sürülmüştür (Koch, 1976).

Isıl muamele süresince gerek odun içerisinde gerekse yüzeylerde meydana gelen çatlaklar ve yarılmalar, ahşap materyalin direncinde ciddi sorunlara yol açmakta, bu durumda mekaniksel özellikleri olumsuz etkilemektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda oluştuğu bilinen formik ve asetik asit formasyonu öncelikle hemiselülozdan başlayarak birçok odun bileşenini tahrip eder ve bunun sonucunda kütle kayıpları meydana gelir. Kütle kayıpları sonucunda özgül kütlede düşüşü diğer özgül kütleyle bağlı olan mekaniksel özellikleri de olumsuz yönde etkilemektedir.

Odunun direnci sıcaklıkla birinci dereceden ilgilidir. Dirençteki lineer düşüşler -200⁰C'den 160⁰C'ye doğru değişen sıcaklıklardaki artışlarda daha net göze çarpar. Isının odun üzerinde etkileri iki tipte toplanabilir. Artan sıcaklıkla oluşan ani etkiler ve odun polimerlerinin termal parçalanmasına neden olan kalıcı etkiler. Isıyla oluşan ani etkiler düzeltilebilir; fakat kalıcı etkiler düzeltilemez. Ani ve kalıcı etkilerin birleşimi daha fazla zarar meydana getirir. Rutubet olmayan bir

çevrede ısıtılan odunun başlangıç etkisi dehidrasyondur. Sıcaklığın 55–65⁰C’de olduğu ilerleyen periyotlarda (2–3 ay) hemiselülozun depolimerizasyonu yavaşça baş gösterir (Feist ve diğ., 1973; Levan ve diğ., 1991). Bu süre ilerledikçe pirolizin 250⁰C de hızlı gerçekleştiği görülmüş olan hücre duvarı polimerlerinin buharlaşması, havasız ortamdaki kömürleşme oluşumu ve hava varlığında gerçekleşen tutuşma artar. 102⁰C’de 335 gün fırında ısıtılan duglas göknarının eğilmede elastikiyet modülü %17, eğilme direnci %45 ve liflerde oluşan stresin sınırları %33 oranlarında düşmektedir (Millet ve Gerhards, 1972). Aynı kayıtlar 160⁰C’de 7 gün içinde gözlenebilmektedir. Havasız ortamda 10 dakika. 210⁰C’de ısıtılan iğne yapraklı ağaçların eğilme direnci %2, sertliği %5 ve yüzey kabalığı %5 oranlarında düşmektedir. 280⁰C’de aynı şartlar altında eğilme direnci %17, sertlik %21 ve yüzey kabalığı %40 oranlarında düşer. Her iki örnekte ısı, hava ve zamanın birleşik etkilerini göstermektedir.

15 dakikalık periyotlarla nitrojen altında 20⁰C’den 295⁰C’ye kadar ısıtılan aynı örneklerle, 25⁰C’de ısıtılan çam örneklerinin fotomikrografikleri karşılaştırıldığında hücre yapılarının hala bozulmadığı görülür. Fakat hücre duvarı elemanları pirolizle kararmıştır. 82⁰C’ye maruz kalan çam odunun kararması arabinozdaki kayıpla ve ksiloz da oluşan düşüşten gerçekleşir. 82⁰C’de bu kararma daha sonra arabinozun ve ksilozun furan halkalarının hidrolizi ile koyu kahverengi furfuralın oluşumuna katkıda bulunur. Son 20 yılda odunun direnci üzerinde artan yüksek sıcaklıklar ve ısı işlem süresinin kalıcı etkileri yoğun bir şekilde çalışılmıştır (Levan ve diğ., 1991; Winandy ve diğ., 1991; Winandy, 1995a; Levan ve Evans, 1996; Green ve diğ., 2003, Winandy, 2001).

Kurutulmuş çam ve kayın odunun da 100-200⁰C sıcaklıklarda 9 saat’e kadar sürdürülen ısı işlemi lif yönünde maksimum gerilme ve basınç direnci elastikiyet

modülü ve maksimum iş üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmalarda; direnç özelliklerinde meydana gelen çalışmanın hava varlığında ve yokluğunda yaklaşık olarak benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Isıl işlemin neden olduğu madde kaybı yüzünden elastikiyet modülünde %8-10'dan daha fazla bir oranda azalma tespit edilmiştir. Her iki odun türü içinde elastikiyet modülü ve madde kaybı arasındaki ilişki birbirine benzer bulunmuştur. Maksimum dirençteki ve içteki azalmalar gerilme direncinde basınç altındakine göre daha fazla olmak üzere her iki odun türü içinde benzer oranlarda bulunmuştur (Rusche, 1973).

Suyla tam doygun halden denge rutubeti miktarına kadar sabit kurutma şartları arasındaki ilişki 110-130-150,ve 180⁰C'erde ısıl işleme maruz bırakılan çam ve kayın diri odununda (%12 rutubet) 20 mm kalınlığındaki çam diri odunu örneklerinin maksimum basınç dirençlerinde bir azalma gözlenmezken aynı kalınlıktaki kayın odunu örneklerinde küçük bir artış kaydedilmektedir. 40mm kalınlığındaki çam diri odunu örneklerinin maksimum basınç direncinde yaklaşık %5 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Isıl işlemin her iki odun türündeki maksimum eğilme direnci üzerindeki olumsuz etkisi ise daha fazla bulunmuştur (Schneider, 1973). Çam, duglas göknarı ve kırmızı meşe odunlarının 150-200⁰C sıcaklıklarda 20-60 dakika süreyle ısıl işleme yada 30-120 dakika süreyle buharlama işlemine tabi tutulduğu bir başka çalışmada en çok etkilenen tür kırmızı meşe olmuştur. Buharlama işlemi ısıl işleme göre sertlik ve karbonhidrat miktarını daha fazla azaltmıştır. Fiziksel ve kimyasal değişimler büyük oranda sıcaklığa ve zamana veya her ikisinin de birbiriyle olan korelasyonuna göre meydana gelmiştir. Hemiselüloz miktarındaki değişikliklerin direnç özellikleri üzerine olan etkisinin umulandan daha fazla olduğu görülmüştür (Davis ve Thompson, 1964).

100, 130, 150, 180 ve 200⁰C sıcaklıklarda 6, 24 ve 48 saat süreyle ısıtılma maruz bırakılan kayın ve çam diri odunun da 150⁰C'nin üzerindeki sıcaklıklar için elastikiyet modülünde dikkate değer bir azalma görülmüştür. Elastikiyet modülüne göre basınç direnci, daha az miktarda şok direncinde yapılan iş ise daha fazla miktarda etkilenmiştir. 180⁰C ve 6 saate kadar olan ısıtılma uygulaması ile %12 rutubetteki kayın odununun basınç direnci çam diri odununa göre daha az azalmıştır (Schneider, 1971). 150-200⁰C sıcaklıklarda 1, 3, 5, 10 ve 20 saat süreyle ısıtılma uygulanan *Chamaecyparis obtusa* ve *Fagus crenata* örneklerindeki şok direnci değerleri, 150⁰C de 5 saat, 200⁰C de 1 saat ve 200⁰C'de 5 saatlik uygulamalardan sonra muamele edilmemiş odun örneklerine göre %50 azalmıştır. 150⁰C 5 saatlik uygulamadan, Young sertliği etkilenmemiştir. *Fagus crenata* örneklerinde Young sertliği etkilenmezken *Chamaecyparis obtusa* 150⁰C ve 5 saat'lik ısıtılma uygulamasından etkilenmemiş ancak 200⁰C süren uygulamadan sonra kontrol örneklerine nazaran yaklaşık %50 oranında bir azalma göstermiştir (Kitahara ve Chugenji, 1951).

105-155⁰C lerde 10-160 saat süreyle ısıtılma maruz bırakılan *Eucalyptus saligna* odunun da sıcaklık ve sürenin artmasıyla birlikte eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, maksimum iş, statik eğilmede toplam iş, liflere paralel basınç ve makaslama direnci değerlerinde azalmalar kaydedilmiştir (Vital ve Lucia, 1983). Stiren, akrilolitril ve metilmetakrilat karışımı ve fenol formaldehit reçinesi ile modifiye edilip 200 ve 300⁰C sıcaklıklarda 10, 20 ve 30 dakika süreyle ısıtılma maruz bırakılmış kayın odunun da ağırlık kaybı ile eğilme basınç dirençleri arasındaki ilişki doğrusal bulunmuştur (Panaiotov ve Mateeva, 1984).

Eğilme direncinde genelde düşüş 220⁰C'den sonra başlamaktadır. Sonuçlar ısıtılma işlem görmüş odunun elastikiyet modülünün değişmesi üzerinde önemli

olmadığını göstermiştir. Odun örnekleri %45 ve %65 nispi nemde kondisyonlanmaktadır. Odunda budak bulunması, ısıtılma işlem görmüş odunun direnç değerlerini; ısıtılma işlem uygulanmamış olana göre, daha düşük olmasına neden olur. Bu; diğer faktörler arasında reçinenin odundan ekstrakt edilmesindedir. Isıtılma işlem görmüş olan odundaki az ya da çok orandaki düşüşten dolayı ısıtılma işlem görmüş odunun yapılarda kullanılması tavsiye edilmemektedir (Green, 1999).

220⁰C'de 3 saat ısıtılma işlem uygulamasında odunun şok direncinin yaklaşık olarak %25 kadar düştüğü belirlenmiştir (Mayes ve Oksanen, 2002).

Kayın ve ladin odunu örnekleri 100-200⁰C sıcaklıklarda 96 saat süreyle hava ve vakum ortamında ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Aynı ağırlık kayıplarında maksimum direnç ve maksimum yüklemeye kadar yapılan çekme direncinde basınç direncine göre daha büyük bulunmuştur. Ağırlık kaybının %8-10'dan büyük olduğu durumlarda her iki tür içinde elastikiyet modülünde önemli bir azalma söz konusu olmuştur (Rusche, 1973).

Yapılan başka çalışmalarda *Cryptmeria japonica* odunu örnekleri preslemeden önce ve sonra olmak üzere 180⁰C de 2, 3, 4 ve 8 dakika buharlamaya ısıtılma muameleye tabi tutulmuştur. Preslenmiş örneklerin buharlanması sonrasında yüzey sertliği değişmeden kalırken preslendikten sonra buharlanan örneklerdeki yüzey sertliğinde küçük bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum buharlama sırasında hemiselüloz miktarında gözlenen önemsiz kayıptan ve polimer matrikslerinin yeniden yapılanmasından kaynaklandığı zannedilmektedir. Preslenmeyip 180-200⁰C'lerde buharlanan örneklerin sertlik değeri yaklaşık 0.07MP'a iken preslendikten sonra buharlanan örneklerin sertlik değeri 0.25MP'a olmuş yaklaşık 3 kat daha fazla bir artış elde edilmiştir. *Cryptmeria japonica* 180⁰C de 8 dakika buharlanmasıyla elastikiyet modülünde %3.3, 200⁰C'de 1 dakika

buharlanması ile % 8.6 oranında bir azalma gözlenmiştir. 180⁰C’de 5 saat süreyle ısıtılma maruz bırakılan örneklerin elastikiyet modülünde bir artış kaydedilirken 200⁰C’de 5 saat’lik muamelede herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir. 200⁰C ve 8 saatlik bir buharlama sonrasında ise elastikiyet modülünde %20 den daha fazla bir azalma söz konusu olurken, 220⁰C de 5 saatlik bir ısıtılma işlem sonrasında da yaklaşık %30’dan fazla bir azalma tespit edilmiştir. 180 ve 200⁰C de 8 dakika süreyle buharlanıp preslenmeyen örneklerin eğilme direncinde çok az bir değişiklik meydana gelmiştir. Eğilme direncindeki önemli azalma, 220⁰C de buharlama işleminden ve her durumdaki ısıtılma işleminden özellikle 200⁰C ve 220⁰C’lerdeki uygulamalardan sonra görülmüştür (Inoue ve diğ., 1993).

Quercus cerris odunu yongalarının 230-300⁰C de 1-8 dakika süreyle ısıtılma muamelesinden sonra eğilme direncinde mobilya endüstrisi için yonga levhaların kullanımında katkı sağlayacak şekilde %20-25 oranında bir artış söz konusu olmuştur (Tomek, 1966).

100-300⁰C’de su buharı ortamında ve aynı sıcaklıklarda hava ortamında ısıtılma maruz bırakılan *Quercus suber* odununda basınç direncinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. 300⁰C’de su buharı ortamında işlem gören örneklerde basınç direncinin kontrol örneklerine nazaran dikkate değer azalması hücre çeperi bileşenlerinin termal bozulmasıyla izah edilmiştir. Aynı sıcaklıkta hava ortamında muamele edilen örneklerde, su buharı ortamında işlem gören örneklere nazaran dirençte hafif bir artış olduğu görülmüştür (Rozsa ve Fortes, 1989).

140-180⁰C sıcaklıklarda 15 dakika ile 50 saat’lik zaman periyotlarında sert lif levhaya uygulanan ısıtılma işleminden sonra eğilme ve çekme dirençlerinin benzer davranışlar sergilediği görülmüştür. Muamele süresinin uzunluğuna bağlı olarak öncelikle direnç değerlerinde hafif bir artış kaydedilmiştir. Daha düşük sıcaklıklarda

yavaş olmak üzere muamele sıcaklığı yükseldikçe direnç değerlerinde hızlı bir düşüş gözlenmiştir. Böylece eğilme direnci 180⁰C sıcaklıkta 1 saat'lik uygulama ile %20 artış gösterirken 13 saatlik bir uygulamadan sonra %50 bir düşüş sergilemektedir. 160⁰C'de 2-3 saatlik bir uygulama ile %28, 150⁰C için 4 saat'lik bir uygulama ile %12, 50 saatlik uygulama ile %18 ve 140⁰C sıcaklık için 12 saatlik uygulama ile %12 ve 50 saatlik uygulama ile % 4 oranının da bir düşüş kaydedilmiştir (Voss, 1952).

Kavak odunundan elde edilen lif levhaya uygulanan bir diğer ısıl işlem çalışmasında (160⁰C'de 2 saat) çekme eğilme dirençlerin de meydana gelen % 15-30 oranındaki artışın nedeni, liflerin kendi dirençlerindeki artıştan kaynaklanmamaktadır. Çünkü ısıl işlem dirençte bir azalma meydana getirmekten ziyade, selülozun polimerizasyon derecesini azaltıcı bir rol oynamaktadır. Dahası lignin içermeyen bir materyalden yapılmış lif levhalarda ısıl işlem dolayısıyla gözlenen benzeri artış delignifikasyona uğramamış materyalden yapılmış lif levhalarda da gözlenmiştir. Bu durum da lignini direnç üzerinde önemli bir artışa neden olmadığı sonucuna varılmaktadır. Isı ile muamele edilmiş levhaların daha kısa liflerden meydana geldiği ve muamele edilmemiş olanlara göre daha düşük polimerizasyon derecesine sahip selüloz içerdiği görülmüştür. Dolayısıyla ısıyla muamele edilmiş levhalarda gözlenen direnç değerlerindeki artışın yalnızca hemiselülozun poliüronit kısımlarının yapışma etkisinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Klauditz ve Stegman, 1951).

1.1.3 Isıl İşlemin Biyolojik Özellikler Üzerine Etkisi

Isıl işlem görmüş odunun biyolojik direncini ölçmek için 3 tip test yapılır. Bu testler EN 113 standartlarına göre gerçekleştirilmektedir. Deneyler küçük örneklerde kısa sürelerde yapılır. 8, 16, 24 ve 32 haftalar arası test mantarı *Coniophara putearea*

ve *Poria placenta* ki bu mantarlar en yaygın ve en fazla çürümeye sebep olan biyolojik zararlıdır. Sonuçlar kahverengi çürüklüğe karşı direncin ısı işlem görmüş odunda daha iyi olduğunu göstermiştir. Fengel ve Wegener (1989), yapılan çalışmalarda ısıyla muameleyle tahrip edici mikroorganizmalara karşı odun biyolojik olarak dayanımının arttığı gözlenmiştir. Bunun üç temeli bulunmaktadır. İlki odunun yapısında doğal olarak bulunan suyun buharlaşması, mevcut hidroksil gruplarının azalması ve bu grupların çürüklüğe daha dirençli olan gruplarla yer değiştirmesinden dolayı olduğu belirlenmiştir. Kavak, ladin ve göknar örnekleri 200–260 termal olarak muamele edilmiş ve sonuçta mikrobiyolojik saldırılara karşı örneklerin dirençlerinin arttığı belirlenmiştir. Troya ve Navarrete (1994) tarafından kavak odunu'nun 220, 230, 240, 250 ve 260°C sıcaklıklarda 5, 10, 15, 20 saat termal muamelesi sonucunda odununun çürüme direncinin ciddi oranlarda arttığı belirlenmiştir. Rapp ve Sailer (2000), sıcak hava ve sıcak yağla yapılan ısı muameleden sonra deniz zararlıları ile ilgili çalışmalar halen devam etmesine rağmen ilk yayınlanan sonuçlara göre ısı işlem uygulamasının olumlu etkiler gösterdiği belirlenmiştir.

Böcek Saldırıları: Yapılan testlere göre ısı işlem görmüş odunun böceklerle karşı direncinin iyi olduğunu göstermiştir. Fakat özellikle ısı işlem görmüş çam ağacına bal arılarının yumurtalarını bırakmaları için en uygun yer olduğunu göstermiştir. Bunun nedeninin de ısı işlem görüş odunun terpen emülsiyonunun normal odundan daha düşük olduğundandır. Aynı zamanda bu durum termitler içinde geçerli olduğu için tehlikeli bir durum arz etmektedir. Çeşitli türlerin odun örnekleri 150°C buhar ortamında ve 150°C'de hava ortamında çeşitli periyotlar süresince *C. formosonus* ya da *R. speratus* termit türleriyle saldırı ortamında ısıtma yapılmıştır (DOI ve diğ., 1997; 1999). Buharla yapılmış olan ısı işlemin böcek saldırılarına

karşı etkili olduğu görülmüş ve buna karşın ısı ile yapılan ısıtma işleminin çok az etkisi olduğu belirlenmiştir.

Mikrobiyolojik Saldırıları: Stamm ve Baechler (1960) tarafından 2 ay *Trametes serialis* mantarıyla ısıtma işlemi görmüş odunun maruz çalışılmış ve su itici etkinlik değerleri %40'ı geçtiğinde hiçbir kütle olmadığı belirlenmiştir. Termal olarak modifiye edilmiş odun *L. trabea* (*G. trabeum*) ile muamele edildikten sonra meydana gelen çürümeden dolayı %42'lik su itici etkinlik kütle kaybı odunda %12-14'lük bir kayıp olduğunu göstermiştir. Termal muamele için kataliz olarak $ZnCl_2$ kullanımında çok fazla orvea bir gelişme çürüme direncinde gözlenmiştir. Beyaz çürüklük mantarı *C. versicolor* ve 2 tane kahverengi çürüklük yapan mantarla (*G. trabeum* ve *C. puteana*) Fransız yöntemi olan Retified yöntemiyle modifiye olmuş ahşap materyal muamele edilerek çürüme direnci çalışılmıştır. Bu çalışma da kavak, ladin, duglas göknarı örnekleri kullanılarak 10 ya da 20 saat $250^{\circ}C$ 'de termal olarak muamele edilmiştir. Beyaz çürüklük mantarı ve ayrıca yumuşak çürüklük mantarı (*Chaetomium globosum*) kullanılmıştır. 6 hafta sonra Fransız standartlarına göre test edilmiş ve retified odunda çürüklüğe karşı yüksek bir direnç olduğu görülmüş ve kütle kaybının çok düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Troya ve Navarette (1994)'te, $220^{\circ}C$ ile $260^{\circ}C$ arasında değişen sıcaklıklarda yine retified olmuş odunun çürüme direnci incelenmiştir. Çalışmada *S. lacrymansla* muamele edilerek yapılmıştır. 5 aylık maruzdan sonra çürümeden dolayı çok düşük seviyelerde bir ağırlık kaybı olduğu ve modifiye olmuş odunun direncinin çürümeye karşı istenilen seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Fakat bu durumun düşük sıcaklıklarda modifiye edilmiş odunda daha düşük olduğu belirlenmiştir. Viitanen ve diğ. (1994), ısıtma işlemi görmüş odunun saf kültür testlerinde *C. puteana* mantarına karşı istenilen seviyelerde direnç gösterdiği belirlenmiştir. Isıtma işlemi süresince polisakkarit kaybı kahverengi

çürüklük direnci, beyaz çürüklükle karşılaştırıldığında daha yüksektir. Tjeerdsma ve diğ. (1998a), sterilize olmamış toprak testlerinde yumuşak çürüklüğe termal olarak muamele edilmiş odunun direnci artmıştır. Çürüme direnci termal olarak muameleyle artmasına rağmen, tamamıyla saldırılardan korumak olası değildir. Çürüme direncinde iyi bir performans gösteren muameleler ciddi direnç kayıpları gösterir (Welzbacher ve Rapp, 2004).

1.1.4. Isıl İşlemin Kimyasal Özellikler Üzerine Etkisi

Odunun kimyasal analizleri değişik sıcaklıklarda uygulanan ısıl işlem sonunda 48 saat ısıl işlem süresi ve 100⁰C sıcaklığa kadar odun bileşenlerinin nispeten iyi bir kararlılık sergilediklerini göstermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda polisakkaritlerin (holoselüloz) miktarlarında çok daha fazla azalma meydana gelmekte, hemiselülozlar net olarak selülozdan daha hassas bir reaksiyon göstermektedir (Fengel ve Wegener, 1989).

İğne yapraklı ağaçların alfa-selüloz miktarı nispeten daha yüksek miktarda hemiselüloz ve kalıntı lignin içermektedir. İğne yapraklı ağaçlarda 150⁰C'ye kadar bile var olabilen saf selüloz miktarının geride kalabilmesi için 100⁰C'de başlayan alfa-selüloz miktarındaki azalma, kendisine bağlı bileşiklerin kaybolması ile azaltılabilmektedir. Lignin miktarı geniş bir sıcaklık aralığında sabit kalmakta, 140-150⁰C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise artmaktadır (Fengel, 1967; Yıldız ve ark., 2005).

1.1.4.1 Hemiselülozlar

Hemiselülozların en çok yıkımlandığı termal bozunma sıcaklıkları 200-260⁰C arasındadır. Selüloz ile karşılaştırıldığında, hemiselülozun düşük olan termal kararlılığı;

genellikle kristal yapılarının olmayışı ile açıklanmaktadır. Ayrıca hemiselülozların pirolizi sırasında selüloza göre daha fazla gaz ürünleri ve daha az kömürleşmiş kalıntılar meydana gelmektedir. Ksilan (pentozan) en reaktif odun hemiselülozu olup genellikle degradasyon ve dehidrasyon reaksiyonlarına karşı son derece hassastır. Ksilan ve arabinogalaktanın çoğu termal reaksiyonları egzotermiktir. Yapraklı ağaçlarda ksilan, selülozdan sonra buharlaşan degradasyon ürünlerinin en önemli kaynağıdır. Reaktifliğinden dolayı piroliz reaksiyonlarının başlamasında ve meydana gelmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Buharlaşan ürünler esas olarak furfural ve asetaldehidtir. Reaksiyon ürünlerinin kompozisyonu büyük oranda uygulanan ısı işlem şartlarına bağlıdır (Yıldız, 2002).

Hava atmosferi altında ksilanın termal bozunması iki egzotermik (215-271⁰C) bir endotermik (234⁰C) reaksiyondan meydana gelmektedir. Isıl işlem nitrojen atmosferi altında yapıldığında ilk egzotermik pik 215⁰C sıcaklıkta gözden kaybolmaktadır. Bundan çıkarılacak sonuç; oksidasyonun piroliz safhasının başında meydana geldiğidir. Ksilan vakum altında ısıl işleme tabi tutulduğunda ise yaklaşık 210⁰C'de başlayan ve maksimum 240⁰C'ye ulaşan çok güçlü bir endotermik reaksiyon meydana gelmektedir (Yıldız, 2002).

Yapraklı ağaç ksilanının dekompozisyonu normal atmosferde, 200⁰C civarında başlamaktadır. Glikozidik bağlar, bazı piranoz halkalarının karbon-karbon bağlarında da görüldüğü üzere kopmaktadırlar. 225⁰C'de yapılan işlemler moleküler yapının tamamen yok olmasına neden olmaktadır. 275-290⁰C arasındaki sıcaklıklarda moleküler parçalar furfural formunda dehidrolize olmaktadır. 220⁰C'nin üzerinde anhidrit bileşenlerinin oluşması ile vakum altında hızlı bir dekompozisyon meydana gelmektedir (Yıldız, 2002).

1.1.4.2 Selüloz

Odunun termal muamelesinden sonra hemiselüloz miktarındaki azalışın sebebi, selüloz zincirinde meydana gelen azalmadır. Bu sonuç ifade etmektedir ki, selülozun termal degradesyonundaki ilk adım alkalide çözülebilir ürünler meydana getiren makro moleküllerdeki kopmadır. Fakat aynı zamanda kalıntı selülozun polimerizasyon derecesi azalmaktadır.

Selülozun kristal yapısı bulunduğu şartlara bağlı olarak 200⁰C'ye kadar yükselebilen belli sıcaklıklarda değişmemekte hatta iyileşmektedir. Selülozun yapısı zincir şeklindeki moleküler yapının kopmasıyla sınırlı değildir. İlâveten dehidrasyon ve oksidasyon reaksiyonları da vardır. Zincir moleküllerinin kopması ve dehidrasyon başlangıç reaksiyonu olup buna karşın oksidasyon bunları izleyen birinci reaksiyondur. Hidroksil gruplarının oksidasyonuna neden olan hava ortamındaki ısı işlem karbonil ve ardından karboksil gruplarının artışına yol açmaktadır. Her iki reaksiyonun oranı esas olarak sıcaklığa bağlıdır. Sararma eğilimi ve aldehit gruplarının miktarı arasında bir korelasyon bulunmuştur. Sıcaklığın 200⁰C'nin üzerine çıkmasıyla selülozun termal bozunması ve buharlaşan ürünlerin formasyonu hızlı bir şekilde meydana gelmektedir. Yaklaşık 300⁰C'de transglükosilasyon aşaması ile polisakkaritlerin depolimerizasyonu sonucu, bir levoglukozan karışımı diğer bazı monosakkarit türevleri ve oligosakkaritlere rastgele bağlanmış farklı bir karışım meydana gelmektedir. Bu karışım genellikle katran fraksiyonu yerine geçmektedir. Daha yüksek herhangi bir sıcaklıkta, şeker ünitelerinin parçalanması asetaldehit, glioksal ve akrolein gibi hızlıca buharlaşabilen karbonil bileşenleri çeşitlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Serbest radikal mekanizmalar vasıtasıyla doymamış ürünlerin kondenzasyonu ve kenar zincirlerinin kopması geriye serbest radikalleri

tutmaya devam eden oldukça reaktif karbonik bileşikler bırakmaktadır (Yıldız ve ark., 2006).

1.1.4.3 Lignin

Lignin, odunun pirolizi sırasında meydana gelen egzotermik reaksiyonlardan birinci derecede sorumlu tutulmaktadır. Ligninin pirolizi sırasında 450⁰C sıcaklıkta 80 den fazla piroliz ürünü tanımlanmıştır. Bunlar esas olarak benzen, toluen, stiren, vanilin, anisol, siringil, alkol gibi birçoğu düşük molekül ağırlığına sahip aromatik bileşiklerden türemiştir. Lignin, termal olarak odun bileşenlerinin en kararlısı olarak görülmesine rağmen 200⁰C'nin altındaki sıcaklıklarda bile yapısında birtakım değişiklikler söz konusu olmaktadır (Yıldız, 2002).

β -aril eter bağlarının 200⁰C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kopmaya başlamasıyla lignindeki kütle kaybı da başlamaktadır. Kütle kaybı sıcaklığın yükselmesine paralel olarak artmaktadır. Ligninin termal davranışı büyük oranda monomer yapısındaki fenolik ürünlerin miktarından etkilenen kondenzasyon derecesine bağlıdır. Lignin kondenzasyonu arttığı zaman eter bağlarının sayısı azalmakta, karbon-karbon bağlarının sayısı artmaktadır (Kotilainen, 2000).

Termal bozunmanın ölçütü olarak kabul edilen lif genişliğinin şekli ve miktarı ısı işlem sonunda değişmektedir. 155⁰C'ye kadar ligninde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. 175⁰C'den itibaren 240⁰C'ye kadarki ısı işlem sıcaklıkları ile artan bir lignin kondenzasyonu ortaya çıkmıştır. 260-280⁰C'de hidrofilik kapasitenin azalmasına yol açan lignin moleküllerindeki diğer değişikliklerle lignin kondenzasyonuna eşlik edilmiştir. Ligninin yumuşama sıcaklığı kimyasal yapıda meydana gelen değişimleri belirleyen izolasyon türüne bağlıdır.

Yumuşama sıcaklığını etkileyen daha önemli kriterler numunenin moleküler yapısı ve içerdiği su miktarıdır (Yıldız, 2002).

1.1.4.4 Karbonlaşma ve Gazlaşma

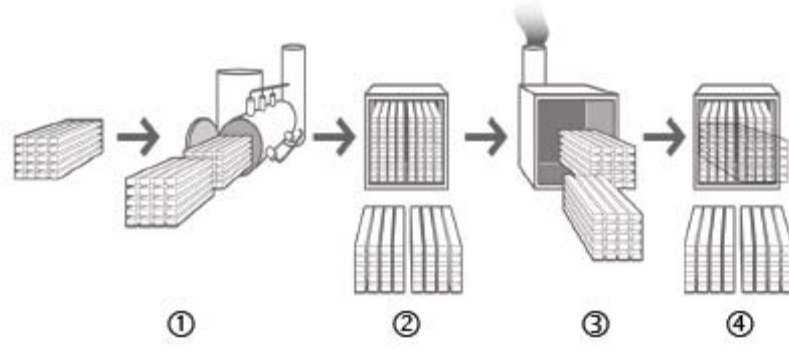
Temel analizlerden bilindiği gibi odun termal bozunmasındaki temel reaksiyon egzotermal karakterlidir ve 270-280⁰C'de başlamaktadır. 380⁰C'ye kadar esas olarak asetik asit ve metanol; daha sonra artan miktarlarda katran ve gaz ürünleri gibi çok miktarda damıtma ürünleri meydana gelmektedir. Geriye kalan atık odun kömürüdür. Uçuşu bileşenlerin ayrışması ham ürünleri ortaya çıkaran damıtma ile olmaktadır. Böylece odun alkol fraksiyonu %45 metanol, %7 aseton, %5 metil asetat, %3 aset aldehit ve daha düşük miktarlarda alkol, metil formiat, furan ve furfural türevleri ile sudan ibaret olmaktadır. Odun sirke fraksiyonu ise asetik asite ilaveten propiyonik, bütirik ve diğer asitleri içermektedir. Kresol, guayikol, diğer fenoller ve fenol eterleri katran fraksiyonunun temel bileşenleridir. Odunun termal bozunması sırasında şekillenen fenolik ürünler neredeyse tamamen lignin ve diğer aromatik bileşiklerden oluşmaktadır (Yıldız, 2002).

Yoğunlaşmayan gazların analizi temel gazların hidrojen, metan, karbon monoksit ve karbondioksit olduğunu göstermiştir. C₂, C₃ ve C₄ hidrokarbonları nisbeten daha az miktarlarda meydana gelmektedir. Piroliz sıcaklığının artmasıyla karbondioksit ve karbonmonoksit miktarında önemli oranda azalma kaydedilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda metan miktarında bir artış görülmüştür. Artan sıcaklıklarda hidrojen miktarında büyük bir artış gözlemlenmektedir. Bu gazın miktarı suyun varlığından da ayrıca etkilenmektedir (Yıldız, 2002).

1.2 Isıl İşlem Metotları

Ahşabın ısıtılma tabii tutulması ile ilgili bu güne kadar yapılan çalışmalar neticesinde Avrupa pazarında kabul görmüş ısıtılma işlem metotları keşfedilmiştir. Bunlar Hollanda'da kullanılan PlatoWood, Almanya'da kullanılan Oil-Heat Treatment, Fransa'da kullanılan Retification ve Finlandiya'da kullanılan ThermoWood metotlarıdır. Bu dört modifikasyon işlemi masif ahşabın düşük oksijen içeriğine sahip atmosferde 200°C'nin altında ve üstünde farklı sürelerde ısıtılma tabii tutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ısıtılma işlem metotları, insan sağlığına ve çevreye zararlı olan kimyasalların kullanımına gerek kalmadan ahşabın boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığını arttırmaktadır (Korkut ve Bakangil, 2007).

Plato Wood: Ruyter (1989) tarafından patenti alınan Plato metodu prensip olarak ara bir kurutma işlem basamağı ile birlikte iki safhadan oluşmaktadır. Hidrotermoliz olarak da adlandırılan metodun ilk safhasında yaş halde veya hava kurusu haldeki ahşap kuvvetli bir atmosferik basınç altında 160-190°C sıcaklıklarda 4-5 saat ısıtılma tabii tutulmaktadır. Isıtılma tabii tutulan ahşabı %8-10 rutubete kadar kurutmada konvansiyonel kurutma metodu uygulanır ve bu işlem 3-5 gün sürer. Kurutma işlemi özellikle 2. safhada oluşabilecek iç çatlakları önlemek için gereklidir. İkinci safhada 170-190°C sıcaklıklarda kurutma şartlarında tekrar ısıtılma işlemi uygulanır. Bu safha 14-16 saat sürer. Daha sonra 2-3 gün süren denkleştirme safhası uygulanmaktadır. 2. Safha sonunda %1 civarında olan ahşabın rutubeti bu denkleştirme safhasında kullanım yeri için gerekli olan %4-6 rutubet içeriğine getirilir (Boonstra ve diğ., 1998; Ruyter, 1989).



1. Hydro-thermolysis (cooking) 4-5 saat
2. Kurutma 3-5 gün
3. Isıtma (Curing-baking) 14-16 saat
4. Denkleştirme (Conditioning) 2-3 gün

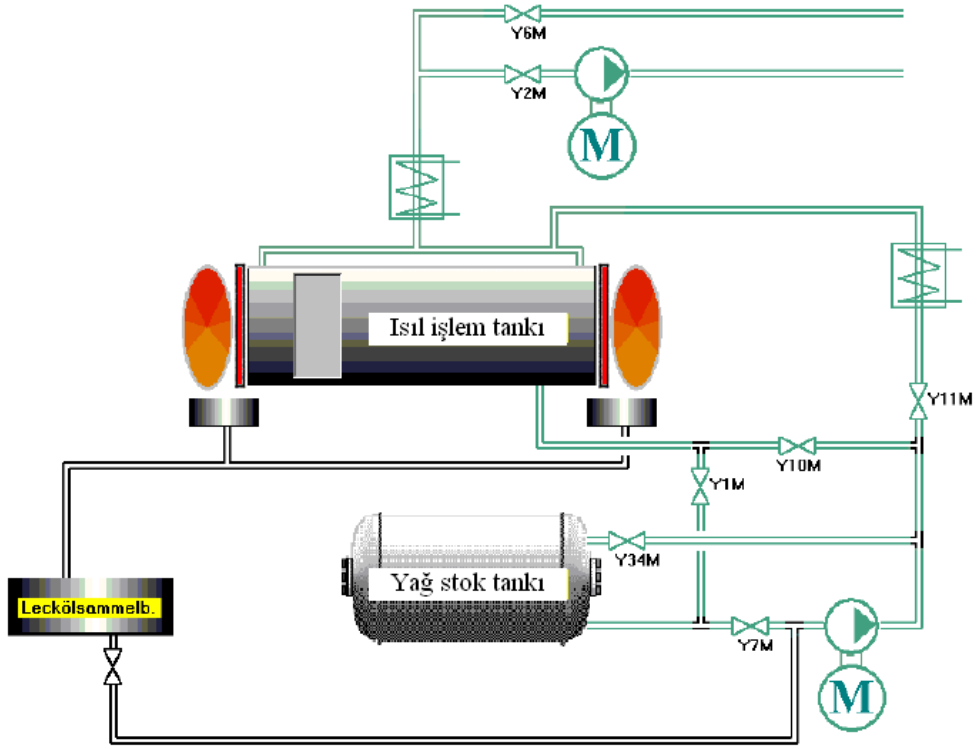
Şekil 1. Plato Wood Metodu İşlem Basamakları (Militz ve Tjeerdsma 2001).

Isıl işlem süresi kullanılan ağaç türüne, ahşabın kalınlığına, ahşabın formuna ve görünüş özelliklerine bağlıdır.

Bu metot Hollanda'da geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. 2000 yılında 50 000m³'lük ısıtma işlem fırını yapılmıştır. Isıtmada buhar veya sıcak hava kullanılabilir. 1 m³ Platowood'un üretim maliyeti yaklaşık 100 Euro civarındadır. Bu maliyet; taşıma, enerji, su ve fabrikanın amortisman giderlerini içermekte olup ahşap maliyetini içermemektedir. Ürünün satış maliyeti kullanılan türe ve ürünün nihai özelliklerine bağlıdır. Yıllık 75000m³ üretim kapasiteli bir fabrikanın satın alma maliyeti yaklaşık 10-15 milyon Euro olup bunu altyapı, destek ve buhar ile enerji gibi inşaat alanı faaliyet maliyetleri büyük oranda etkilemektedir. 1 m³ Platowood'un işletme maliyetleri 20 Euro olup su, enerji ve atık su arıtma giderlerini içermektedir.

Oil Heat Treatment: Isıl işlem 180-260°C'de inert gaz atmosferinde uygulanır. Birçok doğal yağ ve reçinenin kaynama noktası ahşabın ısıtma işlemine tabi

tutulması için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksektir. Bu durum sıcak yağ banyosunda ahşabın ısıtma işlemi tabii tutulmasına olanak sağlamaktadır. Bu metotta ısıtma işlemi 3 safhada gerçekleştirilmektedir. Birinci safha ısıtma ve kurutma safhası olup sıcaklık 60°C'den 160-200°C'ye kadar çıkmaktadır. İkinci safhada ahşabın kalınlığının orta noktası maksimum sıcaklığa ulaştığında asıl ısıtma işlemi başlatılmaktadır. Üçüncü safhada ise soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Isıtma işlemi kapalı bir tankta gerçekleştirilmektedir. Ahşap bu tanka yerleştirildikten sonra stok tankından ısıtma işlemi tankına sıcak yağ pompalanmakta ki bu yağ ahşabın etrafında yüksek sıcaklık sirkülasyonu sağlamaktadır. Isıtma işlemi uygulandıktan sonra ahşabı ısıtma işlemi tankından çıkarılmadan önce sıcak yağ stok tankına geri gönderilmektedir. Bu metotta malzeme kalitesine göre farklı sıcaklıklar uygulanmaktadır. Isıtma işleminde maksimum dayanıklılık ve minimum yağ tüketimi isteniyorsa ısıtma sıcaklığı 220°C, maksimum dayanıklılık ve maksimum direnç değerleri isteniyorsa 180-200°C olmalıdır. 220°C'de ısıtma işlemi uygulamasında ahşabın kalınlığının orta noktası bu sıcaklığa ulaştığında ısıtma ve soğutma zamanları hariç 2-4 saatlik ısıtma işlemi süresi uygulanmaktadır. Toplam ısıtma işlemi süresi 17-19 saat kadardır. Isıtma ham bitkisel yağ (şalgam tohumu, keten tohumu ve ayçiçeği yağı) kullanılmaktadır (Leithoff ve Peek, 1998).



Şekil 2. Yağlı Isıl İşlem Metodunun Temel Tasarım Planı (Rapp ve Sailer, 2000).

8500m³ kapasiteli bir fırın 450000 €'ya mal olmaktadır. Fırınların amortisman payı 5.2 €/m³ olup 10 yıllık bir kullanım ömrü bulunmaktadır. Ladin için işletme maliyeti 60-90 €/m³'tür. Şayet ısıl işlem uygulanmamış ladin kerestesinin maliyeti 200€/m³ olduğu kabul edilirse ısıl işlem uygulanmış kerestenin maliyeti 265-295 €/m³ olmaktadır.

Almanya'da Ağustos 2000 itibariyle 2900m³'lük bir fırın var iken bu fırının kapasitesi günümüzde 8500 m³'e ulaşmıştır.

Retification (Retified Wood): Ecole des Mines de Saint-Etienne tarafından geliştirilen ve New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan bir metottur. Ahşap önce % 12 rutubete kadar kurutulmakta daha sonra % 2'den daha az oksijenin bulunduğu inert nitrojen gazı içeren atmosfer şartlarında ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Isıl işlem sıcaklığı 210-240°C'dir (Vernois, 2001).

Le Bois Perdure: BCI-MBS şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu metotta taze haldeki keresteler ısıtılma tabii tutulabilmektedir. Öncelikli olarak ahşap kurutulmakta daha sonra doymuş su buharı atmosferi altında 230°C’de asıl ısıtılma safhası gerçekleştirilmektedir (Vernois, 2001).

Retification ve Le Bois Perdure metodunun ikinde de ısıtılma sıcaklığı 230-240°C arasında olursa ahşabın dayanıklılığı artmakta fakat direnç özellikleri azalmaktadır. Retification metodu işletme maliyeti 150-160 Euro/m³ ve Le Bois Perdure metodunun işletme maliyeti 100 Euro/m³’tür. Yıllık kapasitesi 3500 m³ olan 8m³/şarj kapasitesinde ısıtılma fırını Retification metodu için 750000 Euro ve Le Bois Perdure metodu için 500000 Euro yatırım maliyetine mal olmaktadır. Retification metodu elektrik enerjisi kullanırken Le Bois Perdure metodu gas enerjisi kullanmaktadır. Bu her iki metot Fransa’da yaygın olarak kullanılmaktadır (Vernois, 2001).

ThermoWood: Finlandiya’da Teknik Araştırma Merkezi (The Technical Research Centre of Finland=Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT)) tarafından geliştirilmiş bir metot olup Finlandiya ThermoWood Derneği üyeleri tarafından lisanslı olarak kullanılmaktadır (Anonymous, 2003).

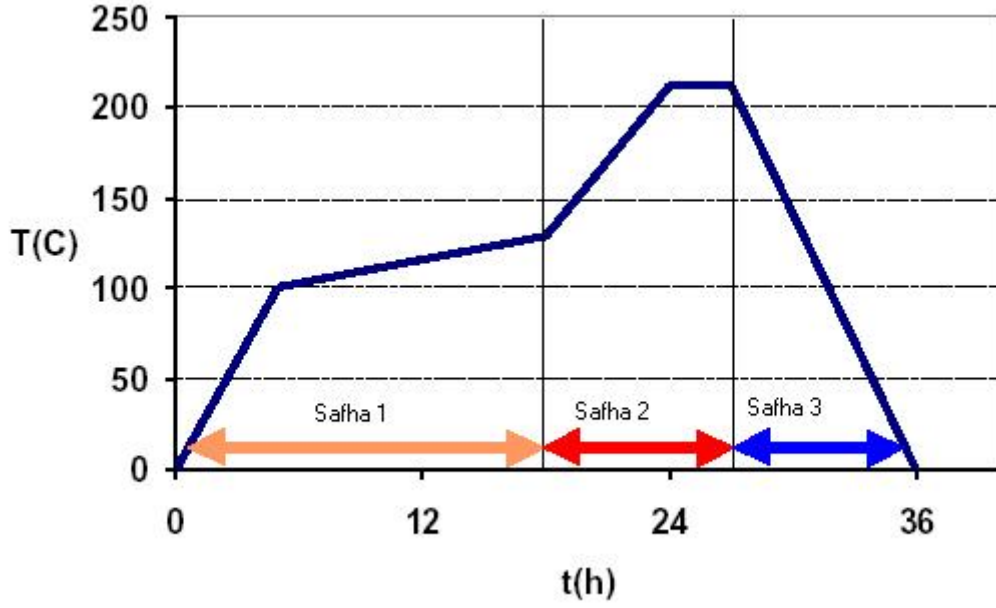
Bu metodun safhaları şu şekildedir:

1.Safha- Isıtılma uygulamada en fazla zaman gerektiren safha: 1. safha yüksek sıcaklıkta kurutma safhası olarak da adlandırılır. Bu safha (ısıtılma safhası başlamadan önceki safha) boyunca odunun rutubet içeriği % 0’a doğru azalır. Kurutma safhasının süresi odun türü, kereste kalınlığı ve odunun rutubet içeriğine bağlıdır. Hammadde taze veya kurutulmuş odun olabilir. Başarılı bir kurutma iç

çatlaklardan kaçınmak için önemlidir. Odun yüksek sıcaklıklarda elastik özellik kazanması sonucu geleneksel fırında kurutma yöntemine nazaran daha iyi deformasyon mukavemeti gösterir (Anonymous, 2003).

2. Safha- Isıl İşlem Safhası: Isıl işlem uygulaması işlem düzeyine bağlı olarak kapalı bir odada sıcaklığın 185-215°C'ye artırılması ile uygulanır. Hedeflenen sıcaklığa ulaşıldığında sıcaklık, ısıtma uygulama amacına bağlı olarak 2-3 saatlik bir süre sabit tutulur. Isıl işlem safhası yüksek sıcaklıkta kurutma safhasından sonra derhal başlatılır. Isıl işlem boyunca odunda vuku bulan kimyasal değişmelerin etkilerini ve odunun yanmasını önlemek amacıyla koruyucu gaz kullanılır (Anonymous, 2003).

3. Safha- Soğutma ve Denkleştirme: Isıl işlemden sonra odunu kontrollü olarak soğutmak için kondisyonlama (denkleştirme) periyodu uygulanır. Çatlaklara sebep olan odun ve dış hava arasındaki yüksek sıcaklık farklılıkları bu safhada minimize edilir. İlâveten odunun rutubet içeriğini son kullanım yeri için gerekli olan rutubet düzeyine getirmek için tekrar nemlendirme işlemi gerçekleştirilir. Odunun nihai nem seviyesi onun çalışma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin kuru odunun işlenmesi zordur. Kondisyonlamadan sonra odunun nem içeriği %5-7 olmalıdır. İşlem sıcaklığı ve keresteye bağlı olan kondisyonlama safhası 5-15 saat sürer (Anonymous, 2003).



Şekil 3. ThermoWood Metodunun Isıl İşlem Safhaları (Anonymous, 2003).

Isıl İşlem Ekipmanları: Isıl işlemde su buharı ve yüksek sıcaklıklar kullanılır. Isıl işlem şartları, odundaki uçucu bileşik yapılarını harekete geçirerek korozyona sebep olduğundan ısıl işlem ekipmanları boyasız çelikten yapılır. İlâveten yüksek sıcaklık; havalandırma tertibatı ve radyatör çözümleri ile güvenlik araçları gerektirir. Isıl işlem uygulamalarında bioyakıt, fueloil veya gaz kullanarak yakılan sıcak yağ ısıtma sistemleri ve direkt elektrikli ısıtma sistemi kullanılır. Bunlara ilâveten ısıl işlem için gerekli olan buharı üretmek için özel bir buhar üretim sistemi gereklidir. Isıl işlem süresince odundan gazın buharlaşması fırınlama metodu ile gerçekleştirilir. Fırınlama metodunun öncelikli amacı odundan buharlaşan bileşiklerin sebep olduğu çevre zararlarını minimuma indirmektir. Sistemde elektrik ekipmanı olarak sıradan kereste kurutmada kullanılan ekipmanlar kullanılır. Fırının içerisindeki havanın rutubet içeriğini ve ısıyı saptayan elektrotlara, ayrıca fırının otomatik kontrolü için bir bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır (Anonymous, 2003).

Finlandiya’da ThermoWood 2 kalite sınıfına ayrılmaktadır. EN 113’e göre sınıflandırılan Thermo-S kalitesi görünüş ve stabilite ön plana çıkarmaktadır. Bu kalite sınıfında ısıtma işlem görmüş ahşabın rutubeti %8’dir. Thermo-D kalite sınıfında görünüşle birlikte biyolojik dayanıklılık önemli olup ahşabın rutubeti %5-6’dır. Genel olarak ağaç türü ve kalite sınıfına göre asıl ısıtma süreleri aşağıdaki gibidir (Anonymous, 2003).

Kalite Sınıfı		Yapraklı Ağaçlar	İğne Yapraklı Ağaçlar
Thermo-S	Sıcaklık - °C	185±3	190±3
	Zaman - saat	2-3	2-3
Thermo-D	Sıcaklık - °C	200±3	212±3
	Zaman - saat	2-3	2-3

1.3 Literatür Özeti

Rowell ve Konkol (1987), yüksek sıcaklık ile bir vakum ortamında ısıtılan odunda, suda çözünmeyen polimerlerin oluşumunu sağlayan hemiselülozların parçalanması ve lignin kayıpları oluşur.. Bu muamele ile odunun kararlılığı artmasına rağmen direnç düşer. Isıtma işlem, boyutsal stabilizasyonu ısıtma zamanı ve ısıtma sıcaklıkları artarken yükselmiştir. Şişme ve daralma %40 düştüğünde yüzey kabalığının muamele edilmemiş odunun yarısından daha az olduğu ve arabinozun direnci düşürdüğü bulunmuştur. Muamele görmüş odunun higroskopluğuna ciddi oranlarda düşmüş ve çürümeye olan direnci artmıştır.

Feist ve Sell (1987), ladin ve kayın örneklerine 175⁰C ve 195⁰C sıcaklıklar arasında ısıtıl işlem uygulanmış ve örnekler doğal ve yapay dış ortam koşullarına tabi tutulmuştur. Örnekler ısıtıl işlemden sonra kontrol örneğiyle karşılaştırıldığında dış ortam performansının daha iyi olduğu ve boyutsal stabilizasyonunun daha yüksek olduğu ve önemli derecede düşük bir higroskopik özellik kazandığı belirlenmiştir. Bunun yanında ladin örneklerinin higroskopluğu ısıtıl işlemden sonra önemli derecede düşmesine rağmen, dış ortam performansının belli bir süre sonra kötüleştiği görülmüştür.

Sehlstedt - Persson (1995), Odunun özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisini araştırmak için Sarıçamdan yapılmış levhalar iki yüksek sıcaklık programında ve düşük sıcaklıkta 33 farklı kombinasyonda kurutulmuştur. Sonuçta su alma testleri, makaslama direnci ve bağıl nem dengesinin önemli oranlar da düştüğu ve bu düşüşte muamele sıcaklıklarının önemli olduğu belirlenmiştir. Su alma ve verme oranları yüksek sıcaklıklarda, düşük sıcaklıklarda yapılan muamelelere göre rutubet içeriği değerinde %3–4 oranın da daha az olduğu ve histerezin yüksek sıcaklıkta kurutulan örneklere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Karbonhidrat analizleri yüksek sıcaklıklarda hemiselülozlarda meydana gelen parçalanmadan dolayı daha düşük su alma özelliği göstermiştir.

Winandy (1996), Isıtıl işlem süresince odun türünde meydana gelen direnç özelliklerindeki düşüşün ısıtıl işlem görmüş olan ahşap materyalin; ahşap yapılarda, yük kaldırma özelliği olan yapılarda ve direnç özelliği istenen uygulama yerlerinde kullanılmasını sınırlamaktadır. Fakat uygun ısıtıl işlem metotları kullanılarak odunun direncindeki kayıplar en iyi şekilde engellenebilirse bazı kullanım yerleri olabilmektedir.

Hunter ve Sutherland (1997), odunun kuruma performansı tahmin edilirken, ısınma ve kütle transferi katsayıları hesaplanması gereken parametrelerdir. Lewis yaklaşımı gibi bilinen yöntemler, atmosferik basınçla karşılaştırılan buhar basıncından elde edilmiştir. Çalışmada odunun yüksek sıcaklıkta kurutulabilmesi, odunun kullanılabilirliği için fizikometrik dengenin sağlanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Buhar basıncının atmosferik basınçla karşılaştırıldığında çok da küçük olmadığı görülmüştür. P (atmosferik basınç) ve P_o (Serbest Buhar Basıncı) ise $P-P_o$ faktörü göz önünde tutulması gerektiği belirlenmiştir. Kütle kaybı ve ısınma katsayıları sınırsız oranda arttığından dolayı yüksek sıcaklıkta ve rutubette bu faktörlerin önemli olduğu belirlenmiştir.

Tjeerdsma ve diğ. (1998)'de boyutsal stabilize ve kereste performansı arasındaki ilişkiyi bulmak için yumuşak termal muamelelerle araştırılmıştır. Karbonhidratların çatlamasıyla oluşan katalizle hemiselülozdan ayrılan asetik asit formasyonu olması karbonhidratların polimerizasyon derecesinin düşmesine neden olduğunu belirlemiştir. Asit katalizi ile degradasyon sonucu, lignin çatlamalarıyla formaldehit, furfural ve diğer aldehit formasyonlarının oluştuğu ve ilk reaksiyon basamağındaki tüm oluşumların lignin ünitelerinin C%'den, bazı aldehit ürünlerinin oluşmasına sebep olduğu bildirilmiştir. Bazı lignin ünitelerinin aromatik halkalarında serbest reaktif alanların sayısındaki artış, bu fazda daha önceden gerçekleşir. Fakat bir sonraki basamağa kadar sürer ligninin oto kondenzasyonunun 2. muamele basamağı aromatik halkalarla birleşen metilen köprülerin formasyonunun oluştuğu ifade edilmiştir. Aromatik nükleik alanlar demetaksilasyonla serbest kalır ve çatlamayla pozitif yüklü benzilik karbon oluşur. Aldehit gruplarının bazı reaksiyonları metilen köprülerinde aromatik zincirle birleştiğinde ligninde aromatik nükleik alanlar ilk basamak sonunda meydana gelirler. Boyutsal stabilitedeki gelişim

ve odun higroskopisitesinin azalmasıyla çapraz bağlanmada artış olduğu görülmüştür.

Bhuiyan ve diğ. (2000)'de odunun yüksek sıcaklıklarda fırın kurusu ve nem içerikli şartlar altında selüloz kristallerinin değişimini x-ray yardımıyla incelemiştir. Sonuçta odun selüloz kristalliğinin arttığı ve kristalleşmenin çoğunun yüksek nemli şartlarda kuru fırın şartlara göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Saf selülozda, her iki şartta da aynı oranda kristalizasyon görülmüştür. Buna karşın kristalizasyonun artışı odun selülozunda, saf selülozdan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre odun selülozunun yanında diğer odun bileşenlerinin de muamele süresince kristalliklerinde artış gözlenmiştir. Odun selülozunda, saf selülozdan daha fazla yarı kristalin bölgeler saptanmıştır.

Jaémsaé ve diğ. (2000), çam ve ladin odunundan yapılan levhalar buhar altında 6 saat süreyle 225⁰C muamele edilerek odunun dayanıklılığını ve boyutsal kararlılığı incelenmiştir. Bu paneller daha sonra dış ortamlarda yaygın kullanılan yüzey koruyucularla kaplanmış ve 5 yıl boyunca dış ortama maruz bırakılmıştır. Isıl işleme tabi tutulmuş fakat yüzey koruyucuları uygulanmamış panellerin dış ortama gösterdiği direnç düşük bulunmuş ve bu odunların kahverengimsi bir hal aldıkları belirlenmiştir. Çatlama dirençleri bakımından ısıl işlem uygulanmış ahşap materyalle uygulanmamış arasında ciddi bir fark gözlenememiştir. Isıl işlem görmüş odunun dış ortam direnci su ya da solvent bazlı boylarla artırılabilirliği belirlenmiştir.

Kubojima ve diğ. (2000), sitka ladini nitrojen gazında ya da hava ortamında 160⁰C sıcaklıkta 0.5–16 saat arasında muamele edilerek statik young modülü, statik eğilme testinde kopma için gereken çalışma ve şok direnci aynı zamanda şok direnci esnasında emilen enerjiyle hesaplanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Statik young

modülü ısıtıl işlemin başlarında artmasına rağmen, sonlarda düşmektedir. Ayrıca hava ortamında nitrojende olduğundan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Eğilme direnci ısıtıl işlemin ilk basamaklarında yükselmesine rağmen daha sonra düşüş göstermiştir. Isıtıl işlem süresi artarken kopma için gereken çalışma sürekli bir azalma gösterir. Nitrojen ortamında ise havada olduğundan daha düşük seviyededir. Bununda ısıtıl işlem görmüş odunun, ısıtıl işlem uygulanmamış olanına göre statik eğilme de daha gevrek olmasından meydana geldiği düşünülmektedir. Kopma için gerekli çalışmanın azalmasına katkı sağlayan ana faktörün vizkozite ve plastiklik olduğu ve elastikliğin bir katkısının olmadığı görülmüştür. Şok direncinde emilen enerji ısıtıl işlemin ilk basamaklarında artmakta ve sonradan düşmektedir. Bu olay hava ortamında nitrojende olduğundan daha düşüktür. Sonuçta ısıtıl işlem uygulanmış odun şok direncinde daha fazla gevrektir. Çünkü eğilmede emilen enerjinin ısıtıl işlem süresince düşüş gösterdiği belirlenmiştir.

Kamdem ve diğ. (2000), odunun boyutsal stabilizasyonunu (kararlılığını) ve kerestenin performansını geliştirmek için tek basamaklı bir işlemlle hafif derecede termal muamele uygulanan odun, termal muamele esnasında oluşan toksik bileşiklerin varlığını belirlemek için çeşitli organik çözücülerle ekstrakte edilmiş kütle spektroskopisiyle incelenmiştir. Farklı poliaromatik bileşikler kadar, bazı toksik aromatik hidrokarbon türevlerinin çeşitli formlarını belirlemiştir. Bu bileşiklerin varlığı, nispeten daha fazla dayanıklılık sağlayabilir ve ısıtıl işlem uygulanmış odunun mantar ve diğeri biyolojik saldırılara karşı daha dirençli olabileceğine karar verilmiştir. Ayrıca diğeri oluşan ve toksik olmayan bileşiklerde odunun yapısının degradasyonu, özellikle ligninin piroliziyle oluşan ürünler olduğu düşünülmüştür. Isıtıl işlem uygulanmış odunda toksik ve toksik olmayan bileşiklerin oranları ölçülmüş ve az oranda olduğu belirlenmiştir.

Ibach ve diğ. (2000), güney çamı odunu ve güney çamı lifini (2.54 cm * 2.54 cm * 0.64 cm boyutlarda, denge rutubet miktarları %30, %65 ve %90 olan, 27°C de) üç farklı kimyasalla modifiye etmişlerdir: 1) asetik anhidrid, 2) bütülen oksid, 3) propilen oksid. Uygulama sırasında kahverengi çürüklük mantarı *Gloeophyllum trabeum* kullanmışlar ve ağırlık kaybını hesaplamışlardır. Böylece odunun kimyasal modifikasyonu ile oluşan biyolojik etki için iki olası mekanizma tespit etmişlerdir. Birincisi hücre duvarının rutubet miktarının azalması mikroorganizma ataklarının bir seviye azalmasını sağlamıştır. Diğeri, böyle bir uygulama ile spesifik enzimatik reaksiyonlar oluşmamaktadır. Sonuçta, odunda kimyasal modifikasyonla denge rutubet miktarının düşürülebildiği ve biyolojik korumanın arttığı; lifte ise asetik anhidrid ve bütülen oksid ile kimyasal modifikasyonda odun ile benzer bir reaksiyon gösterirken propilen oksid ile bu reaksiyonu gösterdiği; odun lifinin modifikasyonunun denge rutubet miktarını önemli miktarda düşürmediği, aksine odun lifinin en yüksek ağırlık kazanım yüzdesinde olduğu, fakat biyolojik direnci arttırdığı bildirilmiştir.

Vernois (2001), Farklı atmosfer şartlarında odunun boyutsal kararlılığı ve lignoselülozik materyallerin rutubet absorpsiyonunun sınırlarını belirlemek için; odun örneklerine yaklaşık olarak 180°C'den 250°C'ye ısıtma işlemi uygulamıştır. Yüksek sıcaklıkta ısıtma işlemi gerçekleşirken rutubet absorpsiyonunun kinetiği muamelenin uygulanması ve hacmin azalmasıyla modifiye olan ahşap materyalin mekanik özelliklerde de ciddi oranlarda önemli düşüşün gözlemlendiği tespit edilmiştir.

Santos (2000), okaliptüs odunu üzerinde 180°C sıcaklıklarda 3 saat ısıtma işleminin etkisiz sonucu; ısıtma muamelenin, odun direncini ciddi olarak etkilediğini göstermiştir. Muamele edilmiş odunun çekme direnci %26 oranlarında düşmesine

rağmen, eğilmede elastikiyet modülü değerleri normal odunun değerlerinden daha yüksektir. Yapılan gerek liflere paralel gerekse liflere dik eğilme dirençleri arasında ciddi bir yakınlık bulunamamıştır.

Bhuiyan ve diğ. (2001), odun selülozunun kristalliğindeki değişimler kesintili ve kesintisiz artan sıcaklık şartları altında çalışılmış ve kristallikteki değişimlerin kesintili ısıtma işlemiyle güçlü bir şekilde etkilendiği bulunmuştur. Kesintisiz ısıtma yöntemi, kesintili şartlarda olduğu gibi kristallik, kristallerin genişlikleri ve piezoelektrik özelliklerinin aynı olduğu görülmüştür. Fakat kesintili yapılan muamelenin termal reaksiyonları durduran kritik soğuma noktalarına sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Ayrıca kesintili yapılan ısıtma muamelede odun selülozunun maksimum kristalliğe ulaşması için gereken zamanın sürekli yapılan ısıtmaya göre 2 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Leithoff ve Peek (2001) tarafından Avrupa'da yetişen Bambu (*Phyllostachys viridiglaucescens*) ve Asya'da yetişen bambu (*Phyllostachys pubescens*) 200°C sıcaklıklarda ısıtma işlemi uygulanarak mekaniksel özelliklerin değişimi (eğilmede elastikiyet modülü ve şok direnci) ve laboratuvar ortamında mantar testleriyle *Caniophora puteana*, *Coriolus versicolor* ve *Schizophyllum commune* Basidiomycetesle muamele edilerek dirençleri araştırılmış; çürüklük saldırılarına karşı olduğu kadar *Basidiomyceteslere* karşı iyi bir direnç gösterdiği belirlenmiştir ve bu direncin kazanılması için 220°C 2 saat süreyle ısıtma muamelenin yeterli olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada, yumuşak çürüklük kadar *C. Puteana*'ya da yüksek direnç gösterdiği belirlenmiştir. Eğilme ve şok direncinde ciddi düşüşler olmasına rağmen elastikiyet modülünde neredeyse hiçbir düşüşe rastlanmamıştır. Bu düşüşün de muamele sıcaklığı ve muamele zamanına bağlı olduğu tahmin edilmektedir.

Kamdem ve diğ. (2002), ısıtma işlem görmüş odunun, agar block ve modifiye edilmiş blok testi kullanarak çürüme dayanımı ve su absorpsiyonu, eğilme direnci, lignin içeriği ve asit içeriği incelenmiştir. Isıtma işlem görmüş odunun daha fazla lignin içerdiği ve ısıtma işlem görmüş odunda ekstraktif bileşikler ve bazı hemiselülozların parçalandığı ısıtma işlem görmemiş odun ile karşılaştırıldığında daha düşük asitlik seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir. Suyla ıslanma ya da yüksek bağıl neme maruz bırakma boyunca odunun absorbe ettiği suyun, önemli bir miktarının ısıtma muamele görmüş odunda hemiselülozların uzaklaşmasına; ligninin parçalanmasına, ligninin benzer halkalarının ve organik asitlerin çapraz bağlanma reaksiyonlarından daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Odun örneklerinin saf bir kültür mantarıyla muamelesiyle ağırlık kaybının meydana geldiği görülmüştür. Bu ağırlık kayıplarının 12 hafta boyunca yapılan testlerde 6. ya da 8. haftalar arasında görüldü. Testlerde *G.trabumun* %1'lik ağırlık kaybına neden olduğu ve *P. placenia* ise %46 ağırlık kaybı olduğu görülmüştür. Isıtma işlem uygulanmış odun örneklerinde *P. placenia* %49.7 ve %33.9 olduğu tespit edilmiştir. *G. trabeumda* bu ağırlık kaybının %11 ve %14.8 olduğu görülmüştür. Bu da bize ısıtma işlem örneklerinin mantar saldırılarının dirençlerinin orta seviyede olduğunu göstermiş ve dirençteki düşüşlerden dolayı yapılarda kullanımının sınırlı olacağı belirlenmiştir.

Alén ve diğ. (2002), ladin (*Picea abies* L.) odununu buhar atmosferinde 180–225°C sıcaklıklar altında 2–8 saat arasında ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır. Muamele görmüş örneklerin kimyasal analizinde ısıtma süresince karbonhidratların ligninden daha fazla degrade edici reaksiyonlara maruz kaldığını belirlemişlerdir.

Sundqvist (2002), Sarıçam, Doğu Ladini ve huş odununa 65–95°C'de 0 ile 6 saat ısıtma işlem uygulamıştır. Isıtma işlem zamanı, huş diri odununda renk oluşumu nedeniyle sıcaklıktan daha önemlidir, buna karşın sıcaklık ve zaman çam ve ladin

için benzer önemdedir. Huş diri odunu çam ve ladinle karşılaştırıldığında daha kızıl ve daha koyudur. Isıl işlem sıcaklığı 80⁰C'nin üzerinde olduğu zaman koyulaşma genellikle daha fazla olmaktadır. Çam ve ladin odununda genellikle daha koyu renk gösteren öz odunun dışında ısıl işlem görmüş ve görmemişler benzer renk oluşumu gösterirler. 65–80⁰C'de ısıl işlem uygulanmış çam odunu kırmızı-sarı renktedir, süre geçtikçe hem öz hem de diri odun sarı-kırmızımsı renk almaktadır. Renk homojenliği huş diri odununda, çam ve ladine göre daha azdır ve homojenlik, ısıl işlem zamanı arttıkça genellikle düşmektedir.

Militz (2002)'in çalışmasında farklı ısıl işlem prosesleri incelenmiş ve odunun fiziksel, mekaniksel özellikleri, biyolojik olarak performansı, hücre duvarı polimerlerinin kimyasal dönüşümü incelenmiştir. Odunun direnci, odun türü ve muamele şartlarına bağlı olarak kısmen değişmektedir. Şok direnci tüm ısıl işlem muamelelerinde en çok düşüş gösteren özelliktir. Optimum olmayan muamele şartları altında şok direncinin orijinal değerleri yaklaşık olarak % 50 oranında düşebilmektedir. Yapısı değişen odunun higroskopisitesinin düşük seviyede olduğu belirlenmiştir. Higroskopite üzerinde ısıl işleminin güçlü etkisi olduğu ısıl işlem görmüş odunun histerez eğrisinin ısıl işlem görmemiş olanından daha düşük seviyelerde olması bu durumu göstermektedir. Muamele sıcaklığı yüksek olan proseslerde tüm odun örnekleri genellikle kahverengimsi bir renk alırlar. *Thuja plicata*, *Western red cedar*'ın doğal rengiyle karşılaştırıldığında farklı bilim adamlarının bulgularına göre odundaki bu renk değişimi muamele şartlarını ve ısıl işlem sıcaklığına göre değişmektedir. Sıcaklık ne kadar yüksek olur; şartlar ne kadar uzun olursa renk o kadar koyulaşmaktadır. Muameleden sonra genel bir karakteristik olarak odun karamelsi bir kokuya sahip olur ki bu durumun muamele sonrasında oluşan furfuraldan dolayı olduğu tahmin edilmektedir.

Yıldız (2002), araştırmasında ısıtım işlem görmüş Kayın ve Doğu Ladini odunlarını atmosferik şartlarda 2, 6 ve 10 saat 130, 150, 180, 200°C ısıtmıştır. Sonuçta fiziksel özelliklerden, boyutsal stabilizasyonda, ısıtım işleminin memnuniyet verici olduğu bildirilmiştir. Mekanik ve teknolojik özellikler değerlerinin genellikle maruz olduğu şartlar ve sıcaklığın artırılmasıyla bir düşüşe sebebiyet verdiği; kimyasal özelliklerde ise, holoselülozların ısıtım işlem süresince en çok degrade olduğu belirlenmiştir.

Bekhta ve Niemi (2003), kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) odununun mekanik özellikleri, boyutsal stabilizasyonu ve renk değişimi üzerinde yüksek sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Sonuçta; mekanik özelliklerde düşüşün gerçekleştiğini, odunun boyutsal stabilizasyonunun arttığını ve odun renginin koyulaştığını ifade etmişlerdir. Isıtım işlem sıcaklığı 200°C'ye yaklaştıkça renk değişiminin arttığı ve bu renkteki koyulaşmanın 4 saat muameleden sonra daha da yoğunlaştığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta muamele edilmiş ahşap materyalin eğilme direncindeki ortalama düşüşün %5–40 arasında olduğu, elastikiyet modülünde bu değerlerin %4–9 oranlarında olduğu belirlenmiştir. Isıtım zamanı ve sıcaklığının, renk değişimi üzerinde nispi nemden daha önemli olduğu bulunmuş ve toplamda renk değişimi, elastikiyet modülü ve eğilme direnci arasında güçlü bir bağ olduğu belirlenmiştir.

Petrissans ve diğ. (2003)'te ısıtım işlem görmüş odunun su alım verisi ve kimyasal kompozisyonu üzerine bir çalışma yapmışlar, ısıtım işlemi 240°C de durgun atmosfer koşullarında 4 Avrupa ağaç türünde (çam, ladin, kayın ve kavak) uygulamışlardır. 4 ağaç türü için iki farklı örnekte 5 temas açısı ölçümlenmiş, buna göre odunun su alım verisi temas açısının geliştirilmesiyle karakterize edilmiştir. Temas açısı sıcaklık artışından sonra daima artmıştır. Bu değişiklik kayın odunu için

düşük (16.2°), ladin (44.7°), çam (62.4°) ve kavak (85.8°) için daha fazla olmuştur. Isıl işlem görmüş odunun su alışı verişi 4 ağaç türünde de azalma göstermiştir. Ancak bu durum kayın odununda diğer türlere kıyasla önemli ölçüde düşük kalmıştır. Bu sonuç özellikle endüstriyel uygulamalarda çok önemlidir. Isıl işlemden sonra oluşan kimyasal modifikasyonlar Fourier Transform Infrared ve Carbon Nuclear Magnetic Resonance (13C-NMR) analizleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu analizlerde su alışı verisindeki değişimlere nazaran yapısal ve kimyasal olarak daha zayıf değişiklikler saptanmıştır. Isıl işlem sonrası en önemli değişiklik selüloz kristali derecesinde belirlenmiştir. Selüloz kristali derecesi ısıl işlem görmüş odunda önemli ölçüde artmıştır, buda daha yüksek temas açılarının açıklanabilmesini sağlamıştır.

Ayadi ve diğ. (2003) ısıl işlem uygulanmış odun örneklerinin renk kararlılığını nitrojen ortamında 2 saat süreyle 240°C'da sıcaklıkta ısıl işlem uygulayarak saptamışlardır. Ladin, maritima çamı ve kavak öz odunu ısıl muameleden sonra 835 saat boyunca UV ışınlarına (UVA-340 floresan lambalı QUV ekipmanı) maruz bırakılmıştır. Sonuçlar ısıl işlem görmüş odunun, ısıl işlem uygulanmamış oduna göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Isıl işlem süresince, lignindeki fenol monomerinde değişimlerden dolayı, serbest radikal ve oksijenin sebebiyet verdiği degradasyonun sınırlı seviyelerde olduğu belirlenmiştir. Bu yüzden ısıl işlem görmüş odunun açık hava şartlarında normal odundan daha iyi direnç gösterdiği ifade edilmiştir.

Chow ve Pickels (2003), bazı odun türlerinin termal olarak yumuşatılması ve degradasyonu dakikada 16°C artış gösteren termogravimetrik analizler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Odunda 320°C'de başlayan yumuşama, kabukta 280°C'de başlayarak 380°C gibi sıcaklıklarda maksimum oranlara ulaşmaktadır. Nem oranı arttıkça yumuşama sıcaklığının düştüğü görülmüştür. Her materyalin nem içeriği

%10 daha yüksek olduğunda 160⁰C sıcaklıklarda başlayan yumuşama oranları 280⁰C, 320⁰C ve 380⁰C maksimum olmaktadır. Odun ve kabuğun 160⁰C deki yumuşamanın başlamaması %30'luk sınırlarda artan nem oranı ile yükseldiği görülmüştür. 200⁰C'nin altında su varlığında odun ve kabuğun yumuşaması bir plastikleştirici gibi hizmet veren su varlığında sadece amorf bölgelerde olduğu belirlenmiştir.

Green ve diğ. (2003) tarafından 66⁰C ile %75 bağıl nem ve 82⁰C ile %30 bağıl neme maruz bırakılan kompozit kereste, masif kereste lamine edilmiş kaplama kereste (LVL) ve lamine edilerek yönlendirilmiş kereste esneme özellikleri üzerinde ısıl muamelenin kalıcı etkileri araştırılmıştır. 3 yıl süreyle 66⁰C ve 75% bağıl neme maruzundan sonra masif-ladin-çam-göknaar ve Duglas göknaarının orijinal kopma modüllerinin %72 ve kuzey çamında %47 bulunmuştur. 2 veya 3 yıllık maruzdan sonra, tutkallanmış lamine kereste kopma modülü değişimleri, masif-ladin-çam-göknaar ve Duglas göknaarına benzer şekilde değişim göstermiştir. 6 yıllık maruzdan sonra masif-ladin-çam-göknaar orijinal eğilme direnci %67 oranlarına düşmüş ve tutkallanmış lamine kereste %26 ile %49 arasında belirlenmiştir. Lamine kereste'nin kopma modülünün 28 aylık maruzdan sonra, masif kereste ve tutkallanmış lamine kereste'den daha hassas olduğu belirlenmiştir. 21 aydan sonra 82⁰C ve 30% bağıl nem, masif kerestenin kopma modülü %50 ile %55 arasındadır. Tutkallanmış lamine kereste %41, ve lamine kereste %45 civarındadır. Sonuçta tüm örneklerin elastikiyetleri termal muameleye karşı hasas olduğu görülmüştür. Masif odundaki kopma modülü üzerine sıcaklığın etkisi, sıcaklığın derecesine bağlıdır. Sonuçlara göre kompozit keresteler termal degradasyona karşı direnci çok hassastır. Türler, ürün tipleri ve kopma modülü arasındaki farklılık düşük rutubette, yüksek rutubet oranlarına göre daha düşük olarak belirlenmiştir.

Ünsal ve diğ. (2003) tarafından yapılan araştırmada; ısı muamele görmüş okalıptus odununun; renk, fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Isıl işlem uygulanmış okalıptus örneklerine sertlik, şişme, fırın kurusu ağırlık ve örneklerin renk değişimi muamele edilmemiş örneklerle karşılaştırılarak test edildi. Sonuçta, ısı işlem ile odun örneklerinin renkleri koyulaşırken, ısı işlem sıcaklığı ve şartları arttırıldıkça yoğunluk, şişme ve sertlikte düşme görüldüğü belirlenmiştir.

Sundqvist ve diğ. (2003), 160–200⁰C sıcaklıkta huşun ısı işlemi boyunca asetik ve formik asit ve benzil ester oluşumu gaz kromatografisiyle çalışılmıştır. Hidrotermal işlem süresince odunda kendiliğinden oluşan formik ve asetik asidin yüksek konsantrasyonda olduğu bulunmuştur. Asit konsantrasyonunun hem ısı işlem, hem de sıcaklık artışıyla yükseldiği ifade edilmiştir. 180⁰C’de asetik asit ve formik asit oluşumunun maksimum seviyede olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan sıcaklıklarda 4 saat boyunca ısı işlemde kuru odun ağırlığına göre %1.1–7.2 kütle kaybı görülmüştür. Isıl işlem görmüş odun materyalinin mekanik özellikleri de belirlenmiştir. Yüksek konsantrasyonda asit bulunan deneylerde aşırı kütle kaybı ve mekanik direnç kaybı görülmüştür. Muamele edilmiş huş odununda direnç kayıplarının ciddi seviyelerde olmaması için muamele sıcaklıklarının 180–200⁰C sıcaklıklar arasında ve kısa zaman periyotlarında olması gerektiği belirtilmiştir.

Weiland ve Guyonnet (2003), Odunun yumuşak şartlarda ısı işlemi ile makroskopik özellikleri (boyutsal kararlılık ve mantar degradasyonuna karşı direnç) geliştirilmektedir. Isıl işlemin etkilediği kimyasal modifikasyon; moleküler seviyede; yani makroskopik özellikleri açıklamak için, odun bloklarından DRIFT spektroskopisiyle araştırılmıştır. Her iki oluşan yapıda odunun iyi bilinen hidroliz reaksiyonun olduğu gözlemlendi. Mantar saldırıları, stveart bir oksidatif şekilde

pentozanların termal degradasyonlarının yer aldığı bulundu. Depolimerizasyon ve kondenzasyon arasında bir bağ olduğu belirlenmiştir.

Hillis (1984) tarafından, ısıtma işlemi süresince meydana gelen farklı oluşumların odunun temel özellikleri üzerine, selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarlarındaki değişim ve farklı şartlar altında oluşan degradasyon ürünleri araştırılmıştır. Doğal hemiselülozlardaki değişimler de, farklılaşan odun yapısının önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Isıtma işlemi sonucunda kerestelerin öz odunun hacimlerinin, nem yüzdesi ve diğer özelliklerinin değiştiği belirlenmiştir.

Leijten (2004), *Angelim vermelho*, Douglas Göknarı, Dişbudak ve Melez örnekleri 3 farklı sıcaklıkta muamele ederek 7 m/s'lik bir ön yükleme ile şok dirençleri ölçmüştür. Bu ölçüm yapılırken, yüksek hızda çekim yapabilen bir kamera kusur oluşumunun izlenmesinde kullanılmıştır. Bilgisayar simülasyonları sayesinde kusur oluşum zamanı belirlenmiştir. Sonuçlar, bazı örneklerin eğilme dirençleri çok düşük olmamasına rağmen bazılarının dramatik boyutlarda olduğu görülmüştür. Bu durum şok direncinin odun türüne ve cinsine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir.

Edlund ve Jermer (2004), ladin ve Sarıçam odunları 220°C sıcaklıklarda 4 saat boyunca termal olarak muamele edilmiş ve 2 yıl süreyle örneklerde hiçbir çürüme veya renk değişimi görülmemiştir. Sonuçlara göre ayrıca ahşap materyalin ıslanabilirliğinin arttığını ve daha az renk değişimi yapan mantarlardan etkilendiklerini göstermiştir. Ayrıca termal olarak modifiye edilen odunlar bakır içerikli koruyucularla muamele edilmiş olan örneklere göre dahi iyi bir performans göstermiştir.

Ishikawa ve diğ. (2004) tarafından, sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) odunu yüksek sıcaklıkta muamele edilerek nem içeriğindeki değişimler araştırılmıştır. 160°C'de ısıtma işleminden dolayı odun yapısındaki meydana gelen kaybın

önemli oranda olduğu ve bu kaybın nem değerlerini etkilediği belirlenmiştir. 120⁰C’de meydana gelen kayıpların, önemsenecek derecede olmadığı görülmüştür. Isıl işlem zamanının ve kullanılan sıcaklık derecelerinin odunun denge rutubetini etkilediği de görülmüştür. Fakat bu durum buhar ortamında yapılmış ısı işlemde gözlenmemiştir. Buharla ısı işlemin yapıldığı kapalı sistemlerde, doygun buharın gerek odun yüzeyinde gerekse iç kısımlarda bozulmayı artırdığı belirlenmiştir.

Mitsui ve diğ. (2004), yaptıkları çalışmada odunun fotoğraflarını çekerek lazer ışınlarıyla renklendirme metodu kullanılarak negatif filmlerin iletkenlik etkisi araştırıldı. ΔE^* 100 sa bir ısıtmadan sonra %20 geçen geçirgenlikle örnekler filmlerle kaplı ve 100 sa lazer ışığında düşüş görüldü. Bu olayın Δb^* deki düşüşten dolayı olduğu düşünülmektedir. Lazer ışıması uygulanmış odunun rengi ısı işlemle önemli ölçüde değişmiştir. Fakat ortalama %20’yi aşan geçirgenlikli filmlerle kaplanan ısı işlem görmüş odunun rengindeki değişim sabit kalmıştır. Elde edilen net fotoğraflar iletken negatif film kullanılan odun üzerinde yaklaşık %20’den sonra elde edilmiştir. Üstelik ısı işleminden sonra ΔE^* ’nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki farklılıklar yaklaşık olarak %22 civarında bulunmuştur.

Rousset ve diğ. (2004) tarafından, 200⁰C’lik bir ısı muameleden önce ve sonra, kavak odununun higroskopik alanda hava geçirgenliği çalışılmıştır. Beklenildiği gibi radyal yönde önemli bir değişim meydana gelmiştir (öz odundan diri oduna). Isıl işlem hava geçirgenliğine etkisi olmadan kütle kaybının düşmesine katkısı bulunmuştur. Çatlak oluşumunu artırmadan iyi bir kuruma sağlamıştır. Ayrıca ısı işlem süresince hidrofilik bileşenlerin degradasyonundan dolayı hücre duvarında bulunan bağlı suyun hareketini kısıtlamış ve miktarın düşmesine katkısının olduğu ifade edilmiştir.

Nuopponen (2005), sarıçam'da Fourier Transform Infrared (FTIR) ve UV-Raman Spektroskopisiyle termal olarak değişimleri incelemiştir. Spektroskopik bilgiler termal olarak muamele görmüş odunun yapısında 200°C'nin altındaki sıcaklıklarda modifiye olduğunu belirlemiştir. Bu modifikasyonlar sonunda odun reçine bileşenlerinin parçalanması ya da uzaklaşması kadar, hemiselülozun parçalanması, ligninin kondenzasyonu ve depolimerizasyon reaksiyonlarının olduğu belirtilmiştir. Ultra-Viole ve FTIR verileri, ısı olarak muamele edilen odunda, mantar saldırıları ve zararlılarına karşı direncin arttığını göstermiştir. Isıl işlem görmüş odunun yüzeyinde lignin yapısı, muamele görmemiş odundan daha az bulunmuştur. Isıl işlem görmüş odun daha düşük denge rutubeti ve şişmeye sahipken mantar ve dış ortama karşı direnç yüksektir. Isıl işlem görmüş odunda ligninin modifiye olmuş yapısının, doğal ortama maruz bırakma süresince degradasyon reaksiyonlarına uğradığı olduğu düşünülmektedir.

Sundqvist (2004) tarafından, Huş odununun ısı işlemi boyunca formik ve asetik asit oluşumu araştırılmıştır. Asit oluşumu (ağırlığına göre %7.2) ve renk değişimi 160–200°C arasındaki sıcaklıklar kullanılarak otoklavda belirlenmiştir. Asidik pH şartlarında ve ticari olarak ısı işlem uygulanmış huş odunu ile laboratuvar şartlarında ısı işlem uygulanmış huş odunu arasındaki ortalama molekül boyutunun muamele edilmemiş huşa göre %42–53 düştüğü belirlenmiştir.

Sundqvist (2004a) tarafından, ısı işlem görmüş odunun renk kararlılığı ve kapılar fazda ısı işlem uygulanmış örneklerin renk değişimleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar AE*ab ve L*C*h koordinatları Stveartlarına göre belirlenmiştir. Deneyler sonucunda, ısı işlem görmüş odunun renk kararlılığı, ilk 4 saat dışında ısı işlem uygulanmamış odunun kararlılığıyla karşılaştırıldığı zaman 100 saat maruz boyunca daha iyi olduğu görülmüştür. Huş örneklerindeki renk değişimi, çam ve ladinin ısı

işlem görmüş örneklerinden daha fazla görülür. Bunun nedeni yüksek sıcaklıklar ve daha uzun UV-ışığı maruzunun renk tepkisi olabileceği düşünülmüştür.

Ishiguri ve diğ. (2005) tarafından, 6 Japon iğne yapraklı ağacı $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de 200 ve 100 saat dumanla ısıtılma işlemine tabi tutulmuş ve etkileri incelenmiştir. Dumanla ısıtmadan sonra özellikle diri odunda rutubet oranı düştü ve kerestelerde rutubet içeriğinin düzenli bir dağılım gösterdiği görülmüştür. 100 saat dumanla işlem görmüş odun ile kontrol odunu arasında kimyasal bileşen miktarı olarak hemen hemen hiçbir fark bulunamamıştır. Fakat 200 saat ısıtılma işlemine tabi tutulan odun örneklerinde hemiselüloz bozunmasının da olduğu tespit edilmiştir. Kristallik artışına, selülozun kristalleşmesi ve/veya hemiselülozun termal bozunmasının, dumanla ısıtılma işlemine maruz bırakılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. 100 saat dumanla ısıtılan örnekleri ile kontrol örnekleri arasında diri odun rengi bakımından hiçbir farklılık olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak ΔE^*_{ab} deki toplam renk farkı, derinlerde renk değişimi olduğunu göstermiştir. Bu sonucun 100 saatin üzerinde hemiselülozun termal bozunumundan kaynaklandığı bildirilmiştir.

Hæggström (2005)'in çalışmasında, sarıçam örneklerinin $60-240^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta muamele edilmesi ile ve kuruma etkilerinin non-linear parametreler ve elastikiyet modülünün zayıfladığı belirlenmiştir. 140°C çevresinde, odun özellikleri hem lineer hemde non-linear arttığı fakat daha sonra 230°C 'de özelliklerin ciddi oranda düştüğü bildirilmiştir.

Hakkoul (2005)'a göre, 130 ve 160°C 'de ısıtılma işlemiyle odunun hidrofobikliğinde önemli bir artış olmaktadır. Bu davranışın genellikle yüksek sıcaklıklarda rapor edildiği ve hidrofilik özelliklerin nedenleri; yapılan farklı deneyler sonucunda, degradasyon reaksiyonları ve ekstraktif varlığının bu özelliklerin temelinden kaynaklanmadığı belirlenmiştir. Isıtılma işlemi boyunca

ıslanabilirlik değişiminin; ligninin olası plastikleşmesinin ya da kalıntı suyun kaybindan dolayı ve biyopolimerlerinin düzenlenmesiyle gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Hakkoul (2005a) tarafından, göknar, kavak, kayın ve çam türleri buhar ortamında 8 saat süre ile fırın sıcaklığı 20⁰C artışla muamele edilmiştir. 100–160⁰C arasında değişen sıcaklıklarda ısıtılma işleminden sonra odunun ıslanabilirliği ani bir şekilde değişmiş ve temas açısı ortalama 90⁰'ye ulaşmıştır. 160 ve 260⁰C arasındaki yüksek sıcaklıklarda muamele için, odunun 90⁰C'de hidrofobik bir karakteristik özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Kütle kaybının hemiselülozun degradasyonundan dolayı olduğu düşünülmektedir. Terpenler gibi uçucu ekstraktiflerin varlığının zayıf bir kütle kaybına sebebiyet verebileceği, fakat sadece 200⁰C'den düşük sıcaklıklarda da gözlemlendiği belirtilmiştir. Sonuçlar, herhangi bir kütle kaybı belirlenmeden önce 100–160⁰C'ler arası sıcaklık alanlarında ıslanabilirlik değişimleri görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda yapılan muamele sonucu, çalışılan odun türlerinin ıslanabilirliğinin etkilemediği gözlenmiştir.

Persson (2005), ısıtılma işlemi görmüş odunda; direnç, su alışı-verişi, kuruma davranışı, boyutsal stabilizasyonu ve renk değişimi gibi çeşitli etkileri araştırmıştır. 100⁰C üzerinde ısıtılma işlemi ile düşük sıcaklıklarda yapılmış olan ısıtılma işlemi arasında lifler yönünde makaslama direnci düşmüştür. Yüksek sıcaklıkta muamele edilen örnekler ile düşük sıcaklıklarda da muamele edilmiş olan örnekler karşılaştırıldığında yüzey sertliği, çatlama direnci ya da yüzey pürüzlüğü değerlerinde çok fazla bir düşüş görülmemiştir. Yüksek sıcaklığa maruz kalmış odunun higroskopluğunda bir düşüşün olduğu gözlenmiştir. Burada sıcaklık ne kadar yüksek olursa, denge rutubet oranının da o kadar yüksek olacağı ifade edilmiştir. Kurutulmuş odunun kuruma eğrisi yeni kesilmiş bir odunla karşılaştırıldığında, başlangıç kuruma eğrisinde denge

rutubetinin daha düşük olduğu görülmüştür. Isıl işlem sonunda fark edilir renk değişiminin çam ve ladinin öz odunlarında, 70°C'den sonra hızla arttığı gözlenmiştir. Ekstraktif miktarı ve yayılma üzerinde etkisi bakımından yoğunluğu, gerek çam gerekse ladin de bulunan ekstraktif miktarından daha fazla etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Çam öz odununun teğet, radyal ve aksiyal yönleri arasındaki difüzyon katsayıları arasındaki ilişki 1:1, 8:7 olduğu belirlenmiştir. Tomografi kullanılarak inceleme sonuçlarına göre istenilen değerlere ulaşıldığı görülmüştür.

Poncsak ve diğ. (2005), huş odununun mekaniksel özelliklerini optimum hale getirmek için termogravimetrik analiz cihazı kullanılarak maksimum ısıl işlem sıcaklıkları, ısıtma oranı ve gaz rutubeti sabit tutularak huşun mekaniksel özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, düşük ısıtma oranlarında örneklerin kütle kaybının düşük olduğu belirlenmiştir. Yüksek ısıtma oranları kullanıldığında kütle kaybı ciddi olarak artmaktadır. Bu nem içeriğinin ısıl muamele boyunca hücre duvarı polimerlerinin degradasyonunda olumlu etkisi bulunduğu belirlenmiştir. Sıcaklık zaman eğrisi huşta ekzotermik reaksiyonların 150–160°C'nin arasında gerçekleşmeye başladığını göstermiştir. Bu sıcaklıkların altında sadece ekstraktifler ve nemin buharlaştığı belirlenmiştir. Bu ekzotermik reaksiyonlardan dolayı ortamdaki gaz sıcaklıklarının 170°C'yi aştığı belirlenmiştir. Örnekler de ekzotermik reaksiyonlar 170°C sıcaklıklarda başlamasına rağmen ciddi kütle kayıpları ancak 200°C sıcaklıklarda baş göstermeye başlamaktadır. Bu sıcaklıklarda meydana gelen bu kütle kaybı da örnekler de ciddi oranlarda direnç kaybı göstermesine sebebiyet vermektedir. Mekaniksel özellikler özellikle 200°C sıcaklıklar da ciddi oranlar da düşüş göstermektedir. Gaz atmosferi (%0 Bağıl Nem) örneklerin eğilme özelliklerini düşüren çatlak oluşumunu artırmaktadır.

Repellin ve Guyonnet (2005) tarafından, kayın örneklerinin, şişme özellikleri; farklı tarama kalorimetresi ile doğal ve ısıtılmış odunun Lif Doygunluğu Noktası belirlenmiştir. Termal muameleyle yüksek sıcaklıkla odunun çalışmasındaki ve odun direncinde meydana gelen düşümlere; hemiselülozün parçalanmasının sebebiyet verdiği bildirilmiştir. Isıtılmış süresince meydana gelen hemiselüloz parçalanmaları ve ligninin kimyasal bozunması odunun sorpsiyon davranışında önemli değişimlerin olmasına sebebiyet verdiği belirlenmiştir.

Johansson (2005) tarafından, kayın örnekleri atmosferik şartlar altında ısıtılmış işleme tabii tutularak odunda iç çatlama mekanizmasının anlaşılabilmesi ve renk ölçümleriyle odunun direnç özelliklerinin tahminine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Sonuçlar renk ve direnç kayıpları arasında ilişki olmadığını göstermiştir. 50 mm veya daha fazla kalınlıktaki kayın panellerinde iç çatlama üzerinde kütle kaybının çatlak oluşumunu artırıcı bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Buna ısıtılmış sırasında oluşan kuruma stresinin yol açtığı ifade edilmiştir.

Johansson (2005a), yüksek sıcaklıkta ve düşük sıcaklıklarda kayın odununda oluşan iç çatlakları araştırmış; test sonuçlarına göre 50 mm'den kalın örneklerde iç çatlamanın büyük boyutlarda olduğu gözlenmiştir. Bununda yüksek sıcaklıkta kurumada meydana gelen kuruma stresinden gerçekleştiği belirlenmiştir.

Tjeerdsma ve Militz (2005) tarafından, kayın ve çam odunları ısıtılmış işleme tabii tutulup FTIR spektroskopunda analiz edilmiştir. Hemiselülozün asetil gruplarının parçalanmasının; nemli şartlar ve artan sıcaklıklar altında, ilk muamele basamağında gerçekleştiği bulunmuştur. Asetik grupların çoğunun yüksek sıcaklıklarda odunun muamelesi boyunca çatlattığı bulunmuştur. Buna karşın bölgesel deasetilasyonunun yüksek muamele sıcaklıklarında oluştuğu bulunmuştur. Lignin kompleksinde oluşan esterlerin yeni karboksil gruplarında oluştuğu, ısıtılmış odunda

belirlenmiştir. Fakat odundan ayrılan hemiselülozda bu varlık tespit edilmemiştir. Esterleşmenin odunun higroskopluğunda düşüğe katkısının bulunduğu, boyutsal stabilizasyon ve direnç gelişiminde rol oynadığı elde edilen sonuçlardan belirlenmiştir. Fakat higrotermal muamele işleminde higroskopluğun düşüşünde esterleşmenin rolünün, odunun ısıl işlemi boyunca olduğu bilinen çapraz bağlanma reaksiyonlarının etkisiyle karşılaştırıldığında çok önemsiz seviyelerde kaldığı görülmüştür.

Ünsal ve Ayrılmış (2005) tarafından, termal olarak modifiye edilmiş okalıptus odununun hava kurusu yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü (ortalama pürüzlük) ve liflere paralel basınç direnci üzerinde, ısıl işlemin etkisi araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü liflere dik yönde yapılmış ve ısıl işlem sıcaklığı ve muamele süresi arttıkça; yoğunluk, basınç direnci ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.

Boonstra ve Tjeerdsma (2006) nin araştırmasında, ladin (*Picea abies* L.), İskoç çamı (*Pinus sylvestris* L.) ve Radiata Çamı (*Pinus radiata* D.) odun örnekleri 165–185⁰C arasındaki sıcaklıklarda ısıl işleme maruz bırakılmış ve değişimler incelenmiştir. Odunda rutubet varlığının, asetil gruplarının parçalanarak, asetik asit oluşumunda önemli bir rolü vardır. Ayrıca suyun, karbonhidratların parçalanmasında kataliz görevi yaptığı belirlenmiştir. Karbonhidratların parçalanmaya başlamasıyla odunun lignin içeriğinde bir artış meydana gelir. Lignin artışına; karbonhidrat parçalanmasıyla paralel gerçekleşen, kondenzasyon reaksiyonlarının da katkısının olduğu belirlenmiştir. Bu oluşan polikondenizasyon, lignin matriksinde çapraz bağlanma oluşumuna sebebiyet verir. UV analizleri bu reaksiyonların, diğer aromatik yapılar ve furfural ve/veya metil furfural arasında da gerçekleştiğini göstermiştir.

Ayrıca örneklerde ligninde çapraz bağlanmadan dolayı sorpsiyon değişimleri sonucu düşüşler bildirilmiştir.

Boonstra ve diğ. (2006) tarafından, yüksek sıcaklıklarda (150–280⁰C'lik bir bölgede) odun muamele edildikten sonra; basidiomycetes, küflenme ve beyaz çürüklük mantarları maruz edildikten sonra direnç özellikleri araştırılmıştır. Radiata çamının ısıtma işlem muamelesi ile *Coniophora puteana* ve *Poria placenta* gibi kahverengi çürüklüğe karşı dirençlerinde, net bir gelişme olduğunu görülmüştür. Proses sıcaklığı ya da zamanının artması *C. Puteana* saldırılarına ve beyaz çürüklük mantarlarına *Coridus versicolor* karşı hayli sınırlı bir direnç göstermiştir. Muamele edilmiş sarıçam öz odunu ve huş odunu *C. Puteana*, *P. Placentaya* ve beyaz çürüklük mantarına *C.versicolona* karşı yüksek bir direnç gösterdikleri belirlenmiştir. Isıtma muamele süresince *C. Putezma* saldırılarına karşı dirençin geliştiği görülmüştür. Dirençteki olumlu gelişme özellikle beyaz çürüklük mantarı *C. versicolor* ve *stereum hirsutum* direncinde gözlenmiştir. Proses sıcaklığı ya da proses zamanının artması ile *C. versicolor* saldırılarına karşı direnç artışları sınırlı olmaktadır. Isıtma işlem görmüş Sarı Çam ve Doğu Ladinin muamelesi boyunca hemiselüloz parçalanmasından dolayı yüzeylerde oluşabilecek mantar oluşumlarına hala şüpheyle bakılmaktadır. Çünkü Isıtma işlem görmüş odun örneklerinin üzerinde mavi renklenme oluşumu gözlenmiştir.

Boonstra ve diğ. (2006a), yumuşak şartlar altında, ısıtma muamelesinin optimizasyonu ve odun yapısı üzerindeki etkisi, ışık ve elektron mikroskopu analizi ile araştırılmıştır. Dar yıllık halkalı ya da ilkbahar odunundan yaz odununa açık bir geçiş olan türler yaz odunu kesitinde teğet çatlaklara karşı hassastır. Radyal çatlaklar muamele boyunca odun yapısındaki ciddi baskılar sebebiyle oluşmaktadır. Isıtma işlem görmüş çam türlerinin diri odunun reçine kanalları çevresinde yıllık halkalar, epitel

hücreler ve paransim hücrelerinde bazı çatlamlar görülmüştür. Buna karşın öz odun kesitinde böyle bir duruma rastlanmamıştır. Isıl işlem görmüş radiata çamında bu olay çok net görülür ve bu türün kullanılabilirliğini kısıtlayan bir faktördür. Enine yönde oluşan kopmaların neden olduğu liflere dik yöndeki hücre duvarlarındaki çatlamlar muamele edilmiş iğne yapraklı ağaç türlerinde görülmüştür. Bu durum şok ve mekaniksel baskılardan sonra eğilme deneylerinde farklı şekillerde düşmelere sebebiyet verir. Bazı ısı işlem görmüş türlerin maserasyonunda traheidler arasında ufak çatlaklar görülebilmektedir. Isıl işlem yıllık halkaların paransim hücrelerinde çatlama, sınırlı ve geniş çatlaklara yol açmadığı görülmüştür. Liflerin margolarının zarar görmediği belirlenmiştir. Douglas göknarı diğer türlerle karşılaştırıldığında ısı işleme en duyarlı tür olduğu görülmüştür.

Boonstra ve diğ. (2006b) tarafından, 200⁰C'nin altındaki şartlarda ısı muamelenin yapraklı ağaçların anatomik yapısı üzerindeki etkisi, elektron ve ışık mikroskobu altında araştırılmıştır. Huş ve Kavak gibi türler, hücrelerin yakınındaki libriform liflerinin deformasyonuna ve hücrelerin daha kolay kollapsa uğramalarına sebebiyet verirler. Isıl işlem görmüş huş ve kavaktaki radyal çatlaklar yıllık halkaların çevresinde gözlenmiştir. Buharla hidrotermoliz prosesi şartlarının optimizasyonu, muamele görmüş türlerde oluşan zarar minimuma indirilebilir. Bu durumda şok ya da mekaniksel baskılardan sonra çatlaklar göze çarpmaktadır. Bazı ısı işlem görmüş türlerin maserasyonunda traheler arasında ufak çatlaklar belirlenmiştir. Isıl işlem öz ışını paransimlerinin hücrelerinde çatlama, sınırlı çatlaklar ve hücrede geniş çatlaklar gibi zararların olduğu belirlenmiş ve fibrillerin margolarında zarar görülmüştür.

Esteves ve diğ. (2006) yaptığı çalışmada; sahil çamı ve okalıptus odun örnekleri hava ortamda buharla birlikte otoklav içerisinde 2–12 saat ve 190–210⁰C

sıcaklıklarda ısıyla muamele edilmiştir. Sonuçta odunun su-alış verişinde önemli iyileşmeler meydana gelmiş, denge rutubet oranı çamda %46 ve okaliptüste %61 oranlarında düşmüş ve boyutsal stabilizasyon yükselmiş, yüzey ıslanabilirliğinin de düştüğü belirlenmiştir. Bunların yanında mekaniksel özelliklerden elastikiyet modülü çok az etkilemiştir (Çamda %5, okaliptüs da %15 oranında düşmüştür). Fakat eğilme direncinde ciddi düşüşler gerçekleştiği görülmüştür (Çam için kütle kaybı %8'den %40'a kadar ve okaliptüs odunu için %9'lardan %50'lere kadar yükselmektedir). Okaliptüs'un ısl muameleye verdiği tepkinin iğne yapraklılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Follrich ve diğ. (2006), ısl işlemin yapışmayı nasıl etkilediğini belirlemek için ladin odunu panelleri ile polietilen yapıştırıcılarını kullanarak yapışma direncini ve ısl işlemin etkisini belirlenmeye çalışılmışlar; örnekler hazırlandıktan sonra yapılan testlerde, ısl işlem sonucunda yüzeyde ki bağlanmayı sağlayan fonksiyonel grupların koptuğu ve bu yüzden temas açısının arttığı belirlenmiştir. Bu sayede polietilen ve odun yüzeyi arasındaki bağlanma gücünün, ısl işlem görmemiş ahşap materyale göre çok daha fazla olduğu yapılan mekanik testler sonucunda belirlenmiştir.

Garcia ve diğ. (2006) tarafından, MDF panelleri muamele edilmemiş liflerden ve muamele edilmiş liflerden 2 farklı sıcaklıklarda (150 ve 180°C) 15, 30 ve 60 dakika üretilmiştir. ısl işlem görmüş liflerden yapılmış olan levhaların su absorpsiyonundan sonra, kalınlığına şişme ve su alma özelliklerinde önemli ölçüde düşme gözlenmiştir. Su alma ve kuruma döngüsünün tekrarlanmasından sonra kalınlığına şişme artmıştır. İstatistik analizlerde, ısl işlemi takiben, panellerin uç bağlanma direncinde, elastikiyet modülü ve kopma modülün de önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

Inari ve diğ. (2006), kayın odununu 240⁰C'de muamele ederek odun yapısındaki değişimi belirlemişler; sonuçlar, kurutma ya da ısıtma işlemi boyunca, fırındaki ortamla temas eden materyalin, yüzeylerinin güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermiştir. Fakat O/C oranı ısıtma işlemi uygulanmamış bir örnekten birkaç mm kalınlığında bir örnek alarak kayının kimyasal bileşimi ölçme mantığına göre ölçülmüş ve O/C oranı 0.55'den 0.44'lere kadar ciddi bir düşüş göstermiştir. Isıtma işlemi ayrıca C₁ (Sadece Karbon ya da hidrojen atomlarına bağlı karbon atomları) karbon dağılımına bağlantılı olarak C₂ (Tek Karbonil olmayan oksijene bağlı karbon atomu) karbon dağılımında bir artışa sebep olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı odun örneklerinde sonuçların homojenlik gösterdiği belirlenmiştir

Johansson ve Moren (2006), 175 ve 200⁰C sıcaklıklarda, 0, 1, 3 ve 10 saat süreyle odununu muamele ederek renk ve direnç özelliklerinin nasıl etkilendiğini araştırılmışlar; bunun için istatistiksel olarak eğilme direnci ile üretim parametreleri arasında ve renk ile denge rutubetinin yardımıyla direncin belirlenmesi üzerinde 2 model oluşturularak sonuçlar incelenmiştir. Sonuçlar renk ve denge rutubetinin direnç özellikleriyle bir ilgisi olmadığını göstermiştir. Şok direncinin belirlenmesi için ise elde edilen değerin çok düşük olduğu görülmüştür. Eğilme direnci sonuçlarına göre 200⁰C de 3 saat süren ısıtma muamelede direncin maksimum orvea yani %43 düştüğü belirlenmiştir. Örneklerin renk homojenliği ölçüldüğünde ısıtma işlemi sonucunda elde edilen rengin, örnek üzerinde homojen bir yapıda olmadığı belirlenmiştir.

Kocaefe ve diğ. (2006) tarafından, ısıtma işleminin matematiksel olarak modellenerek 3 ayrı model (luikov yaklaşımı modeli, difüzyon modeli ve multifaz modeli) yardımıyla odunun yüksek sıcaklıkta muamelesi için geliştirilmiştir. Tüm modeller için zor olan kısım sıcaklık, nem içeriği ve boşluk yönleri kadar ısıtma ve

kütle kaybına göre değişebilen katsayıların doğru odun özelliklerinin bulunmasını kötüleştirmesidir. Çünkü odun anisotropik bir materyaldir. Difüzyon modeli diğer iki modelle karşılaştırıldığında daha az sabit ve daha kısa hesaplama gerektirmektedir. Difüzyon modeli tahminleri multifaz modeliyle benzer sonuçlar vermektedir. Bu yüzden bu modelin muamele modellenmesinde kullanılmasının uygun olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca bu model tahminleri sıcaklık ve nem içeriği oranlarını en iyi olarak belirleyebilen bir model olarak görülmüştür.

Kocaefe ve diğ. (2006a)'nın çalışmalarında, odunun yüksek sıcaklıkta muamelesi boyunca sıcaklık artışına eş zamanlı olarak, oluşan kütle kaybını kapsayan üç boyutlu ve sabit olmayan matematiksel bir model geliştirilmiş ve deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak tahminler yapılmıştır. Bu modelde ısıtma ve kütle kaybı eşitlikleri Luikov yöntemiyle çözülmüş ve odunda sıcaklık ve nem içeriği profilleri farklı ısıtma oranları için zaman fonksiyonu olarak tahmin edilmiştir. Örnekler, termogravimetrik bir sistem kullanılarak yüksek sıcaklıkta ısıtılmış ve örneklerdeki yoğunluk kaybı ve sıcaklık dağılımı deney boyunca izlenerek kaydedilmiştir. Değişken özelliklerde kullanılan modelle odunun sıcaklık ve nem içeriği, deney verilerinde olduğu gibi sabit özelliklerin kullanılarak aynı modelde tahmin edilenlerle karşılaştırılmıştır. Sıcaklık ve bağıl nem gibi farklı eşitsizliklerin çözülmesinde FemLab kullanılmıştır. Çalışma sonucunda odunun konversiyonel kurutulmasında kullanılan Luikov yöntemi Lif Doygunluk Oranı yaklaşık olarak %30 olduğu yerlerde başarılı bir ısıtma işlemi gerçekleştiğini göstermiştir. %30 üzerinde bu yöntemdeki eşitliklerin yeterli olmadığını belirlenmiştir. Bu yüzden serbest suyun buharlaşması dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Mitsui (2006) tarafından, ısıtma işlemi ve ışık etkisiyle ladin örneklerinin rengindeki değişim belirlenmiştir. Isıtma işlemi sonucunda L^* , a^* ve b^* değerlerinde

düşüş gözlenmiştir. Isıl işlem uygulamasından sonra, ışık muamelesi sonucunda L* ve a* değerlerinde düşüş gözlenmesine rağmen b* değerleri ısıl işlem sonrasında ciddi bir düşüş göstermiştir. Bu durumda ısıl muamele görmüş odunun ışık maruzu altında renk değişimi meydana geldiği anlamına gelmektedir. Işık yayılımıyla foto termal olarak muamele edilen odunun rengi ısıl işlemle iyileştirilebilmekte fakat gerekli korumalar alınmadığı sürece örneklerde istenmeyen renk değişimlerinin olabileceği ifade edilmektedir.

Obataya ve diğ. (2006), Japon sedir ağaçlarının higroskopikliği üzerinde yüksek sıcaklıkta 120°C’de muamelenin etkisi araştırılmış ve 90°C’nin üzerindeki ısıtmalarda ağırlık kaybının meydana geldiği belirlenmiştir. Buharlama etkisinin aynı ısıtma sıcaklıklarında kuru ısıtmadan daha büyük olduğu gözlenmiştir. Suda ekstraksiyondan sonra buharlanmış odunda suda çözünen parçalanmış kalıntılardan dolayı kütle kayıplarında artış görülmüştür. Isıtılan odunun kütlesi ağırlık kaybının artışıyla düştüğünü ve böyle bir ilişkinin sudaki ekstraksiyondan sonra daha da belirgin hale geldiği belirlenmiştir. Sonuçlar iç bölgelerdeki termal parçalanma dış kısımlardaki parçalanmalardan daha fazla olduğunu göstermiştir.

Younsi ve diğ. (2006), yüksek sıcaklıktaki odunun hidrotermal davranışı odunda olduğu gibi serbest su, bağıl su ve su buharı dikkate alınarak analiz edilmiştir. Model eşitlikleri sıcaklık ve nem içerik profillerinin analizi için FameLab ticari yazılım kullanılmıştır. Matematiksel model tahminleri deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve mantıklı bir sonuç elde edilmiş ve ayrıca parametrik çalışma ile ısıtma oranı, başlangıç rutubet içeriği ve ısıtma süresince örneklerdeki sıcaklık ve rutubet içeriğinin dağılımı üzerinde örnek kalınlığının etkisi gibi birçok parametre belirlenmiştir.

Yıldız ve Gümüşkya (2007), bu çalışmalarında ısıtma işlemi görmüş ladin (*Picea orientalis*) ve kayın (*Fagus orientalis*) odun numunelerinden alınmış relatif triklinik(I_{α}) ve monoklinik(I_{β}) yapı selüloz içeriğinin kristali ve hesaplamalarını Fourier Transform Infrared (FT-IR) spektrometrisini kullanarak belirlemişlerdir. Isıtma işlemi test örnekleri fırında 3 farklı sıcaklık derecesinde (150 – 180 – 200°C), 2 farklı zaman diliminde (6 ve 10 sa) ve atmosferik basınç altında uygulanmıştır. Odun örneklerindeki selüloz kristalinin termal modifikasyonlarla birlikte arttığı belirlenmiş olup sonuç olarak, selüloz kristalindeki değişimin yalnızca sıcaklığa bağlı olarak değil termal modifikasyondaki uygulanan süreye de bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ladin ve kayın odun örneklerinde ki selüloz I_{α}/I_{β} oranının termal modifikasyonlarla değiştiği saptanmış olup; monoklinik yapının selüloz kristal yapısında baskın hale geldiği tespit edilmiştir. Termal modifikasyondan sonra ladin odununda ki selülozun kristal yapısının kayın odunundakilere göre daha fazla etkilendiği belirlenmiştir.

Korkut (2008) çalışmasında; Uludağ Göknaarı (*Abies bornmuelleriana* Mattf.)'nın bazı teknolojik özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda; ısıtma işleminin, odunun teknolojik özelliklerini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşürdüğü belirlenmiştir.

Korkut ve ark. (2008) çalışmalarında; Düzce Orman İşletme Müdürlüğü'nden elde edilen Akçağaç (*Acer trautvetteri* Medw.)' odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; en fazla azalmanın radyal ve teğet sertlik değerleri ile liflere dik çekme direncinde 180°C'de 10 saat ısıtma işlemi uygulaması neticesinde elde edildiği ve stabilite gerektiren pencere doğramalarında kullanılacak ağaç malzemenin ısıtma işlemi uygulamasına tutulmasının faydalı olacağı ifade edilmiştir.

Korkut ve ark. (2008) çalışmalarında; sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı teknolojik özellikleri (basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, janka sertlik, dinamik eğilme (şok) direnci ve liflere dik çekme direnci) üzerine, ısıtılmanın etkilerini belirlemişlerdir. Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen deney örnekleri 2 saat, 6 saat ve 10 saat ile 120⁰C, 150⁰C ve 180⁰C'de olmak üzere 9 varyasyonda ısıtılma tabii tutulmuştur. Çalışma sonucunda; en az direnç kaybının 120⁰C'de 2 saat ısıtılma uygulaması ile, en fazla direnç kaybının 180⁰C'de 10 saat ısıtılma uygulaması neticesinde elde edildiği, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında ısıtılma uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak direnç değerlerinin değiştiği ve farklı ısıtılma metodlarının kullanılması ile ticari değeri olmayan türlerin daha çok kullanım yerlerinde değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Gündüz ve diğ. (2008) çalışmalarında; Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen Camiyanı Karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) odununun bazı fiziksel (tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk ve genişleme) ve mekanik özellikleri (basınç direnci ve janka sertlik) ile yüzey pürüzlülüğü üzerine ısıtılmanın etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; ısıtılma uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak tüm özelliklerde bir azalmanın söz konusu olduğu, direnç değerlerindeki azalmanın yüzey pürüzlülüğü ve genişlemede meydana gelen azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite ile dengelenebileceği ve ısıtılma sayesinde bu türün yeni kullanım alanlarında değerlendirilebileceği vurgulanmıştır.

Korkut ve Bektaş (2008) çalışmalarında; Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen Uludağ Göknarı (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun fiziksel özellikleri (tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk ve genişleme) üzerine ısıtılmanın etkisini araştırmışlardır. Çalışma

sonucunda; her iki ağaç türünde de ısıtılma işlemde uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak tam kuru ve hava kurusu yoğunluğunun azaldığı ve yine genişleme değerinin de azalması neticesinde ısıtılma işleminin boyutsal stabilite üzerine olumlu etkisinin olduğu vurgulanmıştır.

Sevim Korkut ve diğ. (2008) çalışmalarında; Macroplast UR 7221 ve polyvinyil acetate (PVAc) tutkallarını kullanılarak Kosipo (*Entverophragma cveollei* Harms.) odunundan elde edilen lamine pencere profillerinin bazı mekanik özellikleri (basınç direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü) üzerine ısıtılma işleminin etkisini araştırmışlardır. Isıtılma işlem uygulaması 2 saat, 6 saat ve 10 saat ısıtılma işlem süresi ve 150⁰C ve 180⁰C sıcaklıklarda 6 varyasyonda gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; UR 7221 tutkalı kullanılarak elde edilen lamine malzemelerin PVAc tutkalı kullanılarak elde edilen lamine malzemelere nazaran ısıtılma işleminden daha az etkilendikleri sonucu çıkarılmıştır.

Korkut ve diğ. (2008) çalışmalarında; Okalıptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıtılma işleminin etkisi incelemiştir. Bu amaçla; Okalıptüsün ülkemizde geniş yayılım gösterdiği Tarsus-Mersin bölgesinden temin edilen örnekler farklı süreler ve sıcaklıklarda ısıtılma işlemine tabi tutularak, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel ve dik çekme direnci, dinamik eğilme (şok) direnci ve yarıma direnci tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda; en düşük eğilme direnci 101.35 N/mm² olup %21.68'lik, eğilmede elastikiyet modülü 7647.398 N/mm²'lik değeri ile %33.46'lık, 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 kaldığı, direnç değerlerindeki bu azalmanın sebepleri olarak ısıtılma işlem ile ahşapta meydana gelen ağırlık kayıpları ve

hemiselülozun bozunmasının düşünölebileceği ve direnç değerlerindeki azalmanın önemsiz olduğu özellikle iyi işlenme özellikleri ve stabilitenin önem arz ettiği kullanım alanlarında ısıl işlem tekniğinden yararlanılabileceğini ifade etmişlerdir

Sevim Korkut ve Güller (2008) çalışmalarında; Akçaağaç (*Acer trautvetteri* Medw.) odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak fiziksel özelliklerden genişlemenin azaldığını ve bu sonucun boyut stabilizasyonu için önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Çalışmamızda Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Düzce Orman İşletme Müdürlüğü, Aksu Orman İşletme Şefliği'nin 44B nolu bölmesinden alınan 5 adet Sapsız Meşe (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb) Krassiln) tomruğu kullanılmıştır. Örnek ağaçların alındığı yerler ve ağaç türlerine ait genel özellikler TS 4176 esaslarına göre belirlenmiştir. Örnek ağaçların alındığı arazinin rakımı 850 metre, eğimi %60 olup bakışı Güney'dir. Ağaçların çapları 50-55 cm arasındadır. Çalışmamızda Sapsız Meşe odunlarının kullanılmasının nedeni; yüksek bir yoğunluğa sahip olan bu türün ısıtma işlem uygulaması sonucu yeni kullanım alanlarının saptanmasıdır.

2.1.1 Sapsız Meşe (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. subsp. *iberica* (Steven ex Bieb) Krassiln) Hakkında Genel Bilgiler

30 metreye kadar boylanan, dar tepeli bir ağaçtır. Yaşlı gövdeler üzerindeki kabuk düzenli ve dar aralıklarla boyuna derin çatlaklıdır, açık gri kahverengindedir. Sürgünler tamamen çıplak, kırmızımtırak-kahve veya sarımtırak-kahverengindedir ve üzerindeki lentiseller oldukça belirgindir. Tomurcuklar 7 mm. kadar büyük, dolgun, tilki sarısı renkte ve çıplak pullarla örtülmüştür; pulların kenarları kirpiklidir (Yaltırık ve Efe, 2000).

Eliptik, ters yumurtamsı veya uzun dikdörtgenimsi (oblong) şekillere sahip yaprakları 6-17x3-9 cm. büyüklüğünde olup, dibe doğru kama gibi daralmıştır veya çarpık yuvarlakçadır; ayanın kenarları 5-9 adet düzenli, sığ veya derin parçalı lopludur. 5-11 çift yan damar birbirine az çok paralel uzanır. İnterkalar damarlar yoktur veya sadece ender olarak yaprağın dip kısmına yakın bölgede 1-2 tane bulunabilir. Yaprığın üst yüzü parlak ve çıplak alt yüzü ise soluk yeşil, çıplak veya basılmış yıldız tüylüdür. Ancak damarlar üzerinde uzun basit tüyler bulunmaktadır. Yaprak sapı 1-3.5 cm. uzunluğundadır (Yaltırık ve Efe, 2000).

Meyve kadehi ise sapsız olarak sürgün üzerinde oturmuştur, bir yılda olgunlaşır. 10-20 mm. çapında ve yarım küre veya pyriform (armut) şeklindeki kadehin tırnakları (pulları) birbirinin üzerine sıkı bir şekilde kapanmıştır; dipleri belirgin olarak yumru gibi çıkıntılı veya düz basık veya gevşek; uçları kahverengi ve tüylüdür. Kadeh palamutun ½ veya 2/3'ünü içerisine almıştır (Yaltırık ve Efe, 2000).

Ülkemizdeki en önemli ağaç türlerinden birisidir. Çoğunlukla saf bükler veya ormanlar kurar (Yaltırık ve Efe, 2000).

Diri odun 2-5 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, öz odun açık kahverengi ile sarımsı kahverenginde, giderek koyulaşır. Taze halde yetiştirme yeri ile ilgili olarak hafif kırmızımsı renkte olanları vardır. Tekstür kaba, iğne çizikli, genellikle düzgün bazen düzensiz lifli, yetiştirme yeri ile ilgili olarak çapraz liflilik görülmektedir. Parlak, dekoratif yapıdadır. Radyal kesitler üzerinde geniş özışınlarından dolayı büyük parlak levhacıklar bulunur. İlkbahar odunu traheleri çok büyük halka şeklinde sıralanmış ve fazla miktarda tüllerle dolu, yaz odunu traheleri ise daha küçük, açık renkli, radyal sıralı ve şule şeklinde bir görünüştedir. Yıllık halka sınırları, ilkbahar odunu traheleri, geniş özışınları çıplak gözle, boyuna paranzimler ise lup altında görülür (Bozkurt, 1992).

Halkalı büyük traheli, ilkbahar odunu traheleri çok sıralı, yaz odunu traheleri radyal yönde ve çoğunlukla çatal şeklinde sıralıdır. İlk bahar odunu traheleri 1-2 sıralı, yuvarlak ve saplı meşeden daha küçük, yaz odunu traheleri dar radyal sıralar oluşturur. İlkbahar odunundan yazodununa geçiş anidir. Boyuna paransimler apotraheal dağınık ile apotraheal teğet sıralı olup %4.9 oranındadır. Öz ışınları homojen iki değişik genişlikte, 6-80 mm yükseklikte, dar yıllık halkalarda %44.6 ve geniş yıllık halkalarda %58.1 oranındadır (Merev, 1998).

İşlenme özellikleri yıllık halka genişliğine bağlı olarak değişir. Orta ile şiddetli derecede körleştirme etkisi vardır. Aletler keskin olmalıdır. Çapraz ve düzensiz lifli materyalin planyalanmasında radyal yüzeyler için kesiş açısı 20^0 alınmalıdır. Testerelede optimum kesiş hızı 33 m/sn olmalıdır. Çivileme güç olduğundan ön delme işlemine gerek vardır. Yapıştırılması iyidir, ancak alkali tutkallarla lekelenme meydana gelebilir. Renk verilebilir. Yüzeyler doldurulduktan sonra iyi cila kabul eder. Metallerle temasta mavi renk oluşur. Dermatitis ve astıma neden olabilir (Yaltrık, 1993).

Kurutmanın ilk safhalarında çok yavaş bir program uygulanmalıdır. Çatlamaya ve yarılmaya eğilimi nedeniyle çok yavaş kurutulur. Açık havada kurutmada ince istif lataları kullanılmalı ve enine kesitlerin korunması için önlem alınmalıdır. Fırında kurutmada hızlı kurutma söz konusu olduğundan iç çatlakları ve çarpılmalar görülebilir. Kullanım yerinde stabilitesi orta derecededir (Bozkurt, 1992).

Diri odun az dayanıklı, öz odun dayanıklıdır. Tomruklara böcekler arız olabilir. Diri odun Lyctus ve Anobium'lara hassastır. Binalarda hem diri odun hem de öz oduna Xestobium rufovillosum arız olabilmektedir. Diri odun kolay öz odun son derece güç emprenye edilir (Bozkurt, 1992).

Trahelerin tüllerle tıklalı olması sıvıların geçmesini engellediği için konyak, şarap ve bira fiçilerinin yapımında ideal bir malzemedir. Masif olarak mobilya, küçük gemi yapımında, limanlarda, su içi inşaatlarda, vagon yapımında ve toprakla temas eden her çeşit kullanım yerinde değerlendirilir. Yüksek kalite marangozluk işlerinde, oymacılık, parke, karasör yapımı ve kesme kaplama levhaları olarak mobilya ve lambrielerde kullanılır (Bozkurt ve Erdin, 1989).

2.2 Yöntem

Fiziksel ve mekanik deney örneklerinin hazırlanması TS 2470 ve TS 53'e göre gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaç gövdesinin kökten itibaren 2-4 metre arasındaki 1.5 metrelik kısmından yararlanılmıştır. Ayrılan tomruklar teğet yönde kereste parçalarına biçilmiştir. Daha sonra, elde edilen parçalar açık hava koşullarında doğal kurutmaya bırakılmışlardır. Doğal kurutmaya bırakılan kerestelerin rutubetleri sürekli olarak kontrol edilerek Lif Doygunluk Noktasına ulaşmaları beklenmiştir. Lif Doygunluk Noktasına ulaştıktan sonra parçalar planya, kalınlık ve daire testere makinelerinde işlenerek her deney türü için söz konusu olan testin stveartlarında hazırlanmıştır. Odunun kendi bünyesinden kaynaklanan farklılıkları en aza indirmek için deney ve kontrol örneklerinin gövde eksenini boyunca birbirini izleyen ve aynı yıllık halkaları içeren kısımlardan elde edilmesine özellikle dikkat edilmiştir.

Isıl işlem uygulaması 3 ayrı sıcaklık (120-150-180°C) ve 3 ayrı süre (2-6-10 saat) kombinasyonu ile toplam 9 varyasyonda, sıcaklığı ± 1 °C duyarlılıkta kontrol edilebilen bir etüvde normal atmosfer ortamında gerçekleştirilmiştir.

Isıl işlemden sonra örnekler 20 ± 2 °C ve %65 bağıl nemde iklimlendirme odasında bekletilerek rutubetlerinin %12'ye gelmesi sağlanmıştır (TS 642).

Gerek fiziksel özellikler gerekse mekanik özellikler için hem kontrol hem de ısıtım işlem varyasyonlarının her biri için 30'ar adet deney örneği kullanılmıştır.

Tam kuru yoğunluk değerleri kontrol örneklelerinde 103±2°C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulan 2x2x3 cm ebatındaki örneklelerde tespit edilmiştir. Diğer deney örneklelerinde tam kuru yoğunluk değerleri ısıtım işlem uygulamasından hemen sonra tespit edilmiştir. Tam kuru yoğunluğun tespit edilmesinde aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır (TS 2472).

$$\delta_o = \frac{M_o}{V_o}$$

Bu eşitlikte;

δ_o : Tam kuru yoğunluk (g/cm³)

M_o : Tam kuru ağırlık (g)

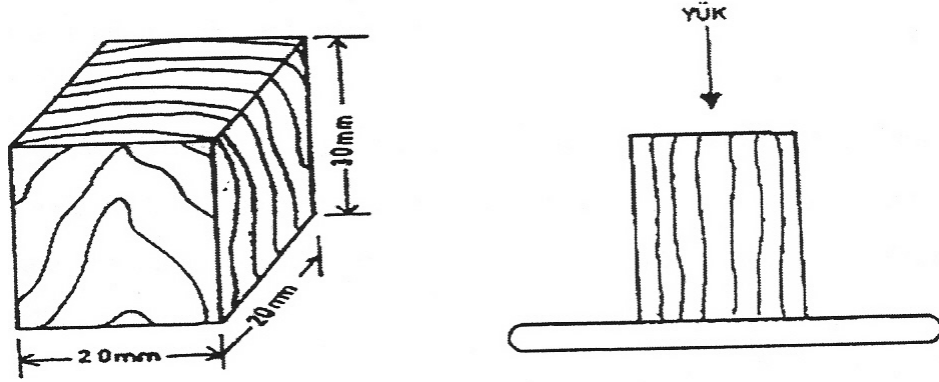
V_o : Tam kuru hacim (cm³)

Genişleme değerleri ise 2x2x3 cm ebatındaki ısıtım işlem uygulanmış örneklelerde ve kontrol örneklelerinde TS 4084'e göre belirlenmiştir.

Mekanik özelliklerden basınç direnci TS 2595, eğilme direnci TS 2474 ve eğilmede elastikiyet modülü TS 2478'e göre belirlenmiştir.

Liflere paralel basınç direnci deneyleri TS 2595'e göre yürütülmüştür. Deney ve kontrol örneklelerinin aynı yıllık halkaları içeren kısımlardan elde edilmesine zen gösterilmiştir. 2x2x3 cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında her bir varyasyon için 30 adet test ve 30 adet kontrol örneği hazırlanmıştır. Deneylerden önce denge rutubetine getirilen örneklelerin enine kesit boyutları ve lif yönündeki uzunlukları

0.001 mm ve ağırlıkları ise 0.01 gr duyarlıkta ölçülmüştür. Deneyin uygulanma şekli ve örnek boyutları Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Liflere Paralel Basınç Direnci Örneklerinin Şekli, Boyutları ve Yükün Uygulanması

Deney 10 tonluk üniversal test makinesinde yapılmıştır. Deney hızı örnekler makinede 1.5-2 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış olup kırılma anındaki kuvvet (F_{max}) ölçülmüştür. Liflere paralel basınç direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\beta} = \frac{F_{max}}{a \times b} \quad \text{kp/cm}^2$$

Eşitlikte;

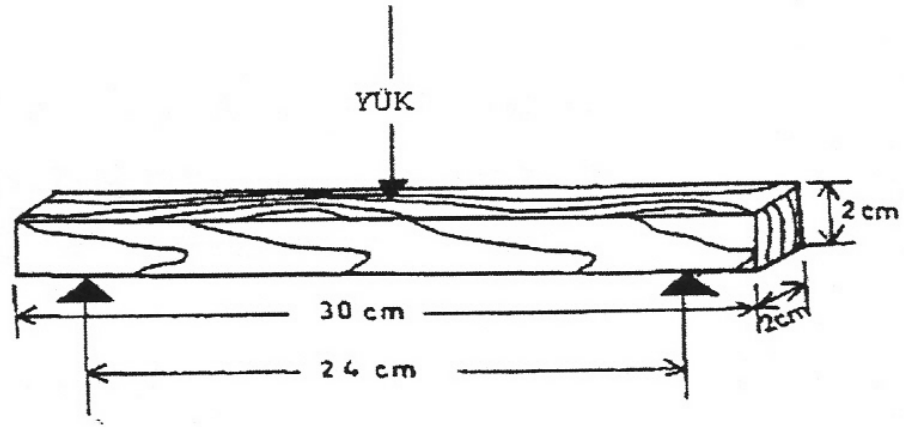
σ_{β} = Liflere paralel basınç direnci (kp / cm²)

F_{max} = Kırılma anındaki kuvvet (kp)

a = Örnek genişliği (cm)

b = Örnek kalınlığı (cm)'dir.

Statik eğilme direnci deneyleri TS 2474'deki genel esaslara uyularak yürütülmüştür. 2x2x36 cm (teğet x radyal x lifler yönü) boyutlarında her bir varyasyon için 30 adet test ve 30 adet kontrol olmak üzere hazırlanan örneklerin rutubetleri iklimlendirme işlemleri yapılarak yaklaşık %12'ye getirilmiştir. Örneklerin boyutları radyan yönü en, teğet yönü de kalınlık alınmak suretiyle 0.01 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Deneyin uygulanma şekli ve örnek boyutları Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Statik Eğilme Direnci Örneklerinin Şekli, Boyutları ve Yükün Uygulanması

Örnekler 10 tonluk üniversal test makinasına 24 cm dayanak açıklığı kullanılarak yerleştirilmiştir. Teğet yöndeki direnci belirlemek üzere radyal yüzeye tam ortadan yük uygulanmış ve 1.5 ± 0.5 dakikada kırılmasını sağlayacak deney hızıyla çalışılmıştır. Kırılma anındaki maksimum kuvvet (F_{max}) ± 1 kp duyarlılıkta ölçülerek eğilme direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L_s}{2 \times a \times b^2} \text{ kp/cm}^2$$

Eşitlikte;

σ_e = Eğilme direnci (kp / cm²)

F = Kırılma anındaki kuvvet (kp)

L_s = Dayanak açıklığı (cm)

a = Örnek genişliği (cm)

b = Örnek kalınlığı (cm)'dir.

Eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesinde eğilme direnci deney örneklerinden yararlanılmış ve TS 2478 esaslarına göre yürütülmüştür. Örnekler 10 tonluk universal test makinasında gerçekleştirilmiştir. Eğilme miktarının yükle doğru orantılı olarak arttığı elastiklik sınırına kadarki eğilme miktarlarının ortalaması alınmış ve eğilmeye neden olan yük farkı yardımıyla eğilmede elastikiyet modülü aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$E = \frac{F \times L_s^3}{4 \times b \times h^3 \times f} \text{ kp/cm}^2$$

Eşitlikte;

E = Elastikiyet modülü (kp / cm²)

F = Elastik bölgedeki kuvvet (kp)

$L_s = \text{Dayanak açıklığı} - 24 \text{ cm (cm)}$

$f = \text{Eğilme miktarı (cm)}$

$b = \text{Örnek genişliği (cm)}$

$h = \text{Örnek yüksekliği (cm)'} \text{dir.}$

Deneylemlerden sonra her bir örneğin rutubet miktarı kırılma bölgesine yakın kısımlardan alınan 2x2x3 cm boyutlarında örnekler yardımıyla belirlenmiştir.

Mekanik özellikler belirlendikten sonra her bir deney örneğinin rutubet içeriği TS 2471'e göre tespit edilerek %12'den sapma olup olmadığı saptanmıştır. Sapmanın söz konusu olması durumunda direnç değerlerini %12 rutubette hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılarak direnç değerlerini dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiştir.

$$\delta_{12} = \delta_m * [1 + \alpha (M_2 - 12)]$$

Burada $\delta_{12} = \text{\%12 rutubetteki direnç değeri (N/mm}^2\text{)}$, $\delta_m = \text{\%12'den farklı rutubetteki direnç değeri (N/mm}^2\text{)}$, $\alpha = \text{direnç ve rutubet arasındaki ilişkiyi gösteren sabit değer } (\alpha=0.05, 0.04, 0.02, \text{ sırasıyla } \sigma_\beta, \sigma_e, E)$ $M_2 = \text{test esnasındaki rutubet içeriği (\%)}$.

Isıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak kontrol örnekleri ile ısıl işlem uygulanmış örnekler arasında istatistiksel anlamda farklılık olup olmadığı varyans analizi ve Duncan testi yapılarak kontrol edilmiştir.

3. BULGULAR

3.1 Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

Çizelge 1’de Meşe’de tam kuru yoğunluk değerine ait kontrol ve ısıtma işlemi uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel veriler verilmiştir.

Çizelge 1. Tam Kuru Yoğunluk İstatistiksel Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Stevart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	gr/cm ³	gr/cm ³	
Kontrol		0.716	0.088	0.007	12.389	0.921	0.582	30
120°C	2 saat	0.710	0.090	0.008	12.762	1.064	0.582	30
	6 saat	0.709	0.064	0.004	9.116	0.839	0.5714	30
	10 saat	0.707	0.072	0.005	10.296	0.820	0.555	30
150°C	2 saat	0.696	0.056	0.003	8.109	0.789	0.559	30
	6 saat	0.690	0.078	0.006	11.378	0.865	0.551	30
	10 saat	0.661	0.062	0.003	9.436	0.785	0.573	30
180°C	2 saat	0.660	0.060	0.003	9.103	0.754	0.550	30
	6 saat	0.658	0.071	0.005	10.899	0.818	0.545	30
	10 saat	0.634	0.035	0.001	5.5839	0.710	0.575	30

Çizelge 2’de tam kuru yoğunluk değerine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 2. Tam Kuru Yoğunluk Değeri'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Tüm Varyans	Varyans	F Oranı 95%	F Oranı 99%	Önem Seviyesi
Örnekler Arası	9	0.21971737	0.024413	4.99674938	4.99674938	(%) S* (%) S**
Örnekler İçi	290	1.41687755	0.0048858	>	>	
Toplam	299	1.63659492		1.938	2.511	

Varyans analizi Çizelgesinin incelenmesinden, $F_{\text{hesap}} = 4.99674938 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{\text{hesap}} = 4.99674938 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının tam kuru yoğunluk üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtma işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak tam kuru yoğunluk arasındaki farkın hangi gruplar arasında önemli olup olmadığını ortaya koymak için yapılan Duncan testi sonucu ise Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Tam Kuru Yoğunluk Değeri 'ne Ait Duncan Testi

	120 C 2 Saat	120 C 6 Saat	120 C 10 Saat	150 C 2 Saat	150 C 6 Saat	150 C 10 Saat	180 C 2 Saat	180 C 6 Saat	180 C 10 Saat
Kontrol	0.00658388	0.00777961	0.00986441	0.02038727	0.02663562	0.05583210	0.05642511	0.05863236	0.08241755
Rp	0.03573259	0.03760855	0.03885919	0.03976527	0.04047992	0.0410542	0.04152638	0.04194751	0.04229207
120 C 2 Saat		0.00119572	0.00328053	0.01380339	0.02005173	0.04924821	0.04984123	0.05204847	0.07583366
Rp		0.03573259	0.03760855	0.03885919	0.03976527	0.04047992	0.0410542	0.04152638	0.04194751
120 C 6 Saat			0.00208480	0.01260766	0.01885601	0.04805249	0.04864550	0.05085275	0.07463794
Rp			0.03573259	0.03760855	0.03885919	0.03976527	0.04047992	0.0410542	0.04152638
120 C 10 Saat				0.01052286	0.01677120	0.04596768	0.04656069	0.04876794	0.07255313
Rp				0.03573259	0.03760855	0.03885919	0.03976527	0.04047992	0.0410542
150 C 2 Saat					0.00624834	0.03544482	0.03603783	0.03824508	0.06203027
Rp					0.03573259	0.03760855	0.03885919	0.03976527	0.04047992
150 C 6 Saat						0.02919647	0.02978949	0.03199674	0.05578192
Rp						0.03573259	0.03760855	0.03885919	0.03976527
150 C 10 Saat							0.00059301	0.00280026	0.02658544
Rp							0.03573259	0.03760855	0.03885919
180 C 2 Saat								0.00220724	0.02599243
Rp								0.03573259	0.03760855
180 C 6 Saat									0.02378518
Rp									0.03573259

Çizelge 3 incelenirse; kontrol örneklerinin tam kuru yoğunluk değeri 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri arasında; 120°C 2 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri ile 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin tam

kuru yoğunluk değeri arasında; 120°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri ile 150°C 10 saat,180°C 2,6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri arasında; 120°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri ile 150°C 10 saat,180°C 2,6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri arasında; 150°C 2 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri ile 150°C 10 saat,180°C 2,6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri arasında;150°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri ile 150°C 10 saat,180°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri arasında istatistiksel anlamda farklıdır.

Çizelge 4’de Meşe’de radyal genişleme değerine ait kontrol ve ısıtım uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 4.Radyal Genişleme İstatistiksel Verileri

Isıtım İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Stevart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	%	%	
Kontrol		5.767	0.976	0.953	16.932	7.540	2.724	30
120°C	2 saat	5.557	0.996	0.993	17.938	7.089	1.632	30
	6 saat	5.497	1.032	1.066	18.781	8.607	3.728	30
	10 saat	5.155	0.807	0.652	15.671	7.494	3.917	30
150°C	2 saat	5.131	0.944	0.891	18.399	7.525	2.646	30
	6 saat	4.875	0.858	0.737	17.609	6.356	2.619	30
	10 saat	4.788	0.846	0.716	17.676	6.725	3.122	30
180°C	2 saat	4.691	0.761	0.580	16.234	6.407	3.019	30
	6 saat	4.351	0.786	0.618	18.08	5.88	2.747	30
	10 saat	3.946	0.614	0.377	15.565	5.183	3.106	30

Çizelge 5’de radyal genişleme değerine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 5. Radyal Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Tüm Varyans	Varyans	F Oranı 95%	F Oranı 99%	Önem Seviyesi
Örnekler Arası	9	86.07366	9.56374	12.60312	12.60312	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	220.0633	0.758839	>	>	
Toplam	299	306.137		1.938	2.511	

Varyans analizi Çizelgesinin incelenmesinden, $F_{\text{hesap}} = 12.60312 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{\text{hesap}} = 12.60312 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının radyal genişleme üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtma işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak radyal genişleme arasındaki farkın hangi gruplar arasında önemli olup olmadığını ortaya koymak için yapılan Duncan testi sonucu ise Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Radyal Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi

DUNCAN TESTİ									
	120 C 2 Saat	120 C 6 Saat	120 C 10 Saat	150 C 2 Saat	150 C 6 Saat	150 C 10 Saat	180 C 2 Saat	180 C 6 Saat	180 C 10 Saat
Kontrol	0.2099673	0.26973737	0.61211279	0.63562189	0.8923505	0.9788088	1.07576655	1.41631998	1.82071999
Rp	0.44532	0.46869931	0.48428551	0.49557756	0.504484	0.5116409	0.51752547	0.52277388	0.52706804
120 C 2 Saat		0.05977004	0.40214546	0.42565456	0.6823831	0.7688414	0.86579922	1.20635265	1.61075266
Rp		0.44532001	0.46869931	0.48428551	0.4955776	0.504484	0.51164089	0.51752547	0.52277388
120 C 6 Saat			0.34237542	0.36588452	0.6226131	0.7090714	0.80602918	1.14658260	1.55098262
Rp			0.44532001	0.46869931	0.4842855	0.4955776	0.50448396	0.51164088	0.51752547
120 C 10 Saat				0.0235091	0.2802377	0.366696	0.46365376	0.80420718	1.2086072
Rp				0.44532001	0.4686993	0.4842855	0.49557756	0.50448395	0.51164088
150 C 2 Saat					0.2567286	0.3431869	0.44014466	0.78069809	1.18509810
Rp					0.44532	0.4686993	0.48428551	0.49557755	0.50448395
150 C 6 Saat						0.0864583	0.1834161	0.52396952	0.92836953
Rp						0.44532	0.46869931	0.48428551	0.49557755
150 C 10 Saat							0.09695779	0.43751122	0.84191123
Rp							0.44532001	0.46869931	0.48428551
180 C 2 Saat								0.34055342	0.74495344
Rp								0.44532001	0.46869931
180 C 6 Saat									0.40440001
Rp									0.44532001

Çizelge 6 incelenirse; kontrol örneklerinin radyal genişleme değeri ile 120°C 10 saat, 150°C 2,6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında; 120°C 2 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri ile 150°C 6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında; 120°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri ile 150°C 6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında; 120°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri ile 180°C 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında; 150°C 2,6 ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri ile 180°C 6 ve 10 uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında; 150°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri ile 180°C 10 saat uygulanmış örneklerin radyal

genişleme değeri arasında 180°C 2 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri ile 180°C 10 saat uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında istatistiksel anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 7'de Meşe'de teğet genişleme değerine ait kontrol ve ısıtım işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 7. Teğet Genişleme İstatistiksel Verileri

Isıtım İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Stevart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	%	%	
Kontrol		9.576	2.596	6.743	27.115	17.895	1.702	30
120°C	2 saat	9.047	1.366	1.865	15.098	11.567	6.236	30
	6 saat	9.044	2.099	4.408	23.214	17.291	5.419	30
	10 saat	8.42	2.124	4.513	25.231	13.282	4.369	30
150°C	2 saat	8.15	1.052	1.107	12.912	12.574	6.856	30
	6 saat	8.085	1.866	3.482	23.079	12.05	2.812	30
	10 saat	7.405	2.06	4.245	27.822	11.653	4.002	30
180°C	2 saat	7.065	1.671	2.793	23.657	10.769	2.417	30
	6 saat	6.873	1.417	2.007	20.616	12.598	5.502	30
	10 saat	6.151	1.253	1.572	20.383	10.367	4.319	30

Çizelge 8'de teğet genişleme değerine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 8. Teğet Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Tüm Varyans	Varyans	F Oranı 95%	F Oranı 99%	Önem Seviyesi
Örnekler Arası	9	323.7977	35.97752	10.98846	10.98846	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	949.4945	3.274119	>	>	
Toplam	299	1273.292		1.938	2.511	

Varyans analizi Çizelgesinin incelenmesinden, $F_{\text{hesap}} = 10.98846 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{\text{hesap}} = 10.98846 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının teğet genişleme üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtma işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak teğet genişleme arasındaki farkın hangi gruplar arasında önemli olup olmadığını ortaya koymak için yapılan Duncan testi sonucu ise Çizelge 9 da verilmiştir.

Çizelge 9. Teğet Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi

DUNCAN TESTİ									
	120 C 2 Saat	120 C 6 Saat	120 C 10 Saat	150 C 2 Saat	150 C 6 Saat	150 C 10 Saat	180 C 2 Saat	180 C 6 Saat	180 C 10 Saat
Kontrol	0.5293326	0.5324006	1.1564682	1.4259322	1.490972	2.1714103	2.5113912	2.7035195	3.4258233
Rp	0.9250062	0.973569	1.0059442	1.0293997	1.0478998	1.062766	1.0749893	1.0858912	1.0948109
120 C 2 Saat		0.003068	0.6271356	0.8965995	0.9616393	1.6420777	1.9820585	2.1741869	2.8964907
Rp		0.9250062	0.973569	1.0059442	1.0293997	1.0478998	1.062766	1.0749893	1.0858912
120 C 6 Saat			0.6240676	0.8935316	0.9585713	1.6390097	1.9789905	2.1711189	2.8934227
Rp			0.9250062	0.973569	1.0059442	1.0293997	1.0478998	1.062766	1.0749893
120 C 10 Saat				0.269464	0.3345038	1.0149421	1.354923	1.5470513	2.2693551
Rp				0.9250062	0.973569	1.0059442	1.0293997	1.0478998	1.062766
150 C 2 Saat					0.0650398	0.7454781	1.085459	1.2775874	1.9998912
Rp					0.9250062	0.973569	1.0059442	1.0293997	1.0478998
150 C 6 Saat						0.6804383	1.0204192	1.2125476	1.9348514
Rp						0.9250062	0.973569	1.0059442	1.0293997
150 C 10 Saat							0.3399809	0.5321092	1.254413
Rp							0.9250062	0.973569	1.0059442
180 C 2 Saat								0.1921284	0.9144322
Rp								0.9250062	0.973569
180 C 6 Saat									0.7223038
Rp									0.9250062

Çizelge 9 incelenirse; kontrol örneklerinin teğet genişleme değeri ile 120°C 10 saat, 150°C 2,6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında; 120°C 2 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış

örneklerin teğet genişleme değeri arasında; 120°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında; 120°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında; 150°C 2 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında; 150°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında; 150°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile 180°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında istatistikî anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 10'da Meşe'de boyuna genişleme değerine ait kontrol ve ısıtım uygulanmış örneklerle ilgili istatistikî değerler verilmiştir.

Çizelge 10. Boyuna Genişleme İstatistikî Verileri

Isıtım İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Stveart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	%	%	
Kontrol		1.072	0.311	0.096	28.998	1.656	0.570	30
120°C	2 saat	0.975	0.325	0.105	33.355	1.887	0.618	30
	6 saat	0.963	0.276	0.076	28.698	1.550	0.545	30
	10 saat	0.864	0.132	0.017	15.292	1.098	0.581	30
150°C	2 saat	0.844	0.193	0.037	22.974	1.368	0.552	30
	6 saat	0.817	0.172	0.029	21.089	1.333	0.536	30
	10 saat	0.808	0.152	0.023	18.898	1.199	0.535	30
180°C	2 saat	0.773	0.210	0.044	27.228	1.272	0.144	30
	6 saat	0.763	0.230	0.053	30.171	1.541	0.406	30
	10 saat	0.730	0.225	0.051	30.949	0.961	0.077	30

Çizelge11’de boyuna genişleme değerine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 11. Boyuna Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesu						
Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Tüm Varyans	Varyans	F Oranı 95%	F Oranı 99%	Önem Seviyesi
Örnekler Arası	9	3.235695	0.359522	6.71038	6.71038	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	15.53732	0.053577	>	>	
Toplam	299	18.77301		1.938	2.511	

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden, $F_{\text{hesap}} = 6.71038 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{\text{hesap}} = 6.71038 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının boyuna genişleme üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtma işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak boyuna genişleme arasındaki farkın hangi gruplar arasında önemli olup olmadığını ortaya koymak için yapılan Duncan testi sonucu ise Çizelge 12’de verilmiştir.

Çizelge 12. Boyuna Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi

DUNCAN TESTİ									
	120 C 2 Saat	120 C 6 Saat	120 C 10 Saat	150 C 2 Saat	150 C 6 Saat	150 C 10 Saat	180 C 2 Saat	180 C 6 Saat	180 C 10 Saat
Kontrol	0.0972209	0.1091247	0.2081457	0.2285792	0.2556246	0.2641211	0.2998066	0.3093356	0.3426301
Rp	0.1183277	0.1245399	0.1286814	0.1316818	0.1340484	0.1359501	0.1375137	0.1389083	0.1400493
120 C 2 Saat		0.0119038	0.1109248	0.1313583	0.1584037	0.1669002	0.2025856	0.2121146	0.2454092
Rp		0.1183277	0.1245399	0.1286814	0.1316818	0.1340484	0.1359501	0.1375137	0.1389083
120 C 6 Saat			0.099021	0.1194545	0.1464999	0.1549964	0.1906818	0.2002108	0.2335054
Rp			0.1183277	0.1245399	0.1286814	0.1316818	0.1340484	0.1359501	0.1375137
120 C 10 Saat				0.0204335	0.047479	0.0559755	0.0916609	0.1011899	0.1344844
Rp				0.1183277	0.1245399	0.1286814	0.1316818	0.1340484	0.1359501
150 C 2 Saat					0.0270454	0.0355419	0.0712274	0.0807564	0.1140509
Rp					0.1183277	0.1245399	0.1286814	0.1316818	0.1340484
150 C 6 Saat						0.0084965	0.0441819	0.0537109	0.0870055
Rp						0.1183277	0.1245399	0.1286814	0.1316818
150 C 10 Saat							0.0356854	0.0452144	0.078509
Rp							0.1183277	0.1245399	0.1286814
180 C 2 Saat								0.009529	0.0428235
Rp								0.1183277	0.1245399
180 C 6 Saat									0.0332945
Rp									0.1183277

Çizelge 12 incelenirse; kontrol örneklerinin boyuna genişleme değeri ile, 120°C 10 saat, 150°C 2,6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri arasında; 120°C 2 saat ısıtım uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri ile 150°C 2,6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri arasında; 120°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri ile 150°C 6 ve 10 saat 180°C 2,6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri arasında istatistiksel anlamda fark olduğu görülecektir.

3.2 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

Çizelge 13'de Meşe'de basınç direncine ait kontrol ve ısıtma işlemi uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 13. Basınç Direnci İstatistiksel Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Stevart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	N/mm ²	N/mm ²	
Kontrol		64.08	12.232	149.624	19.088	96.6	41.575	30
		63.145	12.742	162.383	20.180	88.3	41.1	30
120°C	2 saat	61.280	8.376	70.170	13.669	77.65	47.225	30
	6 saat	61.221	9.543	91.083	15.588	75.65	43.05	30
	10 saat	60.426	9.212	84.862	15.245	88.05	39.55	30
150°C	2 saat	59.867	11.011	121.258	18.393	92.225	39.875	30
	6 saat	59.417	9.833	96.705	16.550	78.875	43.375	30
	10 saat	56.648	16.805	282.440	29.667	91.2	6.625	30
180°C	2 saat	56.563	12.535	157.126	22.161	78.625	6.718	30
	6 saat	50.424	7.757	60.174	15.383	72.075	39.775	30
	10 saat							

Çizelge 14'de basınç direncine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 14. Basınç Direnci'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Tüm Varyans	Varyans	F Oranı 95%	F Oranı 99%	Önem Seviyesi
Örnekler Arası	9	4204.274	467.1416	3.661475	3.661475	(%95) S*
Örnekler İçi	290	36999.04	127.5829	>	>	
Toplam	299	41203.31		1.938	2.511	(%99) S**

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden. $F_{hesap} = 3.661475 > F_{0.01; 9; 90} = 2.511$ ve $F_{hesap} = 3.661475 > F_{0.05; 9; 90} = 1.938$ olduğundan %99 ve %95 güven

seviyesinde ısıtım işlem süresi ve sıcaklığının basınç direnci üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtım işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak basınç direnci arasındaki farkın hangi gruplar arasında önemli olup olmadığını ortaya koymak için yapılan Duncan testi sonucu ise Çizelge 15’de verilmiştir.

Çizelge 15. Basınç Direnci'ne Ait Duncan Testi

DUNCAN TESTİ									
	120 C 2 Saat	120 C 6 Saat	120 C 10 Saat	150 C 2 Saat	150 C 6 Saat	150 C 10 Saat	180 C 2 Saat	180 C 6 Saat	180 C 10 Saat
Kontrol	0.935	2.799166	2.8581667	3.653333	4.212233	4.6629	7.431433	7.516666	13.655166
Rp	5.774223	6.077370	6.2794684	6.425886	6.541370	6.6341707	6.710472	6.778526	6.8342062
120 C 2 Saat		1.864166	1.9231667	2.718333	3.277233	3.7279	6.496433	6.581666	12.720166
Rp		5.774223	6.0773705	6.279468	6.425886	6.5413707	6.634170	6.710472	6.7785262
120 C 6 Saat			0.059	0.854166	1.413066	1.8637333	4.632266	4.7175	10.856
Rp			5.7742238	6.077370	6.279468	6.4258862	6.541370	6.634170	6.7104729
120 C 10 Saat				0.795166	1.354066	1.8047333	4.573266	4.6585	10.797
Rp				5.774223	6.077370	6.2794684	6.425886	6.541370	6.6341706
150 C 2 Saat					0.5589	1.0095667	3.7781	3.863333	10.001833
Rp					5.774223	6.0773705	6.279468	6.425886	6.5413706
150 C 6 Saat						0.4506667	3.2192	3.304433	9.4429333
Rp						5.7742238	6.077370	6.279468	6.4258861
150 C 10 Saat							2.768533	2.853766	8.9922666
Rp							5.774223	6.077370	6.2794683
180 C 2 Saat								0.085233	6.2237333
Rp								5.774223	6.0773705
180 C 6 Saat									6.1385
Rp									5.7742237

Çizelge 15 incelenirse; kontrol örneklerinin basınç direnci ile 180°C 2. 6 ve 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin basınç dirençleri arasında; 120°C 2 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin basınç direnci ile 180°C 2 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin basınç dirençleri arasında; 120°C 6 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin basınç direnci ile 180°C 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin basınç dirençleri

arasında; 120°C 10 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin basınç direnci ile 180°C 10 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin basınç dirençleri arasında; 150°C 2. 6 ve 10 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin basınç direnci ile 180°C 10 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin basınç direnci arasında; 180°C 2 ve 6 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin basınç direnci ile 180°C 10 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin basınç direnci arasında istatistiki anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 16'de Meşe'de eğilme direncine ait kontrol ve ısıtıl işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiki değerler verilmiştir.

Çizelge 16. Eğilme Direnci İstatistiki Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Stveart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	N/mm ²	N/mm ²	
Kontrol		132.22	33.061	1093.075	25.005	196.9	62.8	30
120°C	2 saat	125.4	27.308	745.755	21.777	175	60.8	30
	6 saat	122.63	32.684	3.210689	26.653	182.7	64.7	30
	10 saat	120.52	29.461	867.9954	24.445	197.8	69.5	30
150°C	2 saat	115.106	37.259	1388.26	32.369	177.1	13.8	30
	6 saat	114.876	37.528	1408.351	32.668	204.1	55.2	30
	10 saat	106.4	27.066	732.6028	25.438	161.9	36.7	30
180°C	2 saat	105.166	33.108	1096.149	31.481	188.6	41.8	30
	6 saat	101.44	27.091	733.9349	26.706	175.7	52.9	30
	10 saat	85.523	26.430	698.5494	30.903	169.7	52	30

Çizelge 17'de eğilme direncine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 17. Eğilme Direnci'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik	Tüm	Varyans	F Oranı	F Oranı	Önem
	Derecesi	Varyans		95%	99%	Seviyesi
Örnekler Arası	9	50216.59	5579.621	5.674403	5.674403	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	285156	983.2965	>	>	
Toplam	299	335372.6		1.938	2.511	

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden. $F_{\text{hesap}} = 5.674403 > F_{0.01; 9;90} = 2.511$ ve $F_{\text{hesap}} = 5.674403 > F_{0.05; 9;90} = 1.938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının eğilme direnci üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtma işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak eğilme direnci arasındaki farkın hangi gruplar arasında önemli olup olmadığını ortaya koymak için yapılan Duncan testi sonucu ise Çizelge 18'de verilmiştir.

Çizelge 18. Eğilme Direnci 'ne Ait Duncan Testi

DUNCAN TESTİ									
	120 C 2 Saat	120 C 6 Saat	120 C 10 Saat	150 C 2 Saat	150 C 6 Saat	150 C 10 Saat	180 C 2 Saat	180 C 6 Saat	180 C 10 Saat
Kontrol	6.82	9.59	11.7	17.11333	17.34333	25.82	27.05333	30.78	46.696667
Rp	16.03022	16.87181	17.432871	17.83935	18.15995	18.417585	18.62941	18.81834	18.972918
120 C 2 Saat		2.77	4.88	10.29333	10.52333	19	20.23333	23.96	39.876667
Rp		16.03022	16.871813	17.43287	17.83935	18.159956	18.41758	18.62941	18.81834
120 C 6 Saat			2.11	7.523333	7.753333	16.23	17.46333	21.19	37.106667
Rp			16.030226	16.87181	17.43287	17.839352	18.15995	18.41758	18.629413
120 C 10 Saat				5.413333	5.643333	14.12	15.35333	19.08	34.996667
Rp				16.03022	16.87181	17.432871	17.83935	18.15995	18.417585
150 C 2 Saat					0.23	8.7066667	9.94	13.66666	29.583333
Rp					16.03022	16.871813	17.43287	17.83935	18.159956
150 C 6 Saat						8.4766667	9.71	13.43666	29.353333
Rp						16.030226	16.87181	17.43287	17.839352
150 C 10 Saat							1.233333	4.96	20.876667
Rp							16.03022	16.87181	17.432871
180 C 2 Saat								3.726666	19.643333
Rp								16.03022	16.871813
180 C 6 Saat									15.916667
Rp									16.030226

Çizelge 18 incelenirse; kontrol örneklerinin eğilme direnci ile 150°C 10 saat. 180°C 2. 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 120°C 2 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 150°C 10 saat. 180°C 2. 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 120°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 180°C 2. 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 120°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 180°C 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 150°C 2.6ve10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 180°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme direnci arasında; 180°C 2 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile.180°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilme direnci arasında istatistiksel anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 19’da Meşe’de eğilmeye elastikiyet modülüne ait kontrol ve ısı işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistikî değerler verilmiştir.

Çizelge 19. Eğilmeye Elastikiyet Modülü İstatistikî Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Stveart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	N/mm ²	N/mm ²	
Kontrol		13882.234	1254.9082	157479458	90.396705	79449	7866.59	30
120°C	2 saat	11679.322	1147.6737	131715484	98.265	71222.787	2483.413	30
	6 saat	11163.483	1481.2653	219414687	132.688	88822.93	5448.527	30
	10 saat	11129.823	3306.646	10933911	29.709	19520.81	7640.607	30
150°C	2 saat	8842.5835	1287.753	1658309.8	14.563	10994.72	6133.863	30
	6 saat	8713.3287	1726.8715	2982085.3	19.818	11963.46	4814.763	30
	10 saat	8661.9152	1986.3746	3945684.1	22.932	12561.73	4157.11	30
180°C	2 saat	8362.9093	2065.3557	4265694	24.696	13755.5	5457.727	30
	6 saat	7994.0129	2301.491	5296864.1	28.790	15926.4	5581.487	30
	10 saat	7553.9589	1532.246	2347779.7	20.284	10225.4	3417.507	30

Çizelge 20’de eğilmeye elastikiyet modülüne ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 20. Eğilmeye Elastikiyet Modülü 'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Tüm Varyans	Varyans	F Oranı 95%	F Oranı 99%	Önem Seviyesi
Örnekler Arası	9	1127646846	125294094	2.320089	2.320089	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	15661158768	54003996	>	>	
Toplam	299	16788805614		1.938	2.511	

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden. $F_{hesap} = 2.320089 > F_{0.01; 9; 90} = 2.511$ ve $F_{hesap} = 2.320089 > F_{0.05; 9; 90} = 1.938$ olduğundan %99 ve %95 güven

seviyesinde ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtma işlem süresi ve sıcaklığına bağlı olarak eğilmede elastikiyet modülü arasındaki farkın hangi gruplar arasında önemli olup olmadığını ortaya koymak için yapılan Duncan testi sonucu ise Çizelge 21’de verilmiştir.

Çizelge 21. Eğilmede Elastikiyet Modülü 'ne Ait Duncan Testi

DUNCAN TESTİ									
	120 C 2 Saat	120 C 6 Saat	120 C 10 Saat	150 C 2 Saat	150 C 6 Saat	150 C 10 Saat	180 C 2 Saat	180 C 6 Saat	180 C 10 Saat
Kontrol	2202.9123	2718.751	2752.4105	5039.65033	5168.9051	5220.3186	5519.3245	5888.2209	6328.2749
Rp	3756.7332	3953.9617	4085.44733	4180.70735	4255.842	4316.2181	4365.8606	4410.1364	4446.3621
120 C 2 Saat		515.83873	549.498233	2836.73806	2965.9929	3017.4063	3316.4122	3685.3087	4125.3626
Rp		3756.7332	3953.96167	4085.44733	4180.7074	4255.842	4316.2181	4365.8606	4410.1364
120 C 6 Saat			33.6595	2320.89933	2450.1541	2501.5676	2800.5735	3169.4699	3609.5239
Rp			3756.73318	3953.96167	4085.4473	4180.7074	4255.842	4316.2181	4365.8606
120 C 10 Saat				2287.23983	2416.4946	2467.9081	2766.914	3135.8104	3575.8644
Rp				3756.73318	3953.9617	4085.4473	4180.7074	4255.842	4316.2181
150 C 2 Saat					129.2548	180.66823	479.67417	848.5706	1288.6245
Rp					3756.7332	3953.9617	4085.4473	4180.7074	4255.842
150 C 6 Saat						51.413433	350.41937	719.3158	1159.3697
Rp						3756.7332	3953.9617	4085.4473	4180.7074
150 C 10 Saat							299.00593	667.90237	1107.9563
Rp							3756.7332	3953.9617	4085.4473
180 C 2 Saat								368.89643	808.95037
Rp								3756.7332	3953.9617
180 C 6 Saat									440.05393
Rp									3756.7332

Çizelge 21 incelenirse; kontrol örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü ile 150°C 2.6 ve 10 saat. 180°C 2. 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü arasında istatistiki anlamda fark olduğu görülecektir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tüm fiziksel ve mekanik değerlerde maksimum azalma, 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde meydana gelmiştir. En az azalma ise; 120⁰C’de 2 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde vuku bulmuştur. Buradan; fiziksel ve mekanik özelliklerin, ısıtım işlemde uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

Çalışma sonucunda kontrol örneğinin tam kuru yoğunluk değeri 0.716 gr/cm³ iken; 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde, bu değer %11.5’lik bir azalma ile 0.634 gr/cm³’e, kontrol örneğinin radyal genişleme değeri %5.767 iken; 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer, %31.57’lik bir azalma ile %3.946’ya, kontrol örneğinin teğet genişleme değeri %9.576 iken; 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer, %35.77’lik bir azalma ile %6.151’e, kontrol örneğinin boyuna genişleme değeri %1.072 iken; 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer, %31.94’lük bir azalma ile %0.730’a, kontrol örneğinin basınç direnci 64.08 N/mm² iken; 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer, %21.31’lik bir azalma ile 50.42 N/mm²’ye, kontrol örneğinin eğilme direnci 132.22 N/mm² iken; 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer, %35.32’lik bir azalma ile 85.52 N/mm²’ye ve kontrol örneğinin eğilmede elastikiyet modülü 13882.234 N/mm² iken; 180⁰C’de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer, %45.58’lik bir azalma ile 7553.959 N/mm²’ye düşmüştür.

Çizelge 22’de ısıtıl işlemde uygulanan sıcaklık ve süreye bağılı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen % azalma değerleri verilmiştir.

Çizelge 22. Isıtıl işlemde uygulanan sıcaklık ve süreye bağılı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen azalma

Isıtıl işlem	Süre	Basınç Direnci	Eğilme Direnci	Eğilmede Elastikiyet Modülü	Tam kuru Yoğunluk	Genişleme		
						Radyal	Teğet	Boyuna
		%	%	%	%	%	%	%
120°C	2 saat	1.459	5.158	15.868	0.918	3.64	5.527	9.062
	6 saat	4.368	7.253	19.584	1.085	4.677	5.559	10.17
	10 saat	4.460	8.848	19.826	1.376	10.61	12.08	19.4
150°C	2 saat	5.701	12.943	36.302	2.844	11.02	14.89	21.31
	6 saat	6.573	13.117	37.233	3.715	15.47	15.57	23.83
	10 saat	7.276	19.528	37.604	7.788	16.97	22.67	24.62
180°C	2 saat	11.597	20.460	39.758	7.87	18.65	26.22	27.95
	6 saat	11.730	23.279	42.415	8.178	24.56	28.23	28.83
	10 saat	21.309	35.317	45.585	11.5	31.57	35.77	31.94

Yıldız (2002) Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) odunları ile yaptığı ısıtıl işlem çalışmasında, statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve Brinell sertlik değerlerini hesaplamıştır. Tüm direnç değerlerinde ısıtıl işlem sıcaklık ve süresinin artması ile bir azalma gözlenmiştir. En büyük azalma 200°C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerde gerçekleşmiştir. Örneğin eğilme direncinin kayında %63.87 ve ladinde %63.56 azalma gösterdiğini, elastikiyet modülünün ladinde 200°C’de 6 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerde %41.59 azaldığını ve istisnai olarak kayında 200°C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerde %38.99 oranında arttığını, basınç direncinin ise her iki ağaç türünde de 200°C’de 6 saat ısıtıl işlem uygulanmış örneklerde %39’luk bir azalma gösterdiğini, Brinell sertlik değerlerinin en fazla

180°C’de 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerde kayında, enine kesitte %26, radyal kesitte %45 ve teğet kesitte %41 ve ladinde enine kesitte %20, radyal kesitte %42 ve teğet kesitte %43 oranında azaldığını tespit etmiştir.

Ünsal ve diğ. (2003) Okaliptüs odunu ile yaptıkları çalışmalarında; janka sertlik değerinde en fazla azalmanın 180°C’de 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerde enine kesitte %23.91, radyal kesitte %44.20 ve teğet kesitte %33.57 olduğunu ifade etmişlerdir.

Öner ve Ayrılmış (2005) Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odunu ile yaptıkları çalışmada; ısıtım işlem sıcaklık ve süresine bağılı olarak basınç direncinin önemli oranda azaldığını, 180°C’de 10 saat ısıtım uygulanmış numunelerin basınç direnci değerinin en düşük olduğunu ve ısıtım işlem uygulanmamış numunelerin değerinden %19 daha az olduğunu saptamışlardır.

Aydemir (2007) Göknar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus betulus* L.) odunları ile yaptığı çalışmasında; 210°C’de 12 saat ısıtım uygulaveğinde 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.

Korkut (2008) Uludağ Göknarı (*Abies bormülleriana* Mattf.) ile yaptığı çalışmada; 180°C’de 10 saat ısıtım uygulaveğinde 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.

Akgün (2008), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) ile yaptığı çalışmada; fiziksel özellikler açısından lamine malzemeleri masif kontrol örnekleri ile karşılaştırdığında en yüksek değerlerin tam kuru özgül kütlede ve hava kurusu özgül kütlede tanenli ısılsız örneklerde olduğunu, en düşük değerlerin ise tanensiz ısılsız işlemlenmiş numunelerde olduğunu, eğilme direncinde en yüksek değerlerin tanenli ısılsız işlemlenmiş, en düşük değerlerin tanensiz ısılsız işlemlenmiş ve aralarında %17.3'lük bir fark olduğunu, elastikiyet modülünde en yüksek değerlerin tanenli ısılsız işlemlenmiş örneklerde, en düşük değerlerin tanensiz ısılsız işlemlenmiş ve aralarında %22'lik bir farkın bulunduğunu, basınç direncinde en yüksek değerlerin tanenli ısılsız işlemlenmiş, en düşük değerlerin tanensiz ısılsız işlemlenmiş ve aralarında %20.05'lik bir farkın söz konusu olduğunu ve lamine malzemenin fiziksel ve mekanik özellikler bakımından masif malzemeye yakın değerler verdiğini ifade etmiştir.

Çalışma sonucunda bulunan direnç değerlerindeki azalma yukarıda verilen diğer çalışmaların sonuçları ile uyum göstermektedir. Direnç değerlerindeki bu azalmanın sebepleri olarak ısılsız işlem ile ahşapta meydana gelen ağırlık kayıpları ve hemiselülozun bozunması düşünülmektedir (Kotilainen, 2000; Hillis, 1984).

Isılsız işlem ahşabın mekanik özelliklerini azaltmasına rağmen biyolojik dayanıklılığını ve boyutsal stabilitesini artırmaktadır. Ayrıca daralma-genişleme ve denge rutubet miktarı gibi fiziksel özelliklerde dikkate değer bir azalma, ısılsız işlem görmüş ahşabın iklim değişikliklerine ve çürümeye karşı daha dayanıklı kılmaktadır. Isılsız işlem görmüş ahşap emprenye edilmiş ahşaba kıyasla çevreye daha dost bir durum arz etmekte olup, bahçe ve mutfak mobilyası, sauna, dış cephe kaplaması, banyo dolapları, döşeme malzemesi, müzik aletleri, iç dekorasyon kaplaması, iç ve dış duvar kaplaması ile kapı ve pencere imalatında kullanılabilir (Syrjanen ve

Oy, 2001). Ayrıca direnç kayıplarını minimum seviyede tutan ısıtım teknikleri kullanarak kullanım alanı sınırlı olan ağaç türleri başta olmak üzere tüm ağaç türlerinin kullanım alanları arttırılabilir. Özellikle iyi işleme özellikleri ve stabilitenin önemli olduğu kullanım alanlarında ısıtım işleminin büyük önemi bulunmaktadır.

Günümüzde özellikle Finlveiya, Almanya, Fransa, Hollvea ve İsveç gibi Avrupa ülkelerinde ısıtım işleminin odun koruma alanında çok önemli bir alternatif olarak ele alınmakta ve ısıtım işleminin konusunda bu ülkeler arasında çok yoğun bir işbirliği bulunmaktadır. Buradan yola çıkarak ülkemizde de ısıtım işleminin alternatif bir odun koruma yöntemi olarak ele alınması gerekir. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen veri tabanının bu amaca yönelik olarak değerlendirilmesi de mümkün olabilecektir.

Isıtım işleme tabii tutulmuş odunun geliştirilmiş özellikleri kereste endüstrisinde yeni bir potansiyel olarak öngörülmekte ve çekici yeni fırsatlar sunmaktadır. Isıtım işleme tabii tutulmayan odun ile mukayese edildiğinde en önemli özelliği denge rutubeti miktarının ve dolayısıyla daralma ve genişlemesinin azalmasıdır. Isıtım işleminin uygulaması; özellikle ticari değeri olmayan ağaç türleri için; yeni kullanım alanları yaratılıp; cazip uygulamalar haline getirilerek hak ettiği değeri bulacaktır.

KAYNAKLAR

- AKGÜN, K. 2008. Lamine Edilmiş Kestane (*Castanea sativa* Mill.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Tanen ve Isıl İşlemin Etkileri, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bartın.
- ALE'N, R., KOTILAINEN, R., ZAMAN, A., 2002. Thermochemical Behavior of Norway Spruce (*Picea abies* L.) at 180–225°C, Wood Science and Technology 36:163–171.
- ANONYMOUS, 2003. ThermoWood Hvebook, Finnish Thermowood Association, FIN-00171 Helsinki-FINLAND.
- AYADI, N., LEJEUNE, F., CHARRIER, F., CHARRIER, B., MERLIN, A., 2003. Color Stability of Heattreated Wood during Artificial Weathering, Holz als Roh-und Werkstoff, 61(3): 221–226.
- AYDEMİR, D. 2007. Gök nar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve Gür gen (*Carpinus betulus* L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bartın.
- 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.
- BHUIYAN, T. R., NOBUYUKI, H., NOBUO, S., 2000. Changes of Crystallinity in Wood Cellulose by Heat Treatment under Dried and Moist Conditions, Journal of Wood Science, vol. 46(6): 431–436.
- BHUIYAN, M. T. R., HIRAI, N., SOBUE, N., 2001. Effect of Intermittent Heat Treatment on Crystallinity in Wood Cellulose, Journal of Wood Science, 47(5):336–341.
- BOONSTRA, M.J., TJEERDSMA, B.F., GROENEVELD, H.A.C., 1998. Thermal Modification of Non-durable Wood Species. 1. The PLATO Technology; Thermal Modification of Wood. International Research Group on Wood Preservation, Document no. IRG/WP 98-40123.

- BOONSTRA, M. J., TJEERDSMA, B., 2006. Chemical Analysis of Heat Treated Softwoods, *Holz als Roh- und Werkstoff*, Vol. 64:204–211.
- BOONSTRA, M. J., VAN, A. J., KEGEL, E., STEVENS, M., 2006a. Optimisation of a Two-stage Heat Treatment Process: Durability Aspects, *Wood Science Tech.*, Department of Applied Sciences, University of Quebec at Chicoutimi, Chicoutimi, Canada.
- BOONSTRA, M. J., RIJSDIJK, J. F., SVEER, C., KEGEL, E., TJEERDSMA, B., MILITZ, H., VAN, A. J., STEVEN, M., 2006b. Microstructural ve Physical Aspects of Heat Treatment Wood. Part. 1. *Softwoods, Maderas Ciencia y tecnologia* 8(3):193–208.
- BOURGOIS, J., BARTHOLIN, M. C., GUYONNET, R., 1989. Thermal Treatment of Wood: Analysis of The Obtained Product, *Wood Science and Technology*, 23(4):303–310.
- BOURGOIS, J., JANIN, G., GUYONNET, R., 1991. Measuring Colour: A Method of Studying and Optimising the Chemical Transformations of Thermally-treated Wood, *Holzforschung*, 45(5):377–382.
- BOZKURT, A.Y., 1992. *Odun Anatomisi*, İ.Ü. Yayın No:3652, Orman Fakültesi Yayın No:415, ISBN:975-404-230-6, İstanbul.
- BOZKURT, A.Y.; ERDİN, N., 1989. *Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar*, İ.Ü. Yayın No: 3572, Fen Bilimleri Enstitüsü Yayın No:4, İstanbul.
- BURMESTER, A., 1973. Effects of Heat-Pressure Treatments of Semi-Dry Wood on its Dimensional Stability, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 31(6):237–243.
- BURMESTER, A., 1975. The Dimensional Stabilization of Wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 2(2):112–119.
- CHOW, S. Z., PICKLES, K. J., 2003. Thermal Softening and Degradation of Wood Ve Bark, *Wood ve Fiber Science*, Vol.3(3):166–178.
- DAVIS, W.H., THOMPSON, W.S., 1964. Influence of Thermal Treatments of Short Duration on the Toughness and Chemical Composition of Wood, *Forest Products Journal*, 14(8):350-366.
- DOI, S., KURIMOTO, Y., TAKAHASHI, M., YOSHIMURA, T., 1997. Effects of Steaming Heat Treatment on The Stimulation of Termite Feeding. International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 97-10212.
- DOI, S., KURIMOT, Y., OHMURA, W., OHARA, S., AOYAMA, M., YOSHIMURA, T., 1999. Effects of Heat Treatments on The Feeding Behaviour of Two Subterranean Termites, *Holzforschung*, 53(3):225–229.

- EDLUND1, M. L., JERMER, J., 2004. Durability Of Heat-Treated Wood, Final Workshop COST Action E22-Environmental Optimisation of Wood Protection, Lisboa–Portugal.
- ESTEVEES, 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.
- FEIST, W. C., HAJNY, G. J., SPRINGER, E. L., 1973. Effect of Storing Green Wood Chips at Elevated Temperatures, Tappi, 56(8):91–95.
- FEIST, W. C., SELL, J., 1987. Weathering Behaviour of Dimensionally Stabilized Wood by Heating under Pressure of Nitrogen Gas, Wood ve Fiber Science, 19(2):183–195.
- FENGEL, D., 1966. On the Change of the Wood ve its Components within the Temperature range up to 200°C–Part III: Thermally ve Mechanically Caused Structural Changes in Sprucewood, Holz roh-u werkstoff, 31(8):529-536.
- FENGEL, D., 1967. On the Change of the Wood ve its Components within the Temperature range up to 200°C–Part IV: The Behaviour of Celluloses in Sprucewood under Thermal treatment, Holz roh-u werkstoff, 25:102-111.
- FENGEL, D., WEGENER, G., 1989. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter De 33(9):333–335.
- FOLLRICH, J., ULLER, U. M., GINDL, W., 2006. Effects of Thermal Modification on the Adhesion between Spruce Wood (*Picea abies* Karst.) and a Thermoplastic Polymer, Holz als Roh- und Werkstoff, 64:373–376.
- FUNG, D. P. C., STEVENSON, J. A., SHIELDS, J. K., 1974. The Effect of Heat ve NH₄H₂PO₄ on the Dimensional ve A properties of Douglas-Fir. Wood Science, 7(1):13–20.
- GARCIA, R. A., CLOUTIER, A., RIEDI, B., 2006. Dimensionally Stability of MDF Panels Produced from Heat-Treated Fibers, Atypon-Link, Holzaz, 60(3):278-284.
- GIEBELER, E., 1983. Dimensional Stabilization of Wood by Moisture-Heat-Pressure Treatment, Holz Roh-u Werkstoff, 41:87-94.
- GREEN, D. W., 1999. Adjusting Modulus of Elasticity of Lumber for Changes in Temperature. Forest Products Journal, 49(10):82–94.

- GREEN, D. W., EVANS, J. W., CRAIG, B., 2003. Durability of Structural Lumber Products at High Temperature. Part 1: 66°C at 75% RH ve 82° C at 30% RH, Wood ve Fiber Science 35(4): 499–523.
- GUNDUZ, G.; KORKUT, S.; SEVİM KORKUT, D. 2008. The Effects of Heat Treatment on Physical and Technological Properties and Surface Roughness of Camiyanı Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) Wood, Bioresource Technology, 99(7): 2275–2280, ISSN: 0960-8524.
- HÆGGSTRÖM, E., WALLIN, A., HOFFREN, H., HASSINEN, T., VIITANIEMI, P., 2005. Study on Attenuation, Modulus of Elasticity and Nonlinearity in Thermowood Using Ultrasound, Review of Quantitative Nondestructive Evaluation Vol. 24 pp. 1500–1508.
- HAKKOU, M., PE'TRISSANS, M., ZOULALIAN, A., GE'RARDIN, P., 2005. Investigation of Wood Wettability Changes during Heat Treatment on the Basis of Chemical Analysis, Polymer Degradation ve Stability, Vol. 89:1-5.
- HAKKOU, M., PE'TRISSANS, M., EL, BAKALI. I., GE'RARDIN, P., ZOULALIAN, A., 2005a. Wettability Changes ve Mass Loss during Heat Treatment of Wood, Holzforschung, Vol. 59:35–37.
- HILLIS, W. E., 1975. The Role of Wood Characteristics in High Temperature Drying, J. Inst. Wood Sci., 7(2):60-67.
- HILLIS, W. E., ROZSA, A.N., 1978. The Softening Temperatures of Wood, Holzforschung, 32(2):68-73.
- HILLIS W.E., 1984. High Temperature and Chemical Effects on Wood Stability. Wood Science ve Technology, 18:281–93.
- HIRAI, N., SOBUE, N., ASANO, I., 1972. Studies on Piezoelectric Effect of Wood, IV. Effects of Heat Treatment on Cellulose Crystallites ve Piezoelectric Effect of Wood, Mokuzai Gakkaishi, Vol. 18(11):535–542.
- HUNTER, A.J., SUTHERLVE, W., 1997. The Evaporation of Water at High Temperatures from Wood, Wood Science and Technology, Vol. 31:73–76.
- IBACH, R.E., ROWELL, R.M., LEE, B.G., 2000. Decay Protection Based on Moisture Exclusion Resulting from Chemical Modification of Wood, Proceedings of the 5th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 10-13 December 2000, Canberra-Australia.
- INARI, G. N., PETRISSANS. M., LAMBERT, J., EHRHARDT, J. J., GE'RARDIN, P., 2006. XPS Characterization of Wood Chemical Composition after Heat-Treatment, Surf. Interface Anal., 38:1336–1342.

- INOUE, M., NORIMOTO, M., OTSUKA, Y., YAMADA, T., 1991. Surface Compression of Coniferous Wood Lumber II: Permanent Set of Compression Wood by Low Molecular Weight Phenolic Resin ve Some Physical properties of the Products, *Mokuzai Gakkaishi*, 35(3):227-233.
- INOUE, M., NORIMOTO, M., TANAHASHI, M., ROWELL, R. M., 1993. Steam or Heat Fixation of Compressed Wood, *Wood and Fiber Science*, 25(3):224-235.
- ISHIGURI, F., MASUBUCHI, N., YOKOTA, S., YOSHIZAWA, N., 2005. Changes in the Physical and Chemical Properties of Six Japanese Softwoods caused by Lengthy Smoke-Heating Treatment, *Journal of Wood Science* Vol. 51: 161–166.
- ISHIKAWA, A., KURODA, N., KATO, A., 2004. In Situ Measurement of Wood Moisture Content in High-Temperature Steam, *Journal of Wood Science*, 50:7–14.
- JAÉMSAÉ, S., AHOLA, P., VIITANIEMI, P., 2000. Long-Term Natural Weathering of Coated ThermoWood, *Pigment & Resin Technology*, 29(2): 68–74.
- JOHANSSON, D., 2005. Drying ve Heat Treatment of Wood: Influences on Internal Checking, *Proceedings 3rd Nordic Drying Conference*, Karlstad, Sweden.
- JOHANSSON, D., 2005a. Strength ve Colour Response of Solid Wood to Heat Treatment, *Licentiate Thesis*, Vol. 93, pp. 58., Luleå University of Technology, Department of Skellefteå Campus, Division of Wood Technology, Sweden.
- JOHANSSON, D., MOR'EN, T., 2006. The Potential of Colour Measurement for Strength Prediction of Thermally Treated Wood, *Holz als Roh- und Werkstoff*, (64): 104–110.
- KAMDEM, D. P., PIZZI, A., TRIBOULOT, M. C., 2000. Heat-Treated Timber: Potentially Toxic Byproducts Presence ve Extent of Wood Cell Wall Degradation, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58(4): 253-257.
- KAMDEM, D. P., PIZZI, A., JERMANNAUD, A., 2002. Durability of Heat-Treated Wood, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 60: 1–6.
- KANTAY, R. 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama, *Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı Yayın No:6*, İstanbul.
- KEITH, C. T., CHANG, C. I., 1978. Properties of Heat-Darkened Wood. I. Hygroscopic Properties, Report, Eastern Forest Products Laboratory, Canada, No. OPX213E.

- KIM, D. Y., NISHIYAMA, Y., WADA, M., KUGA, S., OKANO, T., 2001. Thermal Decomposition of Cellulose Crystallites in Wood, *Holzforschung*, 55(5): 521–524.
- KITAHARA, K., CHUGENJI, M., 1951. Effects of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Wood, *Journal Japan Forest Society*, 33.414-419.
- KLAUDITZ, W., STEGMAN, G., 1951. Fundamental Chemical and Physical Process in the Heat Treatment of Wood-Fiber Boards, *Holzforschung*, 5(39):68-74.
- KOCAEFE, D., YOUNSI, R., CHAUDRY, B., KOCAEFE, Y., 2006. Modeling of Heat and Mass Transfer during High Temperature Treatment of Apsen, *Wood Science Technol.* (40): 371–391.
- KOCAEFE, D., YOUNSI, R., PONCSAK, S., KOCAEFE, Y., 2006a. Comparison of Different Models for the High-Temperature Heat-Treatment of Wood, *International Journal of Thermal Sciences*, 10(1006): 1–10.
- KOCH, P., 1971. Process for Straightening ve Drying Southern Pine 2 by 4's in 24 Hours, *Forest Products Journal*, 21(5):17-24.
- KOCH, P., 1976. Strength of Southern Pine Lumber Dried at High Temperatures, *Proc. Research Conference on High-Temperature Drying Effects on Mechanical Properties of Softwood Lumber*, Madison, WI., 38-49.
- KOLLMANN, F., SCHNEIDER, A., 1963. The Sorption Behavior of Heat-Treated Wood, *Holz Roh-u Werkstoff*, 21(3):77-85.
- KORKUT, S., BAKANGİL, Ö., 2007. Isıl İşlem Metodları, *WOODWORK Mobilya, Mobilya Yan Sanayi, Mimarlık, Dekorasyon ve Araştırma Dergisi*, Sayfa:28-34, Şubat-Mart 2007.
- KORKUT, S. 2008. The Effects of Heat Treatment on some Technological Properties in Uludağ Fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) Wood, *Building and Environment*, 43 (4): 422-428, ISSN:0360-1323.
- KORKUT, S.; KÖK, M.S.; SEVİM KORKUT, D.; GURKEYEN, T., 2008. The Effects of Heat Treatment on Technological Properties in Red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) Wood, *Bioresource Technology*, 99 (6): 1538–1543, ISSN: 0960-8524.
- KORKUT, S.; AKGÜL, M.; DÜNDAR, T., 2008. The Effects of Heat Treatment on some Technological Properties of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood, *Bioresource Technology*, 99 (6): 1861–1868, ISSN: 0960-8524.

- KORKUT, S. ; BEKTAŞ, İ., 2008. The Effects of Heat Treatment on Physical Properties of Uludağ Fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood, *Forest Products Journal*, 58(3): 95-99, ISSN: 0015-7473.
- KORKUT, S.; SEVİM KORKUT, D.; BEKAR, İ., 2008. Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) Odununun Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, I. Ulusal Okaliptüs Sempozyumu, 15-17 Nisan 2008 Tarsus.
- KOTILAINEN, R., 2000. Chemical Kotilainen R. Chemical changes in wood during Heating at 150–260°C. Ph.D. Thesis, Jyva" skyla" University. Research Report 80, Finlve.
- KUBOJIMA, Y., OKANO, T., OHTA, M., 2000. Bending Strength and Toughness of Heat-Treated Wood, *Journal of Wood Science*, 46(1): 8–15.
- LEIJTEN, A. M., 2004. Heat Treated Wood and the Influence on the Impact Bending Strength, *Heron*, 49(4): 235-237.
- LEITHOFF, H., PEEK, R.D., 1998. Hitzebevelung - eine Alternative zum chemischen Holzschutz. Tagungsbe zur 21. Holzschutz-Tagung der DGfH in Rosenheim: 97-108.
- LEITHOFF, H., PEEK, R. D., 2001. Heat Treatment of Bamboo, IRG/WP 01-40216 (The International Research Group On Wood Preservation), Federal Research Centre for Forestry ve Forest Products (BFH), Leuschnerstr. 91, D 21031 Hamburg, Germany.
- LEVAN, S. M., ROSS, R. J., WINANDY, J. E., 1991. Effects of Fire Retardant Chemicals on the Bending Properties of Wood at Elevated Temperatures, USDA Research Paper FPL-RP-498, Madison, WI.
- LEVAN, S. M., EVANS, J. W., 1996. Mechanical Properties of Fire-Retardant Treated Plywood after Cyclic Temperature Exposure. *Forest Products Journal*, 46(5): 64–71.
- MACLEAN, J.D., 1954. Effect of Heating in Water on the Strength Properties of Wood, *Am. Wood Preservers' Assoc. Proc.* 50:253-280.
- MACLEAN, J.D., 1955. Effect of Oven-Heating ve Hot-Pressing on Strength Properties of Wood, *Am. Wood Preservers' Assoc. Proc.* 51:227-250.
- MAILUM, N.P., ARENAS, C.V., 1974. Effect of Heat on the Natural Decay Resistance of Philippine Woods, *Philippine Lumberman*, 20(10):18-19.
- MANNINEN, A.M., PASANEN, P., HOLOPAINEN, J.K., 2002. Comparing the VOC Emissions Between Air-Dried and Heat Treated Scots Pine Wood, *Atmospheric Environment*, 36(11):1763-1768.

- MAYES, D., OKSANEN, O., 2002. ThermoWood Hvebook, Finnforest, Finland.
- MCDONALD, A. G., DARE, P. H., GIFFORD, J. S., STEWARD, D., RILEY, S., 2002. Assessments of Air Emissions from Industrial Kiln Drying of *Pinus Radiata* Wood, *Holz als Roh-und Werkstoff*, (60): 181-190.
- MEREV, N., 1998. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Doğal Angiospermae Taksonlarının Odun Anatomisi, Cilt:1, K.T.Ü. Genel Yayın No:189, Orman Fakültesi Yayın No:27, Trabzon.
- MILITZ, H., TJEERDSMA, B.F., 2001. Heat Treatment of Wood by the PLATO-Process, Proceedings of Special Seminar Held in Antibes, France on 9 February 2001.
- MILITZ, H., 2002. Heat treatment Technologies in Europe: Scientific Background ve Technological State-of-Art, in: Proceedings of Conference on Enhancing the Durability of Lumber ve Engineered Wood Products, Forest Products Society, Madison, US.
- MILLETT, M. A., GERHARDS, G. C., 1972. Accelerated Aging: Residual Weight ve Flexural Properties of Wood Heated in Air at 115°C to 175°C, *Wood Science*, 4(4): 193–201.
- MITCHELL, P. H., 1988. Irreversible Property Changes of Small Loblolly Pine Specimens Heated in Air, Nnitrogen, or Oxygen, *Wood ve Fiber Science*, 20(3): 320–355.
- MITSUMI, K., MURATA, A., TOLVAJ, K., 2004. Changes in the Properties of Light-Irradiated Wood with Heat Treatment: Part 3. Monitoring by DRIFT Spectroscopy, *Holz Roh Werkst.*, 62: 164–168.
- MITSUMI, K., 2006. Changes in Color of Spruce by Repetitive Treatment of Light-Irradiation ve Heat Treatment, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64: 243–244.
- NIKOLOV, S., ENCEV, E., 1967. Effect of Heat Treatment on the Sorption Dynamics Of Beech Wood, *Nauc.Trud. Lesoteh. Inst.*, Sofija, 14:71-77.
- NUOPPONEN, M., 2005. FTIR ve UV Raman Spectroscopic Studies on Thermal Modification of Scots Pine Wood ve Its Extractable Compounds, Doctor Thesis, The Department of Forest Products Technology For Public Examination ve Debate in Auditorium V1 At Helsinki University of Technology (Espoo, Finlve), April, Helsinki.
- OBATAYA, E., SHIBUTANI, S., HANATA, K., DOI, S., 2006. Effects of High Temperature Kiln Drying on the Practical Performances of Japanese Cedar Wood (*Cryptomeria japonica*) I: Changes in Hygroscopicity due to Heating, *Journal of Wood Science*, 52: 33–38.

- PANAIOTOV, P., MATEEVA, G., 1984. The Effect of Non-Flame Treatment on the Bending ve Compression Strength of Modified Beech Wood, Nauchni Trudove, Vissh Lesotekhnicheski Institut, Sofiya, Mekhanichna Teknologiya-na-D’rvesinata, No.27-28:55-60.
- PERSSON, M. S., 2005. Properties of Solid Wood: Responses to Drying ve Heat Treatment, Licentiate Thesis, Vol. 70, pp. 68., Luleå University of Technology, Department of Skellefteå Campus, Division of Wood Technology, Sweden.
- PÉTRISSANS, M., GÉRARDIN, P., ELBAKALI, I., SERRAJ, M., 2003. Wettability of Heat-Treated Wood, *Holzforschung* 57:301-07.
- PONCSAK, S., KOCAEFE, D., BOUAZARA, M., PICHETTE, M., 2005. Effect of High Temperature Treatment on the Mechanical Properties of Birch (*Betula papyrifera*), *Wood Sci Tech.*, Department of Applied Sciences, University of Quebec at Chicoutimi, Chicoutimi, Canada.
- RAPP, A. O. VE SAILER, M., 2000. Heat Treatment in Germany, Proceedings of Seminar “ Production ve Development of Heat Treated Wood in Europe ”, Helsinki, Oslo.
- REPELLIN, V., GUYONNET, R., 2005. Evaluation of Heat-Treated Wood Swelling by Differential Scanning Calorimetry in Relation to Chemical Composition, *Holzforschung*, 59(1): 28–34.
- ROUSSET, P. PERRFI, P., GIRARD, P., 2004. Modification of Mass Transfer Properties in Poplar Wood (*P. robusta*) by a Thermal Treatment at High Temperature, *Holz Roh Werkst*, 62: 113–119.
- ROZSA, M.E., FORTES, M.A., 1989. Effects of Water Vapour Heating on Structure and Properties of Corc, *Wood Science Technology*, 23:27-34.
- ROWELL, R. M., KONKOL, P., 1987. Treatments that Enhance Physical Properties of Wood. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–55. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 12 p.
- RUSCHE, H., 1973. Thermal Degradation of Wood at Temperatures up to 200°C– Part–I: Strength Properties of Dried Wood after Heat Treatment, *Holz Roh-u Werkstoff*, 31: 273–281.
- RUYTER, H.P., 1989. European patent Appl. No. 89-203170-9.
- SANTOS, J. A., 2000. Mechanical Behaviour of Eucalyptus Wood Modified by Heat, *Wood Science ve Technology*, 34: 39–43.

- SCHNEIDER, A., 1971. Investigations on the Influence of Heat Treatment in the Temperature Range 100-200°C on Modulus of Elasticit., Holz Roh-u Werkstoff, 29(11): 431-440.
- SCHNEIDER, A., RUSCHE, H., 1973. Sorption Behaviour of Beech and Spruce Wood after Heat Treatment in Air and in Vacuum, Holz als Roh- und Werkstoff, 31(8): 313–319.
- SCHNEIDER, A., 1973. Investigation on the Convection Drying of Lumber at Extremely High Temperatures, Holz Roh-u Werkstoff, 31: 198–206.
- SEBORG, R.M., TARKOW, H., STAMM, A.J., 1953. Effect of Heat upon the Dimensional Stabilization of Wood, Forest Products Journal, 3(3):59-67.
- SEHLSTEDT-PERSSON, M., 1995. High Temperature Drying of Scots Pine. A Comparison between HT- ve LT-Drying, Holz als Roh- und Werkstoff, 53: 95-99.
- SEHLSTEDT-PERSSON, M., 2003. Colour Responses to Heat-Treatment of Extractives ve Sap from Pine ve Spruce, Proceedings 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, Romania.
- SEVİM KORKUT, D.; KORKUT, S.; DİLİK, T., 2008. Effect of Heat Treatment on some Mechanical Properties of Laminated Window Profiles Manufactured using Two Types of Adhesive, International Journal of Molecular Sciences (IJMS), 9(4): 454-463, ISSN: 1422-0067.
- SEVİM KORKUT, D.; GÜLLER, B., 2008. The Effects of Heat Treatment on Physical Properties and Surface Roughness of Red- Bud Maple (*Acer trautvetteri* Medw.) Wood, Bioresource Technology, 99(8): 2846–2851, ISSN: 0960-8524.
- SKAAR, C., 1976. Effect of High Temperatures on the Rate of Degradation ve Reduction in Hygroscopicity of Wood, Pages 113-127 in C.C. Gerhards, McMillen, J.M., eds. Proceedings, High Temperature Drying Effects on Mechanical Properties of Soft-Wood Lumber, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, 25-26 February.
- STAMM, A.J., HANSEN, L.A., 1937. Minimizing Wood Shrinkage and Swelling: Effect of Heating in Various Gases, Ind. Eng. Chem. 29(7):831-833.
- STAMM, A. J., 1956. Thermal Degradation of Wood ve Cellulose, Ind. Eng. Chem. 48(3):413-417.
- STAMM, A. J., BAECHLER, R. H., 1960. Decay Resistance and Dimensional Stability of Five Modified Woods, Forest Products Journal, 10(1): 22–26.

- SUNDQVIST, B., 2002. Color Response of Scots Pine (*Pinus sylvestris*), Norway Spruce (*Picea abies*) and Birch (*Betula pubescens*) Subjected to Heat Treatment in Capillary Phase, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 60: 106–114.
- SUNDQVIST, B., KARLSSON, B., WESTERMARK, V., 2003. Determination of Formic Acid and Acetic Acid Concentrations Formed during Hydrothermal Treatment of Birch Wood and its relation to Colour, Strength ve Hardness, Luled University of Technology, Division of Wood Material Science, Skeria, Sweden.
- SUNDQVIST, B., 2004. Colour Stability of Capillary Phase Heat-Treated Wood Exposed to UV-light, In: *Proceedings of the Fourth International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry (ICWSF)*, Missenden Abbey, UK.
- SUNDQVIST, B., 2004a. Colour Changes ve Acid Formation in Wood During Heating, Doctoral Thesis, Vol. 10, pp. 61, Skellefteå Campus, Division of Wood Material Science, Sweden.
- SYRJÄNEN, T., KANGAS, E., 2000. Heat Treated Timber in Finland, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 00–40158.
- SYRJANEN, T., OY, K., 2001. Production ve Classification of Heat-Treated Wood in Finland, Review on Heat Treatments of Wood. In: *Proceedings of the Special Seminar Held in Antibes, France*.
- TIEMANN, H.D., 1920. Effect of Different Methods of Drying on the Strength and Hygroscopicity of Wood, 3 rd ed, *The Kiln Drying of Lumber*, Chap.11, J.P. Lippincott Co., Philadelphia, PA.
- TJEERDSMA, B. F., BOONSTRA, M., PIZZI, A., TEKELY, P., MILITZ, H., 1998. Characterisation of Thermally Modified Wood: Molecular Reasons for Wood Performance Improvement, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56(3):8-16.
- TJEERDSMA, B. F., BOONSTRA, M., MILITZ, H., 1998a. Thermal Modification of Non-Durable Wood Species 2. Improved Wood Properties of Thermal Treated Wood, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP/98–40124.
- TOMEK, A., 1966. Heat Treatment of Wood Chips, a New Process for Making Particle Board Water-Repellent, *Holztechnol*, 3:157-160.
- TROYA, M. T., NAVARETTE, A., 1994. Study of the Degradation of Retified Wood through Ultrasonic ve Gravimetric Techniques, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/ WP 94–40030.

- TS 4176/Mart 1984. Odunun Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerinin Tayini İçin Homojen Meşcerelerden Numune Ağacı ve Laboratuvar Numunesi Alınması, T.S.E. Ankara.
- TS 2470 (1976). Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Numune Alma Metotları ve Genel Özellikleri, T.S.E. Ankara.
- TS 53 (1982). Odunun Fiziksel Özelliklerinin Tayini İçin Numune Alma, Muayene ve Deneysel Metotları, T.S.E. Ankara.
- TS 642 ISO 554 (1997). Kondisyonlama ve/veya Deneysel İçin Stveard Atmosferler-Özellikler, T.S.E. Ankara.
- TS 2472 (1976). Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini, T.S.E. Ankara.
- TS 4084 (1983). Odunda Radyal ve Teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini, T.S.E. Ankara.
- TS 2595 (1997). Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımının Tayini, T.S.E. Ankara.
- TS 2474 (1976). Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, T.S.E. Ankara.
- TS 2478 (1976). Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, T.S.E. Ankara.
- TS 2471 (1976). Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini, T.S.E. Ankara.
- UNSAL, O, KORKUT, S., ATİK, A., 2003. The Effect of Heat Treatment on Some Properties and Colour in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) Wood, Maderas Ciencia y tecnologia, 5(2): 145–152.
- UNSAL, O., AYRILMIS, N., 2005. Variations in Compression Strength and Surface Roughness of Heat-Treated Turkish River Red Gum (*Eucalyptus camaldulensis*) Wood, Journal of Wood Science, 51: 405–409.
- VERNOIS, M., 2001. Heat Treatment of Wood in France-State of the Art, Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France on 9 February 2001.
- VIITANEN, H., JÄMSÄ, S., PAAJANEN, L., NURMI, A., VIITANIEMI, P., 1994. The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce, A Preliminary Report, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 94-40032.

- VIITANEN, H., JAMSA, S., PAAJANEN, L., NURMI, A., VIITANIEMI, P., 1994a. The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce, IRG/WP/40032 Annual Meeting, May 29-June 3-1994, Indonesia, Section 4, 1-4.
- VIITANIEMI, P., 1997. Decay-Resistant Wood Created in a Heating Process, *Industrial Horizons*, 23: 77-85.
- VITAL, B. R., LUCIA, M. D., 1983. Effect of Heating on some Properties of *Eucalyptus saligna* Wood, *Revista-Arvore*, 7(2): 136-146.
- VOSS, K. 1652. Heat Treatment of Hardboards, *Holz Roh- u Werkstoff*, 10(8):299-305.
- WEILAND, J. J., GUYONNET, R., 2003. Study of Chemical Modifications and Fungi Degradation of Thermally Modified Wood using DRIFT Spectroscopy, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61: 216–220.
- WELZBACHER, C. R., RAPP, A. O., 2004. Comparison of Thermally Treated Wood Originating from Four Industrial Scale Processes-Durability, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 02–40229.
- WINANDY, J. E., LEVAN, S. M., ROSS, R. J., 1991. Thermal Degradation of Fire-Retardant-Treated Plywood— Development and Evaluation of a Test Protocol, USDA Res. Paper FPL–501.
- WINANDY, J. E., 1995a. Effects of Waterborne Preservative Treatment on Mechanical Properties: A Review, *Proceeding: Woodstock, MD; American Wood Preservers' Association*. 91: 17-33.
- WINANDY, J. E., 1996. Effects of Treatment, Incising, and Drying on Mechanical Properties of Timber, *Forest Products Laboratory, USDA Forest Service*, pp.9.
- WINANDY, J. E., 2001. Effects of Fire Retardant Retention, Borate Buffers, and Re-Drying Temperature after Treatment on Thermal-Induced Degradation, *Forest Products J.* 47(6): 79–86.
- YALTIRIK, F., 1993. *Dendroloji Ders Kitabı II*, İ.Ü. Yayın No: 3767, Orman Fakültesi Yayın No:420, İstanbul.
- YALTIRIK, F., EFE, A., 2000. *Dendroloji Ders Kitabı, Gymnospermae-Angiospermae*, İ.Ü. Yayın No: 4265, Orman Fakültesi Yayın No:465, ISBN 975-404-594-1, İstanbul.
- YAO, J., TAYLOR, F., 1979. Effect of High-Temperature Drying on the Strength of Southern Pine Dimension Lumber, *Forest Products Journal*, 29(8):49-51.

- YILDIZ, S., 2002. 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.
- YILDIZ, S., GEZER, E.D., YILDIZ, U.C., 2006. Mechanical and Chemical Behavior of Spruce Wood Modified by Heat. *Building ve Environment* 41 (12), 1762–1766.
- YILDIZ, Ü.C., YILDIZ, S., GEZER, E.D., 2005. Mechanical and Chemical Behavior of Beech Wood Modified by Heat, *Wood ve Fiber Science*, 37(3): 456-461.
- YILDIZ, S., GÜMÜŞKAYA, E., 2007. The effects of Thermal Modification on Crystalline Structure of Cellulose in Soft and Hardwood, *Building ve Environment* 42(1): 62-67.
- YOUNSI, R., KOCAEFE, D., PONCSAK, S., KOCAEFE, Y., 2006. Transient Multiphase Model for the High-Temperature Thermal Treatment of Wood, *AIChE Journal*, 52(7): 2340–2350.

ÖZGEÇMİŞ

Tolunay ŞANLI 1977'da Ankara'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı; Yenimahalle Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1995 yılında A.İ.B.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2000'de "iyi" derece ile mezun olduktan sonra özel sektörde kereste üretimi ve ithalatı konusunda çalışmaya başladı; halen 2006 yılında kurduğu işletmesinde orman ürünleri ticareti yapmakta, 2005 yılında girdiği DÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres :Zerdalilik mah. Değirmenönü cad. Remzi Göksel apt. No:14

Muratpaşa - Antalya

07100

Tel : +90 532 764 8657

Faks : +242 221 1783

E-posta : tolunay_sanli@hotmail.com