



T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜRGEN YAPRAKLI KAYACIK (*Ostrya carpinifolia*
Scop) ODUNU'NUN BAZI TEKNOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ**

YUSUF KENAN ELYILDIRIM

HAZİRAN 2008

GÜRGEN YAPRAKLI KAYACIK (*Ostrya carpinifolia* Scop)
ODUNU'NUN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

YUSUF KENAN ELYILDIRIM

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALINDA
YÜKSEK LİSANS DERECELERİ İÇİN
GEREKLİ ÇALIŞMALARINI 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. Derya SEVİM KORKUT
2. Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ
3. Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT (Danışman)

ABSTRACT

THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON SOME TECHNOLOGICAL PROPERTIES IN EUROPEAN HOPHORNBEAM (*Ostrya carpinifolia* Scop) WOOD

ELYILDIRIM, Yusuf Kenan
Master of Science, Department of Forest Industrial Engineering
Advisor: Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT

June, 2008 – 95 pages

In this study, some technologic properties of heated European Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop) 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; 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: European Hophornbeam, *Ostrya carpinifolia* Scop, Heat Treatment, Physical and Mechanic Properties

ÖZET

GÜRGEN YAPRAKLI KAYACIK (*Ostrya carpinifolia* Scop) ODUNU'NUN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİLERİ

ELYILDIRIM, Yusuf Kenan
Y.Lisans, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Süleyman KORKUT

Haziran, 2008 - 95 Sayfa

Bu çalışmada; ısıtıl işlem uygulanan Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) 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. Isıtıl işlem uygulaması normal atmosfer ortamında, sıcaklığı $\pm 1^{\circ}\text{C}$ duyarlıkta kontrol edilebilen bir etüvde gerçekleştirilmiştir.

Isıtıl işleme tabi tutulan test örneklerinde fiziksel özelliklerden; tam kuru yoğunluk ve genişleme, mekanik özelliklerden 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 bağılı 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: Gürgeň Yapraklı Kayacık, *Ostrya carpinifolia* Scop.,

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 çalışmalarımında 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 ve emeği gecen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen eşim Ar. Gör. Serir UZUN ELYILDIRIM'a ve aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı ülkemizin bölünmez bütünlüğünü koruyan gazi ve şehitlerimize ithaf ediyorum.

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)	5
1.1.1.3. Çatlama ve Renklenmeler	11
1.1.2. Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi	16
1.1.3. Isıl İşlemin Biyolojik Özellikler Üzerine Etkisi	24
1.2. Isıl İşlem Metotları	25
1.3. Literatür Özeti	33
2. MATERYAL ve YÖNTEM	61
2.1. Materyal	61
2.2.1 Gürgen Yapraklı Kayacık (<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.)	
Hakkında Genel Bilgiler	61
2.2. Yöntem	63

3. BULGULAR.....	66
3.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular	66
3.1. Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	74
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	79
KAYNAKLAR.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1. Tam Kuru Yoğunluk İstatistik Verileri	66
Çizelge 2. Tam Kuru Yoğunluk Değeri'ne Ait Varyans Analizi	66
Çizelge 3. Tam Kuru Yoğunluk Değeri 'ne Ait Duncan Testi	67
Çizelge 4. Radyal Genişleme İstatistik Verileri	68
Çizelge 5. Radyal Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi	68
Çizelge 6. Radyal Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi.....	69
Çizelge 7. Teğet Genişleme İstatistik Verileri	70
Çizelge 8. Teğet Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi	70
Çizelge 9. Teğet Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi	71
Çizelge 10. Boyuna Genişleme İstatistik Verileri	72
Çizelge 11. Boyuna Genişleme Değeri'ne Ait Varyans Analizi	72
Çizelge 12. Boyuna Genişleme Değeri 'ne Ait Duncan Testi	73
Çizelge 13. Eğilme Direnci İstatistik Verileri	74
Çizelge 14. Eğilme Direnci 'ne Ait Varyans Analizi	74
Çizelge 15. Eğilme Direnci 'ne Ait Duncan Testi	75
Çizelge 16. Eğilmede Elastikiyet Modülü İstatistik Verileri	76
Çizelge 17. Eğilmede Elastikiyet Modülü 'ne Ait Varyans Analizi	77
Çizelge 18. Eğilmede Elastikiyet Modülü 'ne Ait Duncan Testi	77
Çizelge 19. Isıl İşlemde Uygulanan Sıcaklık ve Süreye Bağlı Olarak Fiziksel ve Mekanik Özelliklerde Meydana Gelen Azalma	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1. Plato Wood Metodu İşlem Basamakları	27
Şekil 2. Yağlı Isıl İşlem Metodunun Temel Tasarım Planı	29
Şekil 3. ThermoWood Metodunun Isıl İşlem Safhaları	32

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 kapılar 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 ısıtılma tabii 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 iner gaz ortamında belli bir süre bekletilmesi ısıtılma işlemi olarak kabul edilmektedir. Ağaç malzemenin kimyasal maddelerle modifikasyonunda özel işlem teçhizatları, teknik kurutma ve farklı bir kalite kontrol uygulaması gerekli olurken, ısıtılma işlemde bütün bunlara ihtiyaç duyulmamakta ve ayrıca kimyasal maddelerin çevreye verebileceği zararlar söz konusu olmamaktadır.(Yıldız,2002)

Ağaç malzemenin ısıtılma tabii 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 ısıtılma işlem hedefleri arasında yer almaktadır.(Korkut ve Bakangil,2007)

Bu çalışmada, Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtılma işleminin etkili incelenmiştir. Bu amaçla, odun örnekleri 120, 150 ve 180⁰C sıcaklıklarda 2, 6 ve 10 saat süreyle 9 farklı kombinasyonda ısıtılma tabii 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 and 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 kütlede düşüşe sebep olur (Rusche, 1973; Fung et al., 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 et al., 1994a; Fengel and Wegener, 1989).

Düşük sıcaklıkta uygulanan ısıl 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 and Gerhards, 1972).

24 saat boyunca ısıtılma tabii tutulan ladin (*Picea abies*) odununda 120°C'de başlayan ağırlık kaybı %0.8 iken 200°C'de bu oran %15.5'e çıkmaktadır (Fengel, 1966).

Dakikada 5°C artan sıcaklıklarla ısıtılma görmüş kayın (*Fagus sylvatica*) odunundaki ağırlık kaybı 150°C'de %8.1 iken, 200°C'de %9.8 olarak tespit edilmiştir (Fengel and Wegener, 1989).

180-200°C sıcaklıklarda ve 8-10 bar'lık bir inert gaz atmosferinde ısıtılma tabii tutulan kayın odunundaki ağırlık kaybının %10-15, ladin odunundaki ağırlık kaybının ise %5-10 oranlarında olduğu belirtilmiştir (Feist and 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 200°C 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 and 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 ısıtılma süresince kristallikte fazla oranlarda değişimin olması engellenebilmektedir (Bhuiyan et al., 2001).

Nitrojen ortamında 240–290⁰C’ler arasındaki sıcaklıklarda odun 30 dakika ısıtılma işlemine tabi tutulmuş ve bu muameleyi takiben yapılan incelemelerde kristallikte herhangi bir değişim belirlenmemiştir. 120–220⁰C sıcaklıklarda 10 dakika bir ısıtılma işlem uygulamasında kristallik de bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Buna karşın aynı sıcaklıklarda 20 saat hava ortamında ısıtılmayla kristalliğin düştüğü ifade edilmiştir (Bourgois et al. 1989). Nem ortamında pamuk selülozunun kristalliği incelendiğinde 300⁰C sıcaklıkta 1 saat ısıtılma işlemi sonucunda kristallikte herhangi bir parçalanma gözlemlenmemiştir. Fakat 320⁰C 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 (Hıral et al., 1972; Bhuiyan et al., 2001; Kim et al., 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 et al., 1953). Boyutsal stabilizasyondaki artış, termal olarak modifiye olmuş odun elde edilebilmektedir. Fakat gözlenen etkiler ısıtılma işlemine bağlı olarak değişmektedir. Stamm and Hansen (1937), odunun boyutsal stabilizasyonunun yalnızca kimyasal maddelerin kullanılmasıyla değil, sadece ısıtılma 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 malzemedeki medyana 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 et al., 1953). Stamm and Hansen (1937), kuru odunun ısı işleme maruz bırakılması sonucunda higroskopisitede önemli oranda bir azalma meydana geldiğini, aynı işlemin rutubetli oduna uygulanmasıyla higroskopisitenin azalmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca rutubetli oduna uygulanan ısı işlemin kuru oduna uygulanan ısı işleme 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 işleme bozundurulması ve bunun sonucunda suyla reaksiyona girebilecek serbest polar adsorpsiyon grupları miktarının bir başka deyişle higroskopisitesinin azaltılmasıyla oduna boyut stabilizasyonu kazandırılmaktadır (Inoue et al., 1993; Feist and Sell, 1987). Selüloz ve kısmen lignin hemiselülozlardan daha yavaş ve daha yüksek sıcaklıklarda degrade olmaktadır. Başlangıçtaki hemiselüloz birimlerine göre ısı işleme 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 and 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 (Hillis, 1975; Millett and 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 and Sell, 1987). Isıl işlemin 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 ısıl 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 ısıl işlem süresi ve sıcaklığına paralel olarak artma göstermiştir. 180⁰C'de 6 ve 24 saat süreyle yapılan ısıl işlemlerde; sorpsiyon kapasiteleri benzer oranda azalan örneklerin, 24 saat süreyle uygulanan ısıl işlemden sonraki sorpsiyon kapasitelerindeki azalış, 48 saat süreli ısıl işlem ile karşılaştırıldığında daha fazla olmuştur. Bu durumun; muhtemelen ligninin ergimesi gibi kimyasal proste meydana gelen değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Isıl 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 and 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 165°C'den 205°C'ye değişen sıcaklıklarda 6 saat ısıtılma işlemi ile su itici etkinlik değerinde düşüşlerin belirginleştiğini ifade etmiştir.

Boyutsal stabilizasyondaki değişimin kullanılan muamele atmosferine bağlı olarak ciddi oranda değiştiği gözlenmiştir. Odun örnekleri 300°C'de hava ya da nitrojen ortamında ısıtılmış ve ağırlık kaybının %20 olduğu noktada, boyutsal stabilizasyon maksimuma ulaştığı belirlenmiştir. Bu ağırlık kaybının yanında boyutsal stabilizasyondaki artış 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 stabilizasyondaki artışın, termal modifikasyon süresince eter çapraz bağlarının oluşumunun ciddi bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Ligninde çapraz bağ oluşumu, termal olarak modifiye olmuş odunun boyutsal stabilizasyonunda bir gelişme sağlayan faktörler arasında olmayabileceği düşünülmektedir (Burmester, 1975). Hemiselülozun kaybolması ısıtılma 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 ısıl 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 and 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 ısıl işlem uygulamasıyla, kayın, kızılâğaç, 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 and Sell, 1987; Giebeler, 1983; Burmester, 1973; Viteniemi, 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'in 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 300°C'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 a 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 100°C'de 24-96 saat ısıtılma maruz bırakıldıktan sonra odun higroskopisitesinde sıcaklığın artmasıyla birlikte bir azalma; fakat sorpsiyon karakteristiklerinde bir durağanlık gözlenmiştir (Nikolov and Enceev, 1967).

Hıllıs and Rozsa (1978) 100°C'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 stabilizasyonu kazandırmışlardır.

Bir diğer çalışmada ise; rutubetli haldeki meşe, kayın ve sarıçam odunlarının bir otoklav içerisinde ve basınç altında muamelesiyle ısıtılma işlemi 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 550-80 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 (Giebel, 1983).

Basınç altında iken sıkıştırılarak yada buharlanarak ısı işleme tabi 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 (Inoche et al., 1991).

Keith and Chag (1978) yaptıkları çalışmada; 220⁰C'de 2 saat süreyle ısı işlem uygulama sonucunda denge rutubet miktarının %50 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Repellin and Guyonnet (2005) yaptıkları çalışmada; 60⁰C'den 200⁰C'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 ilk bahar 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 çatlamlara neden olmaktadır. Çatlaklar daha ziyade hücre köşesinde yer alan S1 ve S2 geçitleri arasında olduğu gibi en zayıf bölgelerde de gözlenmektedir (Fengel and Wegener, 1989). 180-200⁰C sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakılan ladinin yaz odunu traheitlerinde meydana gelen çatlamlar aynı zamanda, birleşik orta lamelde ve S1 tabakasının bitişiğinde gözükmektedir (Fengel, 1966).

180-200⁰C sıcaklıklarda ve 8-10 barlık bir inert gaz atmosferinde, rutubet, ısı, basınç muamelesiyle ısl işlem 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 odu 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 odununkinden 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 diğerk çalışmada, 220⁰C de 6-8 saat süreyle ısııl işleme tabi tutulmuş Fin çamı, kayın ve ladin örneklerinde mikroskobik incelemeler ışığında hücre duvarı içerisinde boyuna yönde çatlakalr, 220⁰C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yine hücre duvarı içerisinde yarıklar tespit edilmiştir (Anonymous, 2003).

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

MAILUM and ARENAS (1974); 90,110,130,150 ve 175⁰C sıcaklıklarda 240 saat süreyle farklı Filipin odunu türlerinin kalitesi üzerine kuru ısııl işlem muamelesinin etkilerini araştırmış ve odun renginin sıcaklığa bağlı olarak açık renkten koyu kahverengine doğru değiştiğini tespit etmişlerdir. Belirgin renk değişimlerinin yapraklı ağağ odunlarında 60⁰C'de iğne yapraklı ağağ 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 ısııl işleme tabi 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 ısııl muamele sonucunda ise koyu bir sararma meydana gelmiştir. Çeşitli zaman periyotlarında ve özellikle yüksek sıcaklıklarda ısııl işleme tabi tutulan tüm örneklerde önemli derecede renk koyulaşması görölmüştür (Inoue et al., 1993).

110-180⁰C sıcaklıklarda ısııl işleme maruz bırakılan kayın ve çam diri odunu örneklerinin renk bozulmalarını değerlendirmek için spektrofometere vasıtasıyla spektral yansıma eğrileri kaydedilmiştir ısııl işlem süresine ilaveten, ısııl 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 odunun da daha fazla olmuştur (Schneider, 1973).

SEHLSTEDT-PERSON (2003), 65–95⁰C’de sarıçam ve ladinin diri odununun termal muamelesinde renk değişimleri gerçekleştiği belirlenmiştir. Ekstraktiflerdeki bileşikler bu değişikliklerin ana sebebi olduğunu görülmüştür. Sonuç olarak renk değişimleri kompleks değişimlerin orijinlerinde lignin, hemiselülozun degradasyonu ve belirli ekstraktif bileşiklerden kaynaklandığını 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 olmasına bağlı olarak değiştii görülmüştür. Kullanım esnasında renk performansını belirlemek için bazı çalışmalar yapılmıştır (Bourgois et al., 1991; Bekhta and Niemz, 2003). Termal olarak modifiye olmuş odunun renk stabilizesi hızlandırılmış dış ortam direnci süresince kontrol örneklerinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Fakat renk, ısıl işlem görmüş odun da bir dış koruyucuyla muamele edilmezse kaybolduğu gözlenmiştir (Syrjanen and Kangas, 2000; Ayadı et al., 2003).

Isıl işlemle meydana gelen renk koyulaşması sonucunda odun yüzeyi koruyucu bir tabakayla kaplanmadıktan sonra UV ışığına karşı dayanıklı olmamaktadır. Normal boyama işlemlerinde problem olmakla beraber eloktrastatik boyama kullanıldığında ısıyla muamele edilmiş odunda ekstra bir rutubetlendirilmeye bir 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 (Mıltız, 2002).

225⁰C sıcaklıkta buhar altında 6 saat süreyle ısıtılma tabi tutulan ladin levhalarının yüzeyleri dış cephe örtücüleri ile kaplandıktan sonra 5 yıl süreyle açık hava şartlarına maruz bırakılmıştır. ısıtılma işlem görmüş levhaların açık havaya karşı dayanımları su ve solvent esaslı boyalarla kapatılmış malzemelerde artmıştır (Jaemsea et al., 2000).

Farklı laboratuvarlarda ısıtılma işlem uygulanan ağaç malzemenin tutkallanabilirliği konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Çalışmalar 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 güç penetre olduğu gözlenmiştir. 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 and Oksanen, 2002).

Benzeri bir çalışmada havada kurutulan İskoç çamı ile 24 saat boyunca 230⁰C sıcaklıkta ısıtılma tabi tutulan İskoç çamı odunundan buharlaşarak ayrılan organik bileşiklerinin emisyonunun, havada kurutulan odun örneklerinden 8 kat daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır (Manninen et al., 2002). ısıtılma işlem uygulamasından sonra odunda serbest furfural ile alakalı olduğuna inanılan çok karakteristik bir karamel kokusu hissedilmektedir (Mıltız, 2002). ısıtılma işlem görmüş odunun hoş olmayan kokusu muameleden 2–3 hafta sonra kaybolur (McDonald et al., 2002).

1.1.2 Isıl İşlemin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

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

Odunun direnci ve serliği ısıtıldığında azalmakta, soğutulduğunda da artmaktadır. Odun kısa süreli ısıtıldığında 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 ısıl işleme maruz bırakılırsa ortaya çıkmaktadır. Odunun mekanik ve teknolojik özelliklerinde meydana gelen bu tip dönüşümsüz değişimlerin odun maddesinin termal bozunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Mitchell, 1988). Termal bozunmayla en çok etkilenen mekanik direnç özellikleri şok ve eğilme direnç özellikleri en az etkilenen ise elastikiyet modülü ve ağırlık kaybıdır (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 and 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 ve 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 kütlelerin düşüşü diğer özgül kütleyle bağlı olan mekaniksel özellikleri de olumsuz yönde etkilemektedir.

Odunun direnci sıcaklıkla birinci dereceden ilgilidir. Dirençteki lineer düşüşler -200°C 'den 160°C 'ye doğru değişen sıcaklıklardaki artışlarda daha net göze çarpar. Isının odun üzerinde etkileri 2 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. Sıcaklık $55-65^{\circ}\text{C}$ 'de ilerleyen periyotlarda (2-3 ay) hemiselülozun depolimerizasyonu yavaşça baş gösterir (Feist et al., 1973; Levan et al., 1991). Bu süre ilerledikçe pirolizin 250°C de hızlı gerçekleştiği görülmüş olan hücre duvarı polimerlerinin buharlaşması, havasız ortamdaki kömürleşme oluşumu ve hava varlığında gerçekleşen tutuşma artar. 102°C 'de 335 gün fırında ısıtılan duglas göknarının eğilmede elastikiyet modülü %17, eğilme direnci %45 ve liflerde oluşan stresin sınırları %33 oranlarında düşmektedir (Millet and Gerhards, 1972). Aynı kayıtlar 160°C 'de 7 gün içinde gözlenebilmektedir. Havasız ortamda 10 dakika. 210°C 'de ısıtılan iğne yapraklı ağaçların'ın eğilme direnci %2, sertliği %5 ve yüzey kabalığı %5 oranlarında düşmektedir. 280°C 'de aynı şartlar altında MOR %17, sertlik %21 ve yüzey kabalığı %40 oranlarında düşer. Her iki örnekte ısı, hava ve zamanın birleşik etkilerini göstermektedir.

15 dakika periyotlarda nitrojen altında 20°C 'den 295°C 'ye kadar ısıtılan aynı örneklerle 25°C 'de ısıtılan çam örneklerinin fotomikrografiklerinin

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 hidrolizle 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 et al., 1991; Winandy et al., 1991; Winandy, 1995a; Levan and Evans, 1996; Green et al., 2003, Winandy, 2001).

Kurutulmuş çam ve kayın odunun da 100-200C 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 diren özelliklerinde meydana gelen çalışmanın hava varlığın da ve yokluğun da 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 ısı işleme maruz bırakılan çam ve kayın diri odunun da (%12 rutubet) 20mm 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 oranın da 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 ısıtılma ya da 30-120 dakika süreyle buharlama işlemine tabi tutulduğu bir başka çalışmada en çok etkilenen tür kırmızı meşe olmuştur. Buharlama işlemi ısıtılma göre sertlik ve karbonhidrat miktarını daha fazla azaltmıştır. Fiziksel ve kimyasal değişiklikler 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 and Thompson, 1964).

100,130,150,180 ve 200⁰C sıcaklıklarda 6,24ve 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 basın 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 (Kıtahara and 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 and Lucia, 1983). Stiren, akrilolitritil ve metilmetakrilat karışımı ve fenol formaldehit reçinesi ile modifiye edilip 200 ve 300⁰C sıcaklıklarda 10, 20 ve 30 dakika süreyle ısıtılarak işleme maruz bırakılmış kayın odununun da ağırlık kaybı ile eğilme basınç dirençleri arasındaki ilişki doğrusal bulunmuştur (Panaiotov and Mateeva, 1984).

Eğilme direncinde genelde düşüş 220⁰C'den sonra başlamaktadır. Sonuçlar ısıtılarak işlem görmüş odunun elastikiyet modülünün değişmesi üzerinde önemli olmadığını göstermiştir. Odun örnekleri %45 ve 65 nispi nemde kondisyonlanmaktadır. Odunda budak bulunması ısıtılarak işlem görmüş odunun direnç değerlerini; ısıtılarak işlem uygulanmamış olana göre daha düşük olmasına neden olur. Bu; diğer faktörler arasında reçinenin odundan ekstrakt edilmesindedir. ısıtılarak işlem görmüş olan odundaki az ya da çok orandaki düşüşten dolayı ısıtılarak işlem görmüş odunun yapılarda kullanılması tavsiye edilmemektedir (Green, 1999).

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

Kayın ve ladin odunu örnekleri 100-200⁰C sıcaklıklarda 96 saat süreyle hava ve vakum ortamında ısıtılarak işleme tabi tutulmuştur. Aynı ağırlık kayıplarında maksimum direnç ve maksimum yüklemeye kadar yapılan iş 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 ısıtılarak 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 ısı işleme 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 ısı 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 ısı işleminden özellikle 200⁰C ve 220⁰C'lerdeki uygulamalardan sonra görülmüştür (Inoue et al., 1993).

Quercus cerris odunu yongalarının 230-300⁰C de 1-8 dakika süreyle ısı 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 ısı işleme 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 and Fortes, 1989).

140-180⁰C sıcaklıklarda 15 dakika ile 50 saat'lik zaman periyotlarında sert lif levhaya uygulanan ısı 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 oranında bir düşüş kaydedilmiştir (Voss, 1952).

Kavak odunundan elde edilen lif levhaya uygulanan bir diğer ısı işlem çalışmasında (160⁰C'de 2 saat) çekme eğilme dirençlerinin de meydana gelen % 15-30 oranındaki artışın nedeni, liflerin kendi dirençlerindeki artıştan kaynaklanmamaktadır. Çünkü, ısı işlem dirençte bir azalma meydana getirmekten ziyade, selülozun polimerizasyon derecesini azaltıcı bir rol oynamaktadır. Dahası lignin içermeyen bir materyalden yapılmış lif levhalarda ısı 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 and 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 puteana* ve *Poria placenta* ki bu mantarlar en yaygın ve en fazla çürümeye sebep olan biyolojik zararlıdır. Sonuçlar kahverengi çürüklüğe karşı direncin ısıl işlem görmüş odunda daha iyi olduğunu göstermiştir. Fengel and 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 and Navarrate (1994), kavak odunu 220, 230, 240, 250 ve 260°C sıcaklıklarda 5, 10, 15, 20 saat termal muamele sonucunda kavak odununun çürüme direnci ciddi oranlarda arttığı belirlenmiştir. Rapp and Sailer (2000), sıcak hava ve sıcak yağla yapılan ısıl muameleden sonra deniz zararlıları ile ilgili çalışmalar halen devam etmesine rağmen ilk yayınlanan sonuçlara göre ısıl işlem uygulamasının olumlu etkiler gösterdiği belirlenmiştir.

Böcek Saldırıları: Yapılan testlere göre ısıl işlem görmüş odunun böceklere karşı direncinin iyi olduğunu göstermiştir. Fakat özellikle ısıl işlem görmüş çam

ağacına bal arılarının yumurtalarını bırakmaları için en uygun yer olduğunu göstermiştir. Bunun nedeninin de ısıtma işlemi gördüğü 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 150⁰C buhar ortamında ve 150⁰C'de hava ortamında çeşitli periyotlar süresince *C. formosonus* ya da *R. speratus* termit türleriyle saldırı ortamında ısıtma yapılmıştır (DOI et al., 1997; 1999). Buharla yapılmış olan ısıtma işleminin böcek saldırılarına karşı etkili olduğu görülmüş ve buna karşın ısı ile yapılan ısıtma işleminin çok az etkisi olduğu belirlenmiştir.

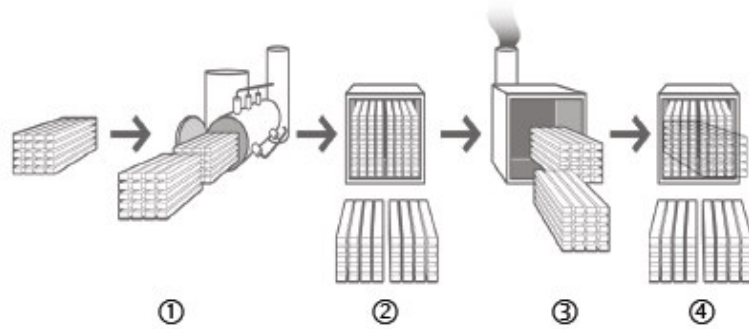
Mikrobiyolojik Saldırıları: STAMM and BAECHLER (1960), 2 ay *Trametes serialis* mantarıyla ısıtma işlemi görmüş odun maruzu çalışılmış ve ASE (Su İtici Etkinlik) değerleri %40'ı geçtiğinde hiçbir kütle olmadığı belirlenmiştir. Termal olarak modifiye edilmiş odun *L. trabea* (*G. trabeum*) ile muamele edildikten sonra meydana gelen çürümeden dolayı %42'lik ASE kütle kaybı odunda %12-14'lük bir kayıp olduğunu gösterdi. Termal muamele için kataliz olarak ZnCl₂ kullanımında çok fazla oranda bir gelişme çürüme direncinde gözlenmiştir. Beyaz çürüklük mantarı *C. versicolor* ve 2 tane kahverengi çürüklük yapan mantarla (*G. trabeum* ve *C. putenna*) 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 250⁰C'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), ayrıca 220⁰C ile 260⁰C arasında değişen sıcaklıklarda yine retified

olmuş odunun çürüme direnci incelendi. 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 durum düşük sıcaklıklarda modifiye edilmiş odunda çok daha düşük olduğu ayrıca belirlenmiştir. Vitanenn et al. (1994), ısı işlem görmüş odunun saf kültür testlerinde *C. puteana* mantarına karşı istenilen seviyelerde direnç gösterdiği belirlenmiştir. Isıl işlem süresince polisakkarit kaybı kahverengi çürüklük direnci, beyaz çürüklükle karşılaştırıldığında daha yüksektir. Tjeerdsma et al. (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 and RAPP, 2004).

1.2 Isıl İşlem Metotları

Ahşabın ısı işleme tabi tutulması ile ilgili bu güne kadar yapılan çalışmalar neticesinde Avrupa pazarında kabul görmüş ısı 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 ısı işleme tabi tutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ısı 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 kuru haldeki ahşap kuvvetli bir atmosferik basınç altında 160-190°C sıcaklıklarda 4-5 saat ısıtılma tabi tutulmaktadır. Isıl işleme tabi 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 ısıtma 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 et al., 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

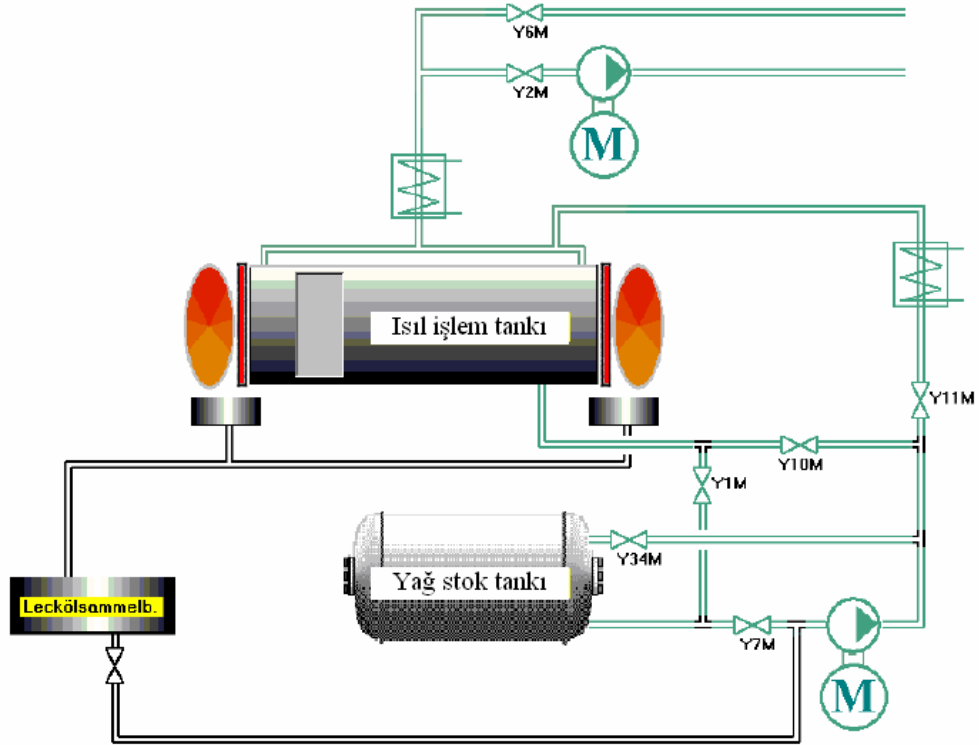
Şekil 1. Plato Wood Metodu İşlem Basamakları (Militz and Tjeerdsma 2001).

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 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 ısıtılmasına tabi tutulması için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksektir. Bu durum sıcak yağ banyosunda ahşabın ısıtılmasına tabi 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 uygulanmaktadır. Üçüncü safhada ise soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Isıtma işlemi kapalı bir tankta (PT) gerçekleştirilmektedir. Ahşap bu tankta yerleştirildikten sonra stok tankından (VT) ısıtma işlemi tankına sıcak yağ pompalanmakta ki bu yağ ahşabın etrafında yüksek sıcaklık sirkülasyonu sağlamaktadır. Isıtma işlemi uygulandıktan sonra ahşap ısıtma işlemi tankından çıkarmadan önce sıcak yağ stok tankına geri gönderilmektedir. Bu metotta malzeme kalitesine göre farklı sıcaklık uygulanmaktadır. Isıtma işlemi 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 ısıl işlem uygulamasında ahşabın kalınlığının orta noktası bu sıcaklığa ulaştığında ısıtma ve soğutma zamanları hariç 2-4 saatlik ısıl işlem süresi uygulanmaktadır. Toplam ısıl işlem süresi 17-19 saat kadardır. Isıtmada ham bitkisel yağ (şalgam tohumu, keten tohumu ve ayçiçeği yağı) kullanılmaktadır (LEeithoff and Peek, 1998).



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

8500m³ kapasiteli bir fırın 450000€’ 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 ısıtılma işlemine tabi tutulmaktadır. Isıtılma sıcaklığı 210-240°C'dir (Vernois, 2001).

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

Retification ve Le Bois Perdure metodunun ikisinde 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 işlemi 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 gaz 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).

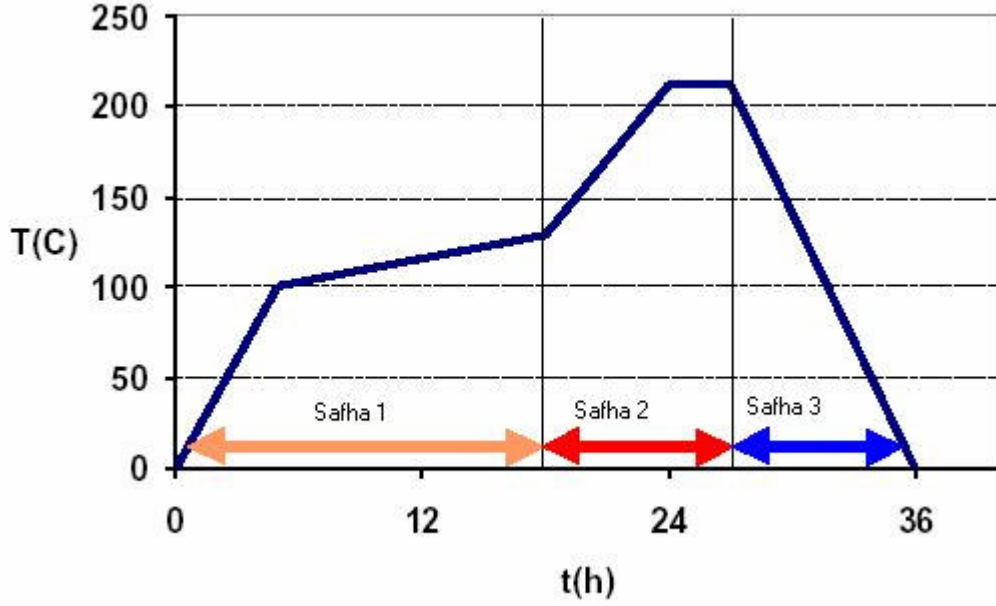
Bu metodun safhaları şu şekildedir:

1.Safha- Isıtılma işlemi uygulamada en fazla zaman gerektiren safha: 1. safha yüksek sıcaklıkta kurutma safhası olarak da adlandırılır. Bu safha (ısıtılma işlemi 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, ısıl işlem 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 ısıtma ekipmanları boyasız çelikten yapılır. İlave 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 ilave ısıtma işlemi 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 ısıtılma 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 ısıtılma 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

Rowll and Konkol (1987), yüksek sıcaklıkta bir vakum ortamında ısıtılan odun, suda çözünmeyen polimerlerin oluşumunu sağlayan hemiselülozların parçalanması ve lignin kayıplarına sebep olur. Bu muamele odunun kararlılığı artmasına rağmen direnç düşer. Isıtılma işlem, boyutsal stabilizasyonu ısıtılma zamanı ve ısıtılma sıcaklıkları artarken yükselmiştir. Şişme ve daralma %40 düştüğünde yüzey kabalığı muamele edilmemiş odunun yarısından daha az olduğu belirlenmiş ve arabinozun direnci düşürdüğü bulunmuştur. Muamele görmüş odunun higroskopluğuna ciddi oranlarda düşmüş ve çürümeye olan direnci artmıştır.

Feist and Sell (1987), ladin ve kayın örnekleri 175°C ve 195°C sıcaklıklar arasında ısıtılma işlem uygulanmış ve örnekler doğal ve yapay dış ortam koşullarına tabi tutulmuştur. Örnekler ısıtılma işleminden 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 ısıl işlem den sonra önemli derecede düşmesine rağmen, dış ortam performansı belli bir süre sonra kötüleştiği görülmüştür.

Sehlstedt-Person (1995), Odunun özellikleri üzerinde yüksek sıcaklığın etkisini araştırmak için Sarıçamdan yapılmış levhalar iki yüksek sıcaklık programında (ht) ve bir tane düşük sıcaklıkta (lt) 33 farklı kombinasyonda kurutulmuştur. Sonuçta su alma testleri, makaslama direnci ve bağıl nem dengesinin önemli oranlar da düştüğü ve bu düşüşte muamele sıcaklıklarının önemli olduğu belirlenmiştir. Su alma ve verme oranları yüksek sıcaklıklarda, düşük sıcaklıklarda yapılan muamelelere göre MC değerinde %3-4 oranının da daha az olduğu ve histeresin yüksek sıcaklıkta kurutulan örneklere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Karbonhidrat analizleri yüksek sıcaklıklarda hemiselülozlarda meydana gelen parçalanmadan dolayı daha düşük su alma özelliği göstermiştir.

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

Hunter and 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 Po (Serbest Buhar Basıncı) ise P-Po faktörü göz önünde tutulması gerektiği belirlenmiştir. Kütle kaybı ve ısınma katsayıları sınırsız oranda arttığından dolayı yüksek sıcaklıkta ve rutubette bu faktörler önemli olduğu belirlenmiştir.

Tjeerdsma et al. (1998), boyutsal stabilizeyi ve kereste performansını için yumuşak termal muamelelerle araştırılmıştır. Karbonhidratların çatlamasıyla oluşan katalizle hemiselülozdan ayrılan asetik asit formasyonu olması karbonhidratların polimerizasyon derecesinin düşmesine neden olur. Asit katalizi ile degradasyon bazı Ligninin çatlamalarıyla formaldehit, furfural ve diğer aldehit formasyonları oluşur ve ilk reaksiyon basamağındaki tüm oluşumlar lignin ünitelerindeki C%'den bazı aldehit ürünlerinin oluşmasına sebep olduğu düşünülmüştür. 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 olduğu ifade edilmiştir. Aromatik nüklei alanlar demetaksilasyonla serbest kalır ve çatlamayla pozitif yüklü benzilik karbon oluşur. Aldehit gruplarının bazı reaksiyonları metilen köprülerinde aromatik zincirle birleştiğinde ligninde aromatik nüklei alanlar ilk basamak sonunda meydana gelirler. Boyutsal stabilitedeki gelişimini ve odunun higroskopisitesinin azalmasıyla çapraz bağlanmada artış olduğu görülmüştür.

Bhuiyan et al. (2000), odunun yüksek sıcaklıklarda fırın kurusu ve nem içerikli şartlar altında selüloz kristallerinin değişimini x-ray yardımıyla incelemişlerdir. Sonuçta odun selülozunun kristalliğinin artırdığı 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 ve saf selüloz daha fazla yarı kristalin bölgeler saptamışlardır.

Jaemsae et al. (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 ortam maruz bırakılmıştır. Isıl işleme tabi tutulmuş fakat yüzey koruyucuları uygulanmamış panellerin dış ortama gösterdiği direncin 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 boyalarla artırılabilceği belirlenmiştir.

Kubojima et al. (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 ısıl işlemin başlarında artmasına rağmen, sonlara düşmektedir. Ayrıca hava ortamında nitrojende olduğundan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Eğilme direnci ısıl işlemin ilk basamaklarında yükselmesine rağmen daha sonra düşüş göstermiştir. Bu durum hava ortamında nitrojende olduğundan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem süresi artarken kopma için gereken çalışma sürekli bir azalma gösterir. Nitrojen ortamında ise havada olduğundan daha düşük seviyededir. Bununda ısıl işlem görmüş odunun, ısıl işlem uygulanmamış olanına göre statik eğilme de daha

gevrek olduğundan meydana geldiği düşünülmektedir. Kopma için gerekli çalışmanın azalmasına katkı sağlayan ana faktörün vizkosite ve plastiklik olduğu ve elastikliğin bir katkısının olmadığı görülmüştür. Şok direncinde emilen enerji ısıtma işleminin ilk basamaklarında artmakta ve sonradan düşmektedir. Bu olay hava ortamında nitrojende olduğundan daha düşüktür. Sonuçta ısıtma işlemi uygulanmış odun şok direncinde daha fazla gevreklerdir. Çünkü eğilmede emilen enerji ısıtma işlemi süresince düşüş gösterdiği belirlenmiştir.

Kamdem et al. (2000), odunun boyutsal stabilizasyonunu (kararlılığını) ve kerestenin performansını geliştirmek için tek basamaklı bir işlemle hafif derecede termal muamele uygulanan odun, termal muamele esnasında oluşan toksik bileşiklerin varlığını belirlemek için çeşitli organik çözücülerle ekstrakte edilmiş ¹³C NMR kütle spektroskopisiyle incelenmiştir. Farklı poliaromatik bileşikler kadar, bazı toksik aromatik hidrokarbon türevlerinin çeşitli formları belirlenmiştir. Bu bileşiklerin varlığı, nispeten daha fazla dayanıklılık sağlayabilir ve ısıtma işlemi uygulanmış odunun mantar ve diğer biyolojik saldırılara karşı daha dirençli olabileceğine karar belirlenmiştir. Ayrıca diğer oluşan ve toksik olmayan bileşiklerde odunun yapısının degradasyonu, özellikle ligninin piroliziyle oluşan ürünler olduğu düşünülmüştür. Isıtma işlemi uygulanmış odunda toksik ve toksik olmayan bileşiklerin oranları ölçülmüş ve az bir oranda olduğu belirlenmiştir.

Vernois (2001), Farklı atmosfer şartlarında odunun boyutsal kararlılığı ve lignoselülozik materyallerin rutubet absorpsiyonunun sınırlarını belirlemek için odun örnekleri yaklaşık olarak 180⁰C'den 250⁰C'ye ısıtma işlemi uygulanmıştır. Yüksek sıcaklıkta ısıtma işlemi gerçekleşirken rutubet absorpsiyonunun kinetiği muamelenin uygulanmasıyla hacmin azalmasıyla modifiye olan ahşap materyalin mekanik özelliklerde de ciddi oranlarda önemli bir düşüş gözlenmiştir.

Santos (2000), okaliptüs odunu üzerinde %25'lik ASE değeri ve 180°C sıcaklıklarda 3 saat ısıtma işleminin etkisi, odunun direnç özelliklerinden elastikiyette eğilme modülü ve lifler dik çekme direncinin etkilendiği, bunun yanı sıra boyutsal stabilite hakkında bazı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma sonuçları ısıtma muamelesinin, 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 bulunmamıştır.

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

Leithoff and Peek (2001), 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 belirlenmiştir. Çürüklük saldırılarına karşı olduğu kadar *Basidiomyceteslere* karşı iyi bir direnç gösterdiği belirlenmiştir ve bu direncin kazanması için 220°C 2 saat süreyle ısıtma muamelesinin yeterli olacağı belirlenmiştir.

Ayrıca yapılan çalışmalarda yumuşak çürüklük kadar *C. Puteana*'ya da yüksek direnç gösterdiği belirlenmiştir. Eğilme direncin de ve şok direncinde ciddi düşüşler olmasına rağmen elastikiyet modülünde ciddi neredeyse hiçbir düşüşe rastlanmamıştır. Bu düşüşün de muamele sıcaklığı ve muamele zamanına bağlı olduğu tahmin edilmektedir.

Kamdem et al. (2002), ısıtılmış işlem görmüş odun agar blok ve modifiye edilmiş blok testi kullanarak çürüme dayanımı ve su absorpsiyonu, eğilme direnci, lignin içeriği ve asit içeriği incelenmiştir. Isıtılmış işlem görmüş odunlar daha fazla lignin içermektedir ve ısıtılmış işlem görmüş odunda ekstraktif bileşikler ve bazı hemiselülozların parçalandığından ısıtılmış işlem görmemiş odunla karşılaştırıldığında daha düşük asitlik sayısına sahiptir. Suyla ıslanma ya da yüksek bağıl nemle maruz boyunca odunun absorbe ettiği suyun önemli bir miktarı ısıtılmış muamele görmüş odunda hemiselülozların uzaklaşmasını; ligninin parçalanması, ligninin benzer halkalarının ve organik asitlerin çapraz bağlanma reaksiyonlarından daha önemli olduğu belirlenmiştir. Odun örneklerinin saf bir kültür mantarıyla muamelesiyle ağırlık kaybının meydana geldiği görülmüştür. Bu ağırlık kayıpları 12 hafta boyunca yapılan testlerde 6. ya da 8. haftalar arasında görüldü. Testlerde *G.trabumun* %1'lik ağırlık kaybına neden olduğu ve *P. placenia* için ise %46 ağırlık kaybı olduğu görülmüştür. Isıtılmış 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 ısıtılmış işlem örneklerinin mantar saldırılarının dirençlerinin orta seviyede olduğunu göstermiş ve dirençteki düşüşlerden dolayı yapılarda kullanımının sınırlı olacağı belirlenmiştir.

Alen et al. (2002), ladin (*Picea abies* L.) odununu buhar atmosferinde 180–225°C sıcaklıklar altında 2–8 saat arasında ısıtılmış işleme 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 65–95⁰C’de 0 ile 6 saat ısıtma işlemi uygulanmıştır. Isıtma işlemi zamanı, huş diri odununda renk oluşumu 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. Isıtma işlemi sıcaklığı 80⁰C’nin üzerinde koyulaşma genellikle daha fazla olmaktadır. Çam ve ladin genellikle daha koyu renk gösteren öz odunun dışında ısıtma işlemi görmüş ve görmemişleri benzer renk oluşumu gösterirler. 65–80⁰C’de ısıtma işlemi uygulanmış çam odununu 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 ısıtma işlemi zamanı arttıkça genellikle düşmektedir.

Militz (2002), çalışmada farklı ısıtma işlemi 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 ısıtma işlemi 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. Higroskopikte üzerinde ısıtma işleminin güçlü etkisi olduğu ısıtma işlemi görmüş odunun histeres eğrisinin ısıtma işlemi 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 ısıı 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 durum muamele sonrasında oluşan furfuraldan dolayı olduğu tahmin edilmektedir.

Yıldız (2002), ısıı işlem görmüş Kayın ve Doğu Ladini odunları atmosferik şartlarda 2,6 ve 10 saat 130, 150, 180, 200°C ısıtılmıştır. Sonuçlar fiziksel özelliklerden boyutsal stabilizasyonda ısıı işlemin memnuniyet verici olduğunu göstermiştir. Mekanik ve teknolojik özelliklerinin değerleri genellikle maruz olduğu şartların ve sıcaklığın ağırlaştırılmasıyla bir düşüşe sebebiyet verdiği görülmüştür. Kimyasal özelliklerin, holoselülozların ısıı işlem süresince en çok degrade olanı olduğunu belirlemişlerdir.

Bekhta and Niemz (2003), kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) odununun mekanik özellikleri, boyutsal stabilizasyonu ve renk değişimi üzerinde yüksek sıcaklığın etkisi araştırmışlardır. Sonuçta; mekanik özelliklerde düşüşün gerçekleştiğini, odunun boyutsal stabilizasyonunun arttığını ve odun renginin koyulaştığını ifade etmişlerdir. Isıı 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. Isıtma 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.

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

Chow and Pickles (2003), bazı odun türlerinin termal olarak yumuşatılması ve degradasyonu dakikada 16°C artış gösteren bir termogravimetrik analizler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Odun 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 160°C sıcaklıklarda başlayan yumuşama oranları 280°C, 320°C ve 380°C maksimum olmaktadır. Odun ve kabuğun 160°C'deki yumuşamanın başlamaması %30'luk sınırlarda artan nem oranı ile yükseldiği görülmüştür. 200°C'nin altında su varlığında odun ve kabuğun yumuşaması bir plastikleştirici gibi hizmet veren su varlığında sadece amorf bölgelerde olduğu belirlenmiştir.

Green et al. (2003), 66°C ile %75 bağıl nem ve 82°C ile %30 bağıl neme maruz bırakılan kompozit kereste, masif kereste Lamine edilmiş kaplama kereste (LVL) ve lamine edilerek yönlendirilmiş kereste (LSL) esneme özellikleri üzerinde ısıtma muamelesinin kalıcı etkileri araştırılmıştır. 3 yıl süreyle 66°C and %75 bağıl nem maruzundan sonra masif-ladin-çam-göknaar (SPF) ve Douglas göknaarı orijinal kopma

modüllerinin %72 ve kuzey çamında %47 kadardır. 2 veya 3 yıllık maruzdan sonra LVL kopma modülü değişimleri masif SPF ve Douglas göknarına benzer şekilde değişim göstermiştir. 6 yıllık maruzdan sonra SPF orijinal MOR %67 oranlarına düşmüştür ve LVL %26 ile %49 arasında değişmektedir. LSL'in kopma modülü 28 aylık maruzdan sonra hem masif kereste ve LVL'den daha hassas olduğu belirlenmiştir. 21 aydan sonra at 82°C ve 30% bağıl nem, masif kerestenin kopma modülü %50 ile %55 arasındadır. LVL %41, ve LSL %45 civarındadırlar. Sonuçta tüm örneklerin elastikiyetleri termal muameleye karşı hasas olduğu görülmüştür. Masif odunun kopma modülü üzerinde sıcaklığın etkisi sıcaklığın derecesine bağlıdır. Sonuçlara göre komposit keresteler termal degradasyona karşı direnci çok hassastır. Türler ve ürün tipleri arasında kopma modülü arasındaki farklılık düşük rutubette, yüksek rutubet oranlarına göre daha düşük olabileceği belirlenmiştir.

UNSAL et al. (2003), ısı muamele görmüş ekaliptus odununun renk, fiziksel ve mekanik özelliklerinin üzerine etkileri belirlenmiştir. Isıl işlem uygulanmış ekaliptus örneklerine sertlik, şişme, fırın kuru ağırlık ve örneklerin renk değişimi muamele edilmemiş örneklerle karşılaştırılarak test edildi. Sonuçlar ısıl işlem ile odun örneklerinin renkleri koyulaşırken, ısıl işlem sıcaklığına ve şartları artırdıkça yoğunluk, şişme ve sertlikte düşme görüldüğü belirlenmiştir.

Sundqvist et al. (2003), 160–200°C sıcaklıkta huşun ısıl 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 bulundu. Asit konsantrasyonu hem ısıl işlem hem de sıcaklık artışıyla yükseldiği ifade edilmiştir. 180°C'de asetik asit ve formik asit oluşumu maksimum seviyede olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan sıcaklıklarda 4 saat boyunca ısıl işlemde kuru odun ağırlığına göre %1.1–7.2 kütle

kaybı görülmüştür. Isıl işlem görmüş odun materyali 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 sıcaklıkları 180–200⁰C sıcaklıklar arasında ve kısa zaman periyotlarında olması gerektiği belirtilmiştir.

Weiland and Guyonnet (2003), Odunun yumuşak şartlarda ısıl işlemi makroskopik özellikleri (boyutsal kararlılık ve mantar degradasyonunda karşı direnç) geliştirilmektedir. Isıl işlemin etkilediği kimyasal modifikasyon, moleküler seviyede yani makroskopik özellikleri açıklamak için odun bloklarından DRIFT spektroskopisiyle araştırılmıştır. Her iki oluşan yapıda da odunun iyi bilinen hidroliz reaksiyonun olduğu gözlemlendi. Mantar saldırıları, standart bir oksidatif şekilde pentozanların termal degradasyonlarının yer aldığı bulundu. Depolimerizasyon ve kondinazisasyon arasında bir bağ olduğu belirlenmiştir.

Hıllıs (1984), ısıl işlem süresince meydana gelen farklı oluşumların odunun temel özellikleri üzerine selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarlarındaki değişim ve farklılıklar, farklı şartlar altında oluşan degradasyon ürünleri araştırılmıştır. Doğal hemiselülozlardaki değişimler, farklılaşan odun yapısında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Isıl işlem sonucunda kerestelerin öz odunun hacimlerinin, nem yüzdesi ve diğer özelliklerinin değiştiği belirlenmiştir.

Leijten (2004), *Angelim vermelho*, Douglas Göknaarı, Diş Budak ve Melez örnekleri 3 farklı sıcaklıkta muamele edilerek 7 m/s'lik bir ön yükleme ile şok dirençleri ölçülmüştür. 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 da şok direncinin odun türüne ve cinsine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir.

Edlund and 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.

Ishikwa et al. (2004), sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) odunu yüksek sıcaklıkta muamele edilerek nem içeriğindeki değişimler araştırılmıştır. 160°C'de ısıtılardan dolayı odunun yapısındaki meydana gelen kaybın önemli oranda olduğu ve bu kaybın nem değerlerini etkilediği belirlenmiştir. 120°C'de meydana gelebilen kayıpların önemseyecek derecede olmadığı görülmüştür. Isıtıl işlem zamanının ve kullanılan sıcaklık derecelerinin odunun denge rutubetini etkilediği de görülmüştür. Fakat bu durum buhar ortamında yapılmış ısıtıl işlemde gözlenmemiştir. Buharla ısıtıl işlemin yapıldığı kapalı sistemlerde ise doymuş buharın gerek odun yüzeyinde gerekse iç kısımlardaki bozulmayı artırdığı belirlenmiştir.

Mitsui et al. (2004), Odunun fotoğraflarını çekerek lazer ışınlarıyla renklendirme metodu kullanılarak negatif filmlerin iletkenlik etkisi araştırıldı. ΔE^* 100 sa bir ısıtmadan sonra %20 geçen geçirgenlikle örnekler filmlerle kaplandığında lazer ışığıyla düşüş görüldü. Bu olayın Δb^* deki düşüşten dolayı olduğu düşünülmektedir. Lazer ışınması uygulanmış odunun rengi ısıtıl işlemle önemli ölçüde değişti. Fakat ortalama %20 aşan geçirgenlikli filmlerle kaplanan ısıtıl işlem görmüş odunun rengindeki değişim sabit kalmıştır. Elde edilen net fotoğraflar iletken negatif

film kullanılan odun üzerinde yaklaşık %20'den sonra elde edilebilir. Üstelik ısı işlemden sonra ΔE^* 'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki farklılıklar yaklaşık olarak %22 civarındadır.

Rousset et al. (2004), 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 katkıda 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.

Nuopanen (2005), sarıçam Ftir ve UV-Raman Spektroskopisiyle termal olarak değişimleri incelemektedir. Spektroskopik bilgiler termal olarak muamele görmüş odunun yapısı 200⁰C'nin altındaki sıcaklıklarda modifiye olduğunu gösterdi. Bu modifikasyonlar odun reçine bileşenlerinin parçalanması yâda uzaklaşması kadar hemiselülozun parçalanması, ligninin kondenzasyonu ve depolimerizasyon reaksiyonlarının olduğu belirtilmiştir. UV RS ve FTIR verileri, ısı olarak muamele edilen odun, mantar saldırıları ve zararlılarına karşı direnç artmaktadır. Isıl işlem görmüş odunun yüzeyinde lignin yapısı muamele görmemiş odundan daha az zayıftır. Isıl işlem görmüş odun daha düşük denge rutubeti ve şişmeye sahipken ayrıca mantar ve dış ortama karşı direnci artmaktadır. Isıl işlem görmüş odunun ligninin modifiye olmuş yapısı, doğal ortam maruzu süresince ligninin degradasyon reaksiyonlarının olduğu düşünülmektedir.

Sundqvist (2004), Huş odununun ısı işlemi boyunca formik ve asetik asit oluşumu araştırılmıştır. Asit oluşumu (ağırlığına göre %7.2) ve renk değişimi 160–200⁰C arasındaki sıcaklıklar kullanılarak otoklavda belirlenmiştir. Asidik pH

şartlarında ve ticari olarak ısıtıl işlem uygulanmış huş odunu ile laboratuvar şartlarında ısıtıl işlem uygulanmış huş odunun arasındaki ortalama molekül boyutu muamele edilmemiş huşa göre %42–53 düştüğü bulunmuştur.

Sundqvist (2004a), ısıtıl işlem görmüş odunun renk kararlılığı ve kapılar fazda ısıtıl işlem uygulanmış örneklerin renk değişimleri belirlenmiştir. Bu sonuçlar ΔE^*ab ve L^*C^*h koordinatları CIE–Standartlarına göre belirlenmiştir. Deneyler sonucunda ısıtıl işlem görmüş odunun renk kararlılığı, ilk 4 saat dışında ısıtıl işlem uygulanmamış odunun kararlılığıyla karşılaştırıldığı zaman 100 saat maruz boyunca daha iyi olduğu görülmüştür. Huş örneklerindeki renk değişimi, çam ve ladinin ısıtıl işlem görmüş örneklerinden daha fazla görülür. Bunun nedeni yüksek sıcaklıklar ve daha uzun UV–ışığı maruzunun renk tepkisi olabileceği düşünülmüştür.

Ishiguri et al. (2005), 6 Japon iğne yapraklı ağacı $75 \pm 5^{\circ}C$ 'de 200 ve 100 saat dumanla ısıtıl işleme tabi tutulmuş ve etkileri incelenmiştir. Dumanla ısıtmadan sonra özellikle diri odunda rutubet oranı düştü ve kerestelerde rutubet içeriğinin düzenli bir dağılım gösterdiği görüldü. 100 saat dumanla işlem görmüş odunla ve kontrol odunu arasında kimyasal bileşen miktarı olarak hemen hemen hiçbir fark bulunamamıştır. Fakat 200 saat ısıtıl işleme tabi tutulan örneklerin hemiselüloz bozunmasının da olduğu görüldü. kristallik deki artışa, selülozun kristalleşmesi ve/veya hemiselülozun termal bozunmasının dumanla ısıtıl işleme maruz bırakılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 100 saat dumanla ısıtılan örneklerde, kontrol örnekleri arasında diri odun rengi bakımından hiçbir farklılık olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak ΔE^*ab toplam renk değişiminde derinlerde renk değişimi olduğu göstermiştir. Bu sonuçlar 100 saat üzerinde hemiselülozun termal bozunumundan dolayı olduğu belirlendi.

Haeggström (2005), sarıçam örnekleri $60–240^{\circ}C$ sıcaklıkta muamele edilmiş ve kuruma etkilerini non-linear parametreler (B/A) ve elastikiyet modülü zayıfladığı

belirlenmiştir. 140⁰C çevresinde odun özellikleri hem lineer hemde non–lineer arttığı fakat daha sonra 230⁰C’de özelliklerin ciddi oranda düştüğü belirlenmiştir.

Hakkoul (2005), 130 ve 160⁰C’de ısı muameleyle odunun hidrofobikliğinde önemli bir artış olmaktadır. Bu davranış genellikle yüksek sıcaklıklarda rapor edilmekte ve hidrofobik özelliklerin nedenlerini araştırmıştır. Yapılan farklı deneyler sonucunda, degradasyon reaksiyonları ve ekstraktif varlığı bu özelliklerin temelinde olmadığını göstermiştir. Isıl işlem boyunca ıslanabilirlik değişimi, ligninin olası plastikleşmesini ya da kalıntı suyun kaybı ve biyopolimerlerinin düzenlenmesiyle gerçekleştiği belirlenmiştir.

Hakkoul (2005a), göknar, kavak, kayın ve çam türleri buhar ortamında 8 saat süre ile fırın sıcaklığı 20⁰C artışla muamele edilmiştir. 100–160⁰C arasında değişen sıcaklıklarda ısı işleminden sonra odunun ıslanabilirliği ani bir şekilde değişmiş ve kontak açısı ortalama 90⁰’ye ulaşmıştır. 160 ve 260⁰C arasındaki yüksek sıcaklıklarda muamele için, odun 90⁰C’de hidrofobik bir karakteristik özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Kütle kaybı hemiselülozun degradasyonundan dolayı olduğu düşünülmektedir. Terpenler gibi uçucu ekstraktiflerin varlığı 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 çalışılan odun türlerinin ıslanabilirliğini etkilemediği gözlenmiştir.

Persson (2005), ısı muamele görmüş odunun direnç, su alışı-verişi, kuruma davranışı, boyutsal stabilizasyon ve renk değişimi gibi çeşitli etkiler araştırılmıştır. 100⁰C üzerinde ısı işlem ile düşük sıcaklıklarda yapılmış olan ısı işlem arasında lifler yönünde makaslama direnci düşmüştür. Yüksek sıcaklıkta muamele edilen örnekler ile düşük sıcaklıklar 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. Bu da sıcaklık ne kadar yüksek olursa denge rutubet oranı 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 değişimi çam ve ladinin öz odunlarında, çam öz odunu 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 et al. (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 sonuçlar, düşük ısıtma oranlarında örneklerin kütle kaybının düşük olduğu belirlenmiştir. Yüksek ısıtma oranları kullanıldığında kütle kaybı ciddi olarak artmaktadır. Bu nem içeriği ısıl muamele boyunca hücre duvarı polimerlerinin degradasyonu için 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 and Guyonnet (2005), kayın örnekleri kullanılarak, şişme özellikleri farklı tarama kalorimetresi (DSC) doğal ve ısıtılmış odunun Lif Doygunluğu Noktası belirlenmiştir. Termal muameleyle yüksek sıcaklıkla odunun çalışmasındaki ve odunun direncinde meydana gelen düşüslere hemiselülozun parçalanmasının sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Isıtılmış süresince meydana gelen hemiselüloz parçalanmaları ve ligninin kimyasal bozunması odunun sorpsiyon davranışında önemli değişimlerin olmasına sebebiyet verdiği belirlenmiştir.

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

Johansson (2005a), yüksek sıcaklıkta ve düşük sıcaklıklarda kayın odununda oluşan iç çatlaklar araştırılmıştır. 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 and Millitz (2005), kayın ve çam odunları ısıtılmış tabii tutulup FTIR spektroskopunda analiz edilmiştir. Hemiselülozun asetil gruplarının parçalanması nemli şartlar ve artan sıcaklıklar altında ilk muamele basamağında

gerçekleştiği bulunmuştur. Asetik gruplarının çoğunun yüksek sıcaklıklarda odunun muamelesi boyunca çatladığı bulunmuştur. Buna karşın bölgesel deasetilasyonunun yüksek muamele sıcaklıklarında oluştuğu bulunmuştur. Liginin kompleksinde oluşan esterler yeni karboksil grupları oluştuğu ısıl işlem görmüş odunda belirlenmiştir. Fakat odundan ayrılan hemiselülozda bu varlık tespit edilmemiştir. Esterleşme odununun higroskopluğunda düşüşte katkısının bulunduğu ve boyutsal stabilizasyon ve direnç gelişiminde rol oynadığı elde edilen sonuçlardan belirlenmiştir. Fakat higrotermal muamele işleminde higroskopluğunun düşüşünde esterleşmenin rolü, odunun ısıl işlemi boyunca oluştuğu bilinen çapraz bağlanma reaksiyonlarının etkisiyle karşılaştırıldığında çok önemsiz seviyelerde kaldığı görülmüştür.

Unsal ve Ayrılmış (2005), termal olarak modifiye edilmiş ekalıptus odununun hava kurusu yoğunluğu, yüzey pürüzlüğü (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 düştüğünü göstermiştir.

Boonstra and Tjerdtsma (2006), 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 varlığı, asetil gruplarının parçalanmasıyla asetik asit oluşumunda önemli bir rolü vardır. Ayrıca su karbonhidratların parçalanmasında kataliz görevi yaptığı belirlenmiştir. Karbonhidratların parçalanmaya başlamasıyla odunun lignin içeriğinde bir artış meydana gelir. Lignin artışıdaki nedenlerinden birinin de karbonhidrat parçalanmasıyla paralel gerçekleşen kondenzasyon reaksiyonlarının katkısı olduğu belirlenmiştir. Bu oluşan polikondenzasyon lignin matrisinde çapraz bağlanma oluşumuna sebebiyet verir. UV analizleri bu reaksiyonların, diğer aromatik

yapılar ve furfural ve/veya metil furfural arasında da gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca örneklerdeki sorpsiyon değişimleri ligninde çapraz bağlanmadan dolayı düştüğü belirtilmiştir.

Boonstra et al. (2006), yüksek sıcaklıklarda (150–280⁰C'lik bir bölgede) odunun muamele edildikten sonra basidiomycetes, küflenme ve beyaz çürüklük mantarları maruz edildikten sonra direnç araştırılmıştır. Radiata çamının ısı işlem muamelesi *Coniophora puteneana* ve *Poria placentra* gibi kahverengi çürüklüğe karşı dirençlerinde net bir gelişme olduğunu göstermiştir. Proses sıcaklığı ya da zamanının artması *C. Puteana* saldırılarına ve beyaz çürüklük mantarları *Coridus versicolor* karşı hayli sınırlı bir direnç göstermiştir. Muamele edilmiş sarıçam öz odunu ve huş odunu *C. Puteana*, *P. Placentaya* ve beyaz çürüklük mantarı *C.versicolona* karşı yüksek bir direnç gösterdikleri belirlenmiştir. Isıl 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 *C. versicolor* saldırılarına karşı direnç artışları sınırlı olmaktadır. Isıl işlem görmüş Sarı Çam ve Doğu Ladinin muamelesi boyunca hemiselüloz parçalanmasından dolayı yüzeylerde oluşabilecek mantar oluşumlarına hala şüpheyle bakılmaktadır. Çünkü Isıl işlem görmüş odun örneklerinin üzerinde mavi renklenme oluşumu gözlenmiştir.

Boonstra et al. (2006a), yumuşak şartlar altında ısıl muamelenin optimizasyonu ve odun yapısı üzerindeki etkisi ışık ve elektron mikroskobu 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. Isıl 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 kullanılabilirliğinin kısıtlayan bir faktördür. Enine yönde oluşan kopmaların neden olduğu liflere dik yöndeki hücre duvarlarındaki çatlamlar muamele edilmiş İYA türlerinde görülmüştür. Bu durum şok ve mekaniksel baskılardan sonra eğilme deneylerinde farklı şekillerde düşmelere sebebiyet verir. Bazı ısıl 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 ısıl işleme en duyarlı tür olduğu görülmüştür.

Boonstra et al. (2006b), 200⁰C'nin altındaki şartlarda ısıl muameleyle yapraklı ağaçların anatomik yapısı üzerindeki etkisi elektron ve ışık mikroskobu altında araştırılmıştır. Huş ve Kavak gibi türler hücrelerin yakınındaki libriform liflerinin deformasyonunu 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 ile muamele görmüş türlerde oluşan zarar minimuma indirilebilir. Bu durum şok ya da mekaniksel baskılardan sonra çatlaklar göze çarpmaktadır. Bazı ısıl işlem görmüş türlerin maserasyonunda traheler arasında ufak çatlaklar belirlenmiştir. Isıl işlem öz ışını paransimlerinin hücrelerinde çatlama, sınırlı çatlaklar ve hücrede geniş çatlaklar gibi zararların oluştuğu belirlenmiş ve fibrillerin margolarında zarar görülmüştür.

Esteves et al. (2006), sahil çamı ve ekalıptus odun örnekleri hava ortamda buharla birlikte otoklav içerisinde 2–12 sa ve 190–210⁰C sıcaklıklarda ısıyla muamele edilmiştir. Sonuçta odunun su-alış verişinde önemli iyileşmeler meydana

gelmiş, denge rutubet oranı çamda %46 ve okaliptüs %61 oranlarında düşmüş ve Boyutsal stabilizasyon yükselmiş ve yüzey ıslanabilirliği 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 ısı muameleye verdiği tepki iğne yapraklılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Follrich et al. (2006), ısı işlemin yapışmayı nasıl etkilediğini belirlemek için ladin odunu panelleri ile PE yapıştırıcılar kullanılarak yapışma direnci ve ısı işlemin etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Örnekler hazırlandıktan sonra yapılan testlerde ısı işlem sonucunda yüzeyde ki bağlanmayı sağlayan fonksiyonel grupların koptuğu ve bu yüzden kontak açısının arttığı belirlenmiştir. Bu sayede PE ve odun yüzeyi arasındaki bağlanma gücü ısı işlem görmemiş ahşap materyale göre çok daha fazla olduğu yapılan mekanik testler sonucunda belirlenmiştir.

Garcia et al. (2006), MDF panelleri muamele edilmemiş liflerden ve muamele edilmişlerden 2 farklı sıcaklıklarda (150 ve 180°C) 15, 30 ve 60 dakika üretilmiştir. Isıl 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 analizler, ısı işlemini takiben panellerin uç bağlanma direnci, elastikiyet modülü ve kopma modülünün de önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

Inarı et al. (2006), kayın odunu 240°C muamele edilerek odun yapısındaki değişim XPS cihazıyla belirlenmiştir. Sonuçlar kurutma ya da ısı işlem boyunca fırındaki ortamla temas eden materyalin yüzeylerinin güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermiştir. Fakat O/C oranı ısı işlem uygulanmamış bir örnekten birkaç mm

kalınlığında bir örnek olarak kayının kimyasal bileşimi ölçme mantığına göre ölçülmüş ve O/C oranı 0.55'den 0.44'lere kadar ciddi bir düşüş göstermiştir. Isıl işlem 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 sonuçlar homojenlik gösterdiği belirlenmiştir

Johanson and Moren (2006), 175 ve 200°C sıcaklıklarda 0, 1, 3 ve 10 saat huş odunu muamele edilerek renk ve direnç özelliklerinin nasıl etkileneceği araştırılmıştır. 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 200°C de 3 saat süren ısı muamelede direncin maksimum oranda yani %43 düştüğü belirlenmiştir. Örneklerin renk homojenliği ölçüldüğünde ısı işlem sonucunda elde edilen rengin örnek üzerinde homojen bir yapıda olmadığı belirlenmiştir.

Kocafe et al. (2006), ısı işlemin 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 katsayılar doğru odun özelliklerini bulunmasını kötüleştirir. 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 görölmüştür.

Kocaefe et al. (2006a), odunun yüksek sıcaklıkta muamelesi boyunca sıcaklık artışına eş zamanlı olarak oluşan kütle kaybını kapsayan 3 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 ısıtılmışlar 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 çözümlenmesinde FemLab kullanılmıştır. Çalışma sonucunda odunun konversiyonel kurutulmasında kullanılan Luikov yöntemi Lif Doygunluk Oranı yaklaşık olarak %30 olduğu yerlerde başarılı bir ısıtma işlemi gerçekleştirdiğini göstermiştir. %30 üzerinde bu yöntemdeki eşitlikler yeterli olmadığı belirlenmiştir. Bu yüzden serbest suyun buharlaşması dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Mitsui (2006), ısıtma işlemi ve ışık etkisiyle ladin örneklerinin rengindeki değişim belirlenmiştir. Isıtma işlemi sonucunda L^* , a^* ve b^* değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Isıtma işlemi muamelesinden sonra ışık muamelesi sonucunda L^* ve a^* düşüş gözlenmesine rağmen b^* değerleri ısıtma işlemi sırasında ciddi bir düşüş göstermiştir. Bu durumda ısıtma muamelesi görmüş odunun ışık maruziyeti altında renk değişimi meydana geldiği anlamına gelmektedir. Işık yayılımıyla foto termal olarak

muamele edilen odunun rengi ısıtma işlemiyle iyileştirilebilmekte fakat gerekli korumalar alınmadığı sürece örneklerde istenmeyen renk değişimlerinin olabileceği ifade edilmektedir.

Obataya et al. (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. Buharlamanın etkisi aynı ısıtma sıcaklıklarında kuru ısıtmadan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Suda ekstraksiyondan sonra buharlanmış odun da suda çözünen parçalanmış kalıntılardan dolayı kütle kayıplarında artış görülmüştür. Isıtılan odunun kütlesi ağırlık kaybının artışıyla düştüğünü ve böyle bir ilişki sudaki ekstraksiyondan sonra daha da belirgin hale geldiği belirlenmiştir. Sonuçlar iç bölgelerdeki termal parçalanma dış kısımlardaki parçalanmalardan daha fazla olduğunu göstermiştir.

Younsı et al. (2006), yüksek sıcaklıktaki odunun hidrotermal davranışı odunda olduğu gibi serbest su, bağlı su ve su buharı dikkate alınarak analiz edilmiştir. Model eşitlikleri sıcaklık ve nem içerik profilleri için ticari yazılım FameLab 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.

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

Korkut ve ark. (2008) çalışmalarında; Düzce Orman İşletme Müdürlüğü'nden elde edilen Akçaağaç (*Acer trautvetteri* Medw.)' odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisi araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; en fazla azalmanın rayda ve teğet sertlik değerleri ile liflere dik çekme direncinde 180⁰C'de 10 saat ısı işlem uygulaması neticesinde elde edildiği ve stabilite gerektiren pencere doğramalarında kullanılacak ağaç malzemenin ısı işlem 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 ısı işlemin etkileri belirlemişlerdir. Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen deney örnekleri 2saat, 6 saat ve 10 saat ile 120⁰C, 150⁰C ve 180⁰C'de olmak üzere 9 varyasyonda ısı işleme tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda; en az direnç kaybının 120⁰C'de 2 saat ısı işlem uygulaması ile, en fazla direnç kaybının 180⁰C'de 10 saat ısı işlem uygulaması neticesinde elde edildiği, kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında ısı işlemde uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak direnç değerlerinin değiştiği ve farklı ısı işlem metotlarının kullanılması ile ticari değeri olmayan türlerin daha fazla kullanım yerlerinde değerlendirilebileceği belirtilmiştir.

Gunduz ve ark. (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 ısı işlemin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; ısı işlemde 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 ısıı işlem sayesinde bu türün yeni kullanım alanlarında değerlendirilebileceği vurgulanmıştır.

Korkut ve Bektaş (2008) alışmalarında; Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen Uludağ Köknarı (*Abies bornmuellerinana* Mattf.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun fiziksel özellikleri (tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk ve genişleme) üzerine ısıı işlemin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; her iki ağaç türünde de ısıı işleminde uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak tam kuru ve hava kurusu yoğunluğun azaldığı ve yine genişleme değerinin de azalması neticesinde ısıı işlemin boyutsal stabilite üzerine olumlu etkisinin olduğu vurgulanmıştır.

Sevim Korkut ve ark. (2008) alışmalarında; Macroplast UR 7221 ve polyvinyl acetate (PVAc) tutkalları kullanılarak Kosipo (*Entandrophragma candollei* Harms.) odunundan elde edilen lamine pencere profillerinin bazı mekanik özellikleri (basınç direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü) üzerine ısıı işlemin etkisini araştırmışlardır. Isıl işlem uygulaması 2 saat, 6 saat ve 10 saat ısıı işlem süresi ve 150⁰C ve 180⁰C sıcaklıklarda 6 varyasyonda gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda; UR 7221 tutkalı kullanılarak elde edilene lamine malzemelerin PVAc tutkalı kullanılarak elde edilen lamine malzemelere nazaran ısıı işlemden daha az etkilendikleri sonucu çıkarılmıştır.

Korkut ve ark. (2008) alışmalarında; Okalıptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıı işlemin etkisi incelemişlerdir. Bu amaçla; Okalıptüsün ülkemizde geniş yayılış gösterdiği Tarsus-Mersin bölgesinden temin edilen örnekler farklı süreler ve sıcaklıklarda ısıı işleme 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/mm^2 'lik değeri ile %33.46'lık, liflere paralel çekme direnci 58.89 N/mm^2 ile %21.04, liflere dik çekme direnci 3.79 N/mm^2 ile %13.07, dinamik eğilme direnci 6.69 N/mm^2 ile %5.37 ve yarıma direnci 0.38 N/mm^2 ile %33.33'lük bir azalmaya maruz kaldığı, direnç değerlerindeki bu azalmanın sebepleri olarak ısı işlem ile ahşapta meydana gelen ağırlık kayıpları ve hemiselülozun bozunmasının düşünülebileceği ve direnç değerlerindeki azalmanın önemsiz olduğu özellikle iyi işleme özellikleri ve stabilitenin önem arz ettiği kullanım alanlarında ısı işlem tekniğinden yararlanılabileceğini ifade etmişlerdir

Sevim korkut ve Güler (2008) çalışmalarında; Akçaağaç (*Acer trautvetteri* Medw.) odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine ısı işlemin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; ısı 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 Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü, Ereğli Orman İşletme Müdürlüğü, Alaplı Orman İşletme Şefliği'nin 166 nolu bölmesinden alınan 5 adet Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) tomruğu kullanılmıştır. Örnek ağaçların alındığı yerler ve ağaç türlerine ait genel özellikler TS 4176 esaslarına göre belirlenmiştir. Çalışmamızda Gürgen Yapraklı Kayacık odunlarının kullanılmasının nedeni; yüksek bir yoğunluğa sahip olan bu türün ısı işlem uygulaması sonucu yeni kullanım alanlarının saptanmasıdır.

2.1.1 Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) Hakkında Genel

Bilgiler

Dünya üzerinde 6 cinsle yayılan Betulaceae familyasının 5 cinsi ülkemizde doğal olarak bulunmaktadır. Bir cinsli, bir evcikli, ağaç yada çalı formundaki bu cinsler Betuleae ve Coryleae olmak üzere iki alt familyada incelenirler. Familyanın ülkemizdeki doğal cinslerinde biri olan *Ostrya* Scop. Cinsi dünyada 7 türle yayılmaktadır. İsmi kese şeklindeki meyvelerinden (ostreon) alan bu cinsin Türkiye’de Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* scop.) adlı tek türü doğal olarak bulunmaktadır (Yaltırık ve Efe, 2000).

Ostrya carpinifolia Scop. sürgünleri pseudo-terminal tomurcuklar amaçlı dizili, yaprakları çift sıralı ince dişlidir. Gövde kabukları ileri yaşlarda boyuna çatlaklıdır. Meyve örtüsü, yaprak kenarlarındaki dişler ve gövde kabukları ile ayrıldığı *Carpinus betulus* L.’dan ekolojik bakımdan daha sıcak yamaçları tercih eder (Yaltırık ve Efe, 2000).

Ostrya carpinifolia Scop. Dünya üzerinde güney Avrupa, Suriye’nin batısı Anadolu ve trans Kafkaslardadır. Ülkemizde yayılışı Davidin kare sistemine göre (4) A1 (E) Kırklareli A3 Zonguldak, A4 Kastamonu, A5 Sinop, A6 Tokat, A7 Trabzon, A8 Artvin, A9 Erzurum, B5 adana, C3 Antalya, C4 İçel, C5 Adana, C6 Hatay karelerinde kalan Akdeniz Karadeniz boyunca yayılır. Bu türe batı Anadolu Trakya Marmara doğu ve güneydoğu bölgelerinde rastlanmamıştır. Diğer yandan yapılmış fitososyolojik çalışmalar bu tütün doğu Karadeniz dışındaki yayılış alanlarını kapsamaktadır. Ülkemizde yapılan fitososyolojik çalışmalar doğu Karadeniz dışında yoğunlaşmıştır. Bu türün doğu Karadeniz bölümünde esas yayılışını yaptığı Artvin yöresinde yapılan fitososyolojik çalışmalar çok sınırlı olup *Ostrya carpinifolia*

Scop.'ın bulunduğu yapraklı ormanları içermektedir (Anşin ve Ark., 1998; Gerçek ve Ark., 1998).

Ostraya carpinifolia odununda hava kuru yoğunluk 883kgm^3 'dür, tam kuru yoğunluk değeri ise 787kgm^3 olarak belirlenmiştir. Odunu çok ağır sert olup işlenmesi güçtür (Anşin ve Özkan, 2001).

Makroskopik özellikleri: *Ostraya carpinifolia* da diri odun grimsi beyaz öz odun pembemsesi beyaz renkli olup aralarındaki renk farkı fazla belirgin değildir. Yıllık halkalar genellikle dar, 0.96-3.69 mm genişliğinde olup, az çok dalgalıdır. Traheler küçük ancak lüp yardımıyla görülmektedir. Çok dar olan öz ışınları ise lüp altında dahi görülmemektedir. Odunu parlak çok sert ve ağırdır (Doğu ve Ark., 2000).

Mikroskopik özellikleri: *Ostraya carpinifolia* odununda yıllık halka sınırları belirgin ve dağınık traheli düzene sahiptir. Trahelerin mm'deki sayıları ortalama 60 adet olup, ortalama teğet çapları ilkbahar odununda $71(\pm 11)\mu\text{m}$ yaz odununda $38(\pm 10)\mu\text{m}$ dir. Trahe elemanlarını ortalama uzunluğu $669(\pm 143)\mu\text{m}$ performasyon tabloları basit tiptedir. Spiral kalınlaşmalar ve tül teşekkül atına rastlanır. Trahe hücreleri arasındaki geçitler diagonal düzende olup, vertikal ve horizontal çapları ortalama $8(\pm 2)\mu\text{m}$ olup trahe öz ışını paransim hücrelerinin karşılaşma yerlerindeki geçitlerin ortalama horizontal çapı $7(\pm 2)\mu\text{m}$ dir. Vasküler traheidler yaz odunu tabakasında yıllık halka sınırına yakın kısımlarda rastlanmaktadır. Oldukça sık yapıda ve belirgin spiral kalınlaşmalara sahiptir. Libriform liflerinin çift çeper kalınlığı ile ilkbahar odunun da $5(\pm 2)\mu\text{m}$ dir, yaz odununda $5(\pm 1)\mu\text{m}$, uzunlukları ortalama $1335(\pm 237)\mu\text{m}$ dir. Boyuna paransimler apotracheal dağınık ve 1 hücre genişliğinde kısa teğet şeritler halindedir. Ayrıca inisiyal ve terminal sınır paransimleride mevcuttur (Doğu ve Ark., 2000).

2.2 Yöntem

Isıl işlem uygulaması 3 ayrı sıcaklık (120-150-180⁰C) ve 3 ayrı süre (2-6-10 saat) kombinasyonu ile toplam 9 varyasyonda, sıcaklığı ± 1 ⁰C duyarlılıkta kontrol edilebilen bir etüvde normal atmosfer ortamında gerçekleştirilmiştir.

Isıl işlemden sonra örnekler 20 ± 2 ⁰C ve %65 bağıl nemde iklimlendirme odasında bekletilerek rutubetlerinin %12'ye gelmesi sağlanmıştır (TS 642).

Tam kuru yoğunluk değerleri kontrol örneklerinde 103 ± 2 ⁰C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Diğer deney örneklerinde tam kuru yoğunluk değerleri ısıl işlem uygulamasından hemen sonra tespit edilmiştir. Tam kuru yoğunluğun tespit edilmesinde aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\delta_o = \frac{M_o}{V_o} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

δ_o : Tam kuru yoğunluk (g/cm³)

M_o : Tam kuru ağırlık (g)

V_o : Tam kuru hacim (cm³)

Genişleme değerleri ise ısıl işlem uygulanmış örneklerde ve kontrol örneklerinde TS 4084'e göre belirlenmiştir.

Mekanik özelliklerden eğilme direnci TS 2474 ve eğilmede elastikiyet modülü TS 2478'e göre 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 δ_{12} = %12 rutubetteki direnç değeri (N/mm²), δ_m = %12'den farklı rutubetteki direnç değeri (N/mm²), α = direnç ve rutubet arasındaki ilişkiyi gösteren sabit değer ($\alpha=0.04, 0.02,$ sırasıyla MOR, MOE,) M_2 = 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 Kayacık’da tam kuru yoğunluk değerine ait kontrol ve ısıtma işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 1. Tam Kuru Yoğunluk İstatistiksel Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	gr/cm ³	gr/cm ³	
Kontrol		0.863	0.036	0.001	4.238	0.927	0.800	30
120°C	2 hr.	0.803	0.021	0.0004	2.722	0.853	0.763	30
	6 hr.	0.798	0.014	0.0001	1.765	0.829	0.778	30
	10 hr.	0.793	0.020	0.0004	2.599	0.837	0.753	30
150°C	2 hr.	0.791	0.017	0.0002	2.154	0.825	0.738	30
	6 hr.	0.789	0.022	0.0005	2.886	0.826	0.724	30
	10 hr.	0.787	0.023	0.0005	2.976	0.825	0.737	30
180°C	2 hr.	0.785	0.021	0.0004	2.762	0.855	0.740	30
	6 hr.	0.781	0.025	0.0006	3.255	0.824	0.714	30
	10 hr.	0.777	0.025	0.0006	3.235	0.812	0.686	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	0.1639595	0.01821772	32.8125968	32.8125968	(95%) S* (99%) S**
Örnekler İçi	290	0.16100949	0.00055521	>	>	
Toplam	299	0.32496899		1.938	2.511	

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden, $F_{hesap} = 32.8125968 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{hesap} = 32.8125968 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtma işlem süresi ve sıcaklığının tam kuru yoğunluk üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıl 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

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	0.0601892	0.06506228	0.06968339	0.07223372	0.0741912	0.07636559	0.07844202	0.08239818	0.08665738
Rp	0.01204548	0.01267786	0.01309946	0.0134049	0.0136458	0.0138394	0.01399857	0.01414053	0.01425669
120 C 2 Saat		0.00487308	0.00949419	0.01204451	0.014002	0.01617638	0.01825281	0.02220898	0.02646818
Rp		0.01204548	0.01267787	0.01309946	0.0134049	0.01364581	0.0138394	0.01399857	0.01414053
120 C 6 Saat			0.0046211	0.00717143	0.0091289	0.0113033	0.01337973	0.0173359	0.02159509
Rp			0.01204548	0.01267787	0.0130995	0.0134049	0.01364581	0.01383939	0.01399857
120 C 10 Saat				0.00255033	0.0045078	0.0066822	0.00875863	0.01271479	0.01697399
Rp				0.01204548	0.0126779	0.01309946	0.0134049	0.01364580	0.0138394
150 C 2 Saat					0.0019575	0.00413187	0.0062083	0.01016447	0.01442366
Rp					0.0120455	0.01267787	0.01309946	0.01340489	0.01364581
150 C 6 Saat						0.00217436	0.00425079	0.00820695	0.01246615
Rp						0.01204548	0.01267787	0.01309946	0.0134049
150 C 10 Saat							0.00207643	0.0060326	0.01029179
Rp							0.01204548	0.01267786	0.01309946
180 C 2 Saat								0.00395617	0.00821536
Rp								0.01204548	0.01267787
180 C 6 Saat									0.00425919
Rp									0.01204548

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

saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri ile 180°C 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerin tam kuru yoğunluk değeri arasında istatistiksel anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 4'de Kayacık'da radyal genişleme değerine ait kontrol ve ısıtım işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 4. Radyal Genişleme İstatistiksel Verileri

Isıtım İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	%	%	
Kontrol		9.532	1.783	3.179	18.71	13.19	6.601	30
		%				%	%	
120°C	2 hr.	7.047	1.493	2.229	21.19	9.943	4.26	30
	6 hr.	6.946	0.809	0.654	11.64	8.881	5.638	30
	10 hr.	6.693	1.647	2.713	24.61	11.83	4.18	30
150°C	2 hr.	6.623	0.691	0.478	10.44	8.65	4.815	30
	6 hr.	6.516	1.377	1.895	21.13	8.96	4.178	30
	10 hr.	6.245	1.587	2.519	25.42	10.91	4.288	30
180°C	2 hr.	6.015	1.443	2.082	23.99	10.38	3.338	30
	6 hr.	5.916	1.41	1.989	23.84	10.58	3.718	30
	10 hr.	4.889	0.83	0.689	16.98	8.663	3.819	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	383.316709	42.590745	23.112536	23.1125361	(%95) S*
Örnekler İçi	290	534.399002	1.8427552	>	>	
Toplam	299	917.715711		1.938	2.511	(%99) S**

Varyans analizi Çizelgesinin incelenmesinden, $F_{hesap} = 23.112536 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{hesap} = 23.112536 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtım işlem süresi ve sıcaklığının radyal genişleme üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıtım 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'de 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	2.48417427	2.58528501	2.83894191	2.90876212	3.01525900	3.28694600	3.5167477	3.615186	4.6429001
Rp	0.69395486	0.73038749	0.75467591	0.77227262	0.78615172	0.79730457	0.8064747	0.814653	0.8213451
120 C 2 Saat		0.10111074	0.35476763	0.42458785	0.53108473	0.80277173	1.0325734	1.131012	2.1587258
Rp		0.69395486	0.73038749	0.75467591	0.77227262	0.78615172	0.7973046	0.806475	0.8146534
120 C 6 Saat			0.25365689	0.32347711	0.42997399	0.70166098	0.9314627	1.029901	2.057615
Rp			0.69395486	0.73038749	0.75467591	0.77227262	0.7861517	0.797305	0.8064747
120 C 10 Saat				0.06982021	0.17631709	0.44800409	0.6778058	0.776244	1.8039581
Rp				0.69395486	0.73038749	0.75467591	0.7722726	0.786152	0.7973046
150 C 2 Saat					0.10649687	0.37818387	0.6079856	0.706424	1.7341379
Rp					0.69395486	0.73038749	0.7546759	0.772273	0.7861517
150 C 6 Saat						0.27168699	0.5014887	0.599927	1.627641
Rp						0.69395486	0.7303875	0.754676	0.7722726
150 C 10 Saat							0.2298017	0.32824	1.3559541
Rp							0.6939549	0.730387	0.7546759
180 C 2 Saat								0.098439	1.1261524
Rp								0.693955	0.7303875
180 C 6 Saat									1.0277138
Rp									0.6939549

Çizelge 6 incelenirse; kontrol örneklerinin radyal genişleme değeri ile 120°C 2,6 ve 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 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 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 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında; 150°C 2,6,10 ve 180°C 2, 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri ile180°C 10 uygulanmış örneklerin radyal genişleme değeri arasında istatistiki anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 7’de Kayacık’da teğet genişleme değerine ait kontrol ve ısıt işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiki değerler verilmiştir.

Çizelge 7.Teğet Genişleme İstatistiki Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	%	%	
Kontrol		13.902	2.135	4.558	15.358	19.037	8.579	30
120°C	2 hr.	11.188	1.667	2.781	14.906	13.58	7.248	30
	6 hr.	11.164	1.714	2.939	15.357	12.886	4.605	30
	10 hr.	10.926	0.850	0.723	7.783	12.497	8.723	30
150°C	2 hr.	10.607	2.132	4.547	20.103	13.61	2.947	30
	6 hr.	10.012	1.740	3.028	17.381	12.917	4.065	30
	10 hr.	9.96	2.655	7.049	26.65	12.84	3.466	30
180°C	2 hr.	9.079	1.878	3.526	20.68	13.58	3.706	30
	6 hr.	8.413	1.857	3.449	22.08	10.78	3.41	30
	10 hr.	7.604	1.204	1.451	15.84	11.74	4.674	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	825.3192	91.70214	26.92914	26.92914	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	987.5405	3.405312	>	>	
Toplam	299	1812.86		1.938	2.511	

Varyans analizi Çizelgesinin incelenmesinden, $F_{hesap} = 26.92914 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{hesap} = 26.92914 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıt işlem süresi ve sıcaklığının teğet genişleme üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıt 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	2.7135239	2.7376614	2.9756476	3.2945392	3.8896382	3.9414787	4.8230843	5.4886767	6.29761722
Rp	0.9433566	0.9928828	1.0259002	1.0498211	1.0686882	1.0838493	1.0963151	1.1074332	1.11652986
120 C 2 Saat		0.0241375	0.2621237	0.5810153	1.1761143	1.2279548	2.1095604	2.7751528	3.58409333
Rp		0.9433566	0.9928828	1.0259002	1.0498211	1.0686882	1.0838493	1.0963151	1.10743320
120 C 6 Saat			0.2379862	0.5568778	1.1519768	1.2038174	2.0854229	2.7510153	3.55995587
Rp			0.9433566	0.9928828	1.0259002	1.0498211	1.0686882	1.0838493	1.09631507
120 C 10 Saat				0.3188916	0.9139906	0.9658311	1.8474367	2.5130291	3.32196966
Rp				0.9433566	0.9928828	1.0259002	1.0498211	1.0686882	1.08384929
150 C 2 Saat					0.595099	0.6469395	1.5285451	2.1941375	3.00307803
Rp					0.9433566	0.9928828	1.0259002	1.0498211	1.06868820
150 C 6 Saat						0.0518405	0.9334461	1.5990385	2.40797906
Rp						0.9433566	0.9928828	1.0259002	1.04982107
150 C 10 Saat							0.8816056	1.5471979	2.35613852
Rp							0.9433566	0.9928828	1.02590024
180 C 2 Saat								0.6655924	1.47453295
Rp								0.9433566	0.99288276
180 C 6 Saat									0.80894057
Rp									0.94335655

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

uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile 180°C 6 ve 10 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında; 180°C 2 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri ile 180°C 10 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin teğet genişleme değeri arasında istatistiksel anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 10'da Kayacık'da boyuna genişleme değerine ait kontrol ve ısıtma işlemi uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 10. Boyuna Genişleme İstatistiksel Verileri

Isıtma İşlemi	Süre	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	%	%	
Kontrol		0.766	0.257	0.066	33.54	1.22	0.09	30
120°C	2 hr.	0.716	0.242	0.059	33.8	1.139	0.323	30
	6 hr.	0.672	0.249	0.062	36.99	1.137	0.056	30
	10 hr.	0.665	0.241	0.058	36.308	1.033	0.026	30
150°C	2 hr.	0.632	0.201	0.04	31.81	1.374	0.45	30
	6 hr.	0.589	0.201	0.040	34.01	0.996	0.1701	30
	10 hr.	0.586	0.207	0.043	35.36	0.986	0.255	30
180°C	2 hr.	0.552	0.185	0.034	33.51	0.935	0.089	30
	6 hr.	0.525	0.182	0.033	34.72	0.835	0.145	30
	10 hr.	0.498	0.17	0.029	34.15	0.751	0.145	30

Çizelge 11'de boyuna genişleme değerine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 11. Boyuna 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	1.988295	0.220922	4.756261	4.756261	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	13.4701	0.046449	>	>	
Toplam	299	15.45839		1.938	2.511	

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden, $F_{\text{hesap}} = 4.756261 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{\text{hesap}} = 4.756261 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıtma işlemi süresi ve sıcaklığının boyuna genişleme üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıl 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 da 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	0.0504149	0.0945259	0.1013727	0.1342969	0.1765364	0.180803	0.2148612	0.2414945	0.26864557
Rp	0.1101752	0.1159594	0.1198155	0.1226092	0.1248127	0.1265834	0.1280393	0.1293378	0.13040019
120 C 2 Saat		0.0441111	0.0509578	0.083882	0.1261216	0.1303881	0.1644463	0.1910796	0.21823068
Rp		0.1101752	0.1159594	0.1198155	0.1226092	0.1248127	0.1265834	0.1280393	0.12933779
120 C 6 Saat			0.0068468	0.0397709	0.0820105	0.0862771	0.1203353	0.1469686	0.17411963
Rp			0.1101752	0.1159594	0.1198155	0.1226092	0.1248127	0.1265834	0.12803929
120 C 10 Saat				0.0329242	0.0751637	0.0794303	0.1134885	0.1401218	0.16727287
Rp				0.1101752	0.1159594	0.1198155	0.1226092	0.1248127	0.12658341
150 C 2 Saat					0.0422396	0.0465061	0.0805643	0.1071976	0.13434869
Rp					0.1101752	0.1159594	0.1198155	0.1226092	0.12481273
150 C 6 Saat						0.0042666	0.0383248	0.0649581	0.09210913
Rp						0.1101752	0.1159594	0.1198155	0.12260923
150 C 10 Saat							0.0340582	0.0606915	0.08784254
Rp							0.1101752	0.1159594	0.11981550
180 C 2 Saat								0.0266333	0.05378434
Rp								0.1101752	0.11595937
180 C 6 Saat									0.02715107
Rp									0.11017517

Çizelge 12 incelenirse; kontrol örneklerinin boyuna genişleme değeri ile, 150°C 2,6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri arasında; 120°C 2 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri ile 150°C 6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri arasında; 120°C 6 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri ile 180°C 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri arasında; 120°C 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri ile 180°C 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri arasında; 150°C 2 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin boyuna genişleme değeri ile 180°C 10 saat ısıl işlem uygulanmış

örneklerin boyuna genişleme değeri arasında genişleme değeri arasında istatistiki anlamda fark olduğu görülecektir.

3.2 Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

Çizelge 13'de Kayacık'da eğilme direncine ait kontrol ve ısıl işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiki değerler verilmiştir.

Çizelge 13. Eğilme Direnci İstatistiki Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V			
		N/mm ²				N/mm ²	N/mm ²	
Kontrol		204.906	36.159	1307.537	17.647	265.7	129.7	30
120°C	2 hr.	200.563	48.446	2347.058	24.155	268.8	118.6	30
	6 hr.	199.97	50.086	2508.609	25.046	263.5	24.3	30
	10 hr.	190.583	41.970	1761.501	22.0219	266	70.01	30
150°C	2 hr.	184.533	47.434	2250.064	25.705	260.2	82.1	30
	6 hr.	143.296	38.282	1465.514	26.715	220.9	59.2	30
	10 hr.	120.220	16.822	282.990	13.992	155.551	91.671	30
180°C	2 hr.	119.95	28.042	786.354	23.378	166	48.6	30
	6 hr.	118.843	30.169	910.181	25.385	160.4	47.4	30
	10 hr.	111.643	32.097	1030.223	28.749	172.9	54.1	30

Çizelge 14'de eğilme direncine ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 14. Eğilme Direnci'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik	Tüm	Varyans	F Oranı	F Oranı	Önem Seviyesi
	Derecesi	Varyans		95%	99%	
Örnekler Arası	9	428745.6	47638.4	32.51761	32.51761	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	424850.9	1465.003	>	>	
Toplam	299	853596.6		1.938	2.511	

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden, $F_{\text{hesap}} = 32.51761 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{\text{hesap}} = 32.51761 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ olduğundan %99 ve %95 güven seviyesinde ısıl işlem süresi ve sıcaklığının eğilme direnci üzerine etkili olduğu görülmektedir.

Isıl 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 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	4.3433333	4.9366667	14.323	20.3733333	61.610333	84.686587	84.956667	86.063333	93.2633333
Rp	19.56666	20.59391	21.278743	21.774897	22.166231	22.480695	22.739254	22.969861	23.1585397
120 C 2 Saat		0.5933333	9.9796667	16.03	57.267	80.343254	80.613333	81.72	88.92
Rp		19.56666	20.59391	21.278743	21.774897	22.166231	22.480695	22.739254	22.9698612
120 C 6 Saat			9.3863333	15.436667	56.673667	79.749921	80.02	81.126667	88.3266666
Rp			19.56666	20.59391	21.278743	21.774897	22.166231	22.480695	22.7392541
120 C 10 Saat				6.0503333	47.287333	70.363587	70.633667	71.740333	78.9403333
Rp				19.56666	20.59391	21.278743	21.774897	22.166231	22.4806947
150 C 2 Saat					41.237	64.313254	64.583333	65.69	72.89
Rp					19.56666	20.59391	21.278743	21.774897	22.1662305
150 C 6 Saat						23.076254	23.346333	24.453	31.653
Rp						19.56666	20.59391	21.278743	21.7748973
150 C 10 Saat							0.2700794	1.3767461	8.57674607
Rp							19.56666	20.59391	21.2787427
180 C 2 Saat								1.1066667	8.30666666
Rp								19.56666	20.5939096
180 C 6 Saat									7.2
Rp									19.5666600

Çizelge 15 incelenirse; kontrol örneklerinin eğilme direnci ile 150°C 6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 120°C 2 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 150°C 6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 120°C 6 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 150°C 6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 120°C 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 150°C 6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme dirençleri arasında; 150°C 2 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile 150°C 6

ve 10 saat 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin eğilme direnci arasında; 150°C 6 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin eğilme direnci ile, 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin eğilme direnci arasında istatistiksel anlamda fark olduğu görülecektir.

Çizelge 16'da Kayacık'da eğilmede elastikiyet modülüne ait kontrol ve ısıtma işlemi uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 16. Eğilmede Elastikiyet Modülü İstatistiksel Verileri

Isıl İşlem	Süre	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Varyasyon Katsayısı	Maksimum	Minimum	Numune Sayısı
		\bar{x}	$\pm s$	s^2	V	N/mm ²	N/mm ²	
Kontrol		20975.506	3176.5527	10090.487	15.144	29950.98	16033.68	30
								30
120°C	2 hr.	20140.898	3520.203	12391.834	17.477	34181.5	15808.99	30
	6 hr.	20007.48	2242.860	5030424	11.210	26285.27	15055.68	30
	10 hr.	19155.913	3341.103	11162.975	17.441	24832.29	9442.83	30
150°C	2 hr.	18977.737	2313.481	5352198.3	12.190	22478.03	13576.84	30
	6 hr.	18533.783	2970.056	8821236.9	16.025	24380	13560.35	30
	10 hr.	18068.527	4033.790	16271.468	22.324	23892.43	142.93	30
180°C	2 hr.	17541.572	2227.046	4959736	12.695	22747.4	13876.41	30
	6 hr.	16523.52	2651.081	7028230.2	16.044	21829.51	9199.67	30
	10 hr.	12065.502	2330.357	5430566.6	19.314	18331.883	8274.242	30

Çizelge 17'de eğilmede elastikiyet modülüne ait varyans analizi verilmiştir.

Çizelge 17. Eğilmede Elastikiyet Modülü 'ne Ait Varyans Analizi

Varyans Analizi Çizelgesi						
Varyans Kaynağı	Serbestlik	Tüm	Varyans	F Oranı	F Oranı	Önem Seviyesi
	Derecesi	Varyans		95%	99%	
Örnekler Arası	9	1717830435	190870048	22.05592	22.05592	(%95) S* (%99) S**
Örnekler İçi	290	2509635502	8653915.5	>	>	
Toplam	299	4227465937		1.938	2.511	

Varyans analizi çizelgesinin incelenmesinden, $F_{hesap} = 22.05592 > F_{0,01; 9;90} = 2,511$ ve $F_{hesap} = 22.05592 > F_{0,05; 9;90} = 1,938$ 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 18’de verilmiştir.

Çizelge 18. 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	834.60867	968.02667	1819.59366	1997.769	2441.7233	2906.9793	3433.9343	4451.9867	8910.0045
Rp	1503.8473	1582.7992	1635.43389	1673.56716	1703.6441	1727.8131	1747.6854	1765.4093	1779.9107
120 C 2 Saat		133.418	984.985	1163.16033	1607.1147	2072.3707	2599.3257	3617.378	8075.3958
Rp		1503.8473	1582.79924	1635.43389	1673.5672	1703.6441	1727.8131	1747.6854	1765.4093
120 C 6 Saat			851.567	1029.74233	1473.6967	1938.9527	2465.9077	3483.96	7941.9778
Rp			1503.84726	1582.79924	1635.4339	1673.5672	1703.6441	1727.8131	1747.6854
120 C 10 Saat				178.175333	622.12967	1087.3857	1614.3407	2632.393	7090.4108
Rp				1503.84726	1582.7992	1635.4339	1673.5672	1703.6441	1727.8131
150 C 2 Saat					443.95433	909.21033	1436.1653	2454.2177	6912.2355
Rp					1503.8473	1582.7992	1635.4339	1673.5672	1703.6441
150 C 6 Saat						465.256	992.211	2010.2633	6468.2811
Rp						1503.8473	1582.7992	1635.4339	1673.5672
150 C 10 Saat							526.955	1545.0073	6003.0251
Rp							1503.8473	1582.7992	1635.4339
180 C 2 Saat								1018.0523	5476.0701
Rp								1503.8473	1582.7992
180 C 6 Saat									4458.0178
Rp									1503.8473

Çizelge 18 incelenirse; kontrol örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü ile 120°C 2,6 ve 10 saat, 150°C 2,6 ve 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü arasında; 120°C 2 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü ile 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü arasında; 120°C 6 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü ile 150°C 10 saat, 180°C 2, 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü arasında; 120°C 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü ile 180°C 6 ve 10 saat ısıtma işlem uygulanmış örneklerin eğilmede

elastikiyet modülü arasında; 150°C 2 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü ile 180°C 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü arasında; 150°C 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü ile, 180°C 6 ve 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü arasında; 150°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü ile 180°C 10 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü arasında; 180°C 2 ve 6 saat ısıtım uygulanmış örneklerin eğilmede elastikiyet modülü ile 180°C 10 saat ısıtım 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 0.863 gr/cm³ iken 180⁰C'de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer %10.03'lük bir azalma ile 0.777 gr/cm³'e, kontrol örneğinin radyal genişleme değeri %9.532 iken 180⁰C'de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer %48.71'lik bir azalma ile %5.916'ya, kontrol örneğinin teğet genişleme değeri %13.902 iken 180⁰C'de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer %45.30'luk bir azalma ile %7.604'e, kontrol örneğinin boyuna genişleme değeri %0.766 iken 180⁰C'de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer %35.05'lik bir azalma ile %0.498'e, kontrol örneğinin eğilme direnci 204.906 N/mm² iken 180⁰C'de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer %45.51'lik bir azalma ile 111.643 N/mm²'ye ve kontrol örneğinin eğilmede elastikiyet modülü 20140.898 N/mm² iken 180⁰C'de 10 saat ısıtım işlem uygulanmış örneklerde bu değer %42.48'lik bir azalma ile 12065.502 N/mm²'ye düşmüştür.

Çizelge 19'da ısıtım işlemde uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen % azalma değerleri verilmiştir.

Çizelge 19. Isıl İşlemden Uygulanan Sıcaklık ve Süreye Bağlı Olarak Fiziksel ve Mekanik Özelliklerde Meydana Gelen Azalma

Isıl işlem	Süre	Eğilme Direnci	Eğilmede Elastikiyet Modülü	Tam kuru Yoğunluk	Genişleme		
					Radyal	Teğet	Boyuna
					%	%	%
120°C	2 hr.	2.119	3.978	6.969	26.062	19.519	6.578
	6 hr.	2.409	4.615	7.533	27.123	19.693	12.33
	10 hr.	6.990	8.674	8.068	29.784	21.405	13.23
150°C	2 hr.	9.942	9.524	8.363	30.517	23.699	17.52
	6 hr.	30.067	11.640	8.59	31.634	27.979	23.04
	10 hr.	41.329	13.858	8.842	34.485	28.352	23.59
180°C	2 hr.	41.461	16.371	9.082	36.896	34.694	28.04
	6 hr.	42.001	21.224	9.54	37.928	39.482	31.51
	10 hr.	45.515	42.478	10.03	48.71	45.301	35.05

Yıldız (2002) Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ve Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) odunları ile yaptığı ısıl işlem çalışmasında, statik eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci ve Brinell sertlik değerlerini hesaplamıştır. Tüm direnç değerlerinde ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artması ile bir azalma gözlenmiştir. En büyük azalma 200°C'de 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde gerçekleşmiştir. Örneğin eğilme direncinin kayında %63.87 ve ladinde %63.56 azalma gösterdiğini, elastikiyet modülünün ladinde 200°C'de 6 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde %41.59 azaldığını ve istisnai olarak kayında 200°C'de 10 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde %38.99 oranında arttığını, basınç direncinin ise her iki ağaç türünde de 200°C'de 6 saat ısıl işlem uygulanmış örneklerde %39'luk bir azalma gösterdiğini, Brinell sertlik değerlerinin en fazla 180°C'de 10 saat ısıl işlem 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.

Unsal ve ark. (2003) Okaliptüs odunu ile yaptıkları çalışmalarında; janka sertlik değerinde en fazla azalmanın 180°C'de 10 saat ısıl işlem 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; ısı işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak basınç direncinin önemli oranda azaldığını, 180°C'de 10 saat ısı işlem uygulanmış numunelerin basınç direnci değerinin en düşük olduğunu ve ısı işlem uygulanmamış numunelerin değerinden %19 daha az olduğunu saptamışlardır.

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

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

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

Isı 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, ısı işlem görmüş ahşabı iklim değişikliklerine ve çürümeye karşı daha dayanıklı kılmaktadır. Isıl 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 ısı işlem teknikleri kullanılarak kullanım alanı sınırlı olan ağaç türleri başta olmak üzere tüm ağaç türlerinin kullanım alanları arttırılabilir. Özellikle iyi işlenme özellikleri ve stabilitenin önemli olduğu kullanım alanlarında ısı işlemin büyük önemi bulunmaktadır.

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

Isıl işleme tabi tutulmuş odunun geliştirilmiş özellikleri kereste endüstrisinde yeni bir potansiyel olarak öngörülmekte ve çekici yeni fırsatlar sunmaktadır. Isıl işleme tabi tutulmayan odun ile mukayese edildiğinde en önemli özelliği denge rutubeti miktarının ve dolayısıyla daralma ve genişlemesinin azalmasıdır. Isıl işlem uygulaması özellikle ticari değeri olmayan ağaç türleri için yeni kullanım alanları yaratılarak cazip hale getirme metodu olarak hak ettiği değeri bulmaktadır.

KAYNAKLAR

- 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 Handbook, Finnish Thermowood Association, FIN-00171 Helsinki-FINLAND.
- ANŞİN, R., GERÇEK, Z., MEREV, N., OZKAN, Z.C., TERZİOĞLU, S., SERDAR, B., BİRTÜRK, T., 1998. The Distribution, Floristic and Phytosociological factors of *Ostrya carpinifolia* Scop. in Turkey, Kasnak Oak (*Quercus vulcanica*) and Turkey Flora Symposium, 21–23 September, Istanbul, Turkey, pp. 130–146.
- ANŞİN, R., OZKAN, Z.C., 2001. Phanerogameus woody taxons. Karadeniz Technical University Publication No. 167, Faculty of Forestry Publication No. 19, Istanbul.
- 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. Gökmar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*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., SANDER, C., KEGEL, E., TJEERDSMA, B., MILITZ, H., VAN, A. J., STEVEN, M., 2006b. Microstructural and 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.
- 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 And Bark, Wood and 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.
- DOĞU, A.D., KARTAL, S.N., KÖSE, C., ERDİN, N., 2000. Some anatomical properties and wood density of *Ostrya carpinifolia* Scop. Review of the Faculty of Forestry, University of Istanbul, A 50 (2), 167–176.
- 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., KURIMOTO, 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.

- ESTEVEVES, 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 and Fiber Science, 19(2):183–195.
- FENGEL, D., 1966. On the Change of the Wood and its Components within the Temperature range up to 200°C–Part III: Thermally and Mechanically Caused Structural Changes in Sprucewood, Holz roh-u werkstoff, 31(8):529-536.
- 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 and NH₄H₂PO₄ on the Dimensional and 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.
- GERÇEK, Z., MEREV, N., ANŞIN, R., OZKAN, Z.C., TERZİOĞLU, S., SERDAR, B., BİRTÜRK, T., 1998. Ecological wood anatomical characters of European Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) grown in Turkey, Kasnak Oak and Turkey Flora Symposium, 21–23, September, Istanbul, Turkey, pp. 302–316.
- 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 and 82° C at 30% RH, Wood and 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., PETRISSANS, M., ZOULALIAN, A., GERARDIN, P., 2005. Investigation of Wood Wettability Changes during Heat Treatment on the Basis of Chemical Analysis, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 89:1-5.
- HAKKOU, M., PETRISSANS, M., EL, BAKALI. I., GERARDIN, P., ZOULALIAN, A., 2005a. Wettability Changes and 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 and 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 and Piezoelectric Effect of Wood, *Mokuzai Gakkaishi*, Vol. 18(11):535–542.
- HUNTER, A.J., SUTHERLAND, W., 1997. The Evaporation of Water at High Temperatures from Wood, *Wood Science and Technology*, Vol. 31:73–76.
- INARI, G. N., PETRISSANS. M., LAMBERT, J., EHRHARDT, J. J., GERARDIN, 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: Permanenet Set of Compression Wood by Low Molecular Weight Phenolic Resin and 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.
- 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 and Heat Treatment of Wood: Influences on Internal Checking, *Proceedings 3rd Nordic Drying Conference*, Karlstad, Sweden.
- JOHANSSON, D., 2005a. Strength and 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., MORÉN, 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 and 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 and 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, Finland.
- 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. Hitzebehandlung - eine Alternative zum chemischen Holzschutz. Tagungsband 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 and 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 and 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 Handbook*, 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.
- 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 and Technological State-of-Art, in: Proceedings of Conference on Enhancing the Durability of Lumber and Engineered Wood Products, Forest Products Society, Madison, US.
- MILLETT, M. A., GERHARDS, G. C., 1972. Accelerated Aging: Residual Weight and Flexural Properties of Wood Heated in Air at 115°C to 175°C, *Wood Science*, 4(4): 193–201.
- MITCHELL, P. H., 1988. Irreversible Property Changes of Small Loblolly Pine Specimens Heated in Air, Nnitrogen, or Oxygen, *Wood and Fiber Science*, 20(3): 320–355.
- MITSUI, 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.
- MITSUI, K., 2006. Changes in Color of Spruce by Repetitive Treatment of Light-Irradiation and 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 and UV Raman Spectroscopic Studies on Thermal Modification of Scots Pine Wood and Its Extractable Compounds, Doctor Thesis, The Department of Forest Products Technology For Public Examination and Debate in Auditorium V1 At Helsinki University of Technology (Espoo, Finland), 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 and 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 and Heat Treatment, Licentiate Thesis, Vol. 70, pp. 68., Luleå University of Technology, Department of Skellefteå Campus, Division of Wood Technology, Sweden.
- 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. AND SAILER, M., 2000. Heat Treatment in Germany, Proceedings of Seminar “ Production and 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.
- 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.
- ROZSA, M.E., FORTES, M.A., 1989. Effects of Water Vapour Heating on Structure and Properties of Corc, *Wood Science Technology*, 23:27-34.
- 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 and 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- and LT-Drying, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 53: 95-99.

- SEHLSTEDT-PERSSON, M., 2003. Colour Responses to Heat-Treatment of Extractives and Sap from Pine and 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 and 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 and 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 and 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 and 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 and 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 and 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 642 ISO 554 (1997). Kondisyonlama ve/veya Deney İçin Standard Atmosferler- Özellikler, T.S.E. Ankara.
- TS 4084 (1983). Odunda Radyal ve Teğet Doğrultuda Şişmenin 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.

- UNSAI, 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., EFE, A., 2000. *Dendroloji Ders Kitabı, Gymnospermae-Angiospermae*, İ.Ü. Yayın No: 4265, Orman Fakültesi Yayın No:465, ISBN 975-404-594-1, Istanbul.
- 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.
- 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

Yusuf Kenan ELYILDIRIM 1979'da Kars'ta doğdu; ilk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı; Alibeyköy Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1997 yılında A.İ.B.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2001'de "iyi" derece ile mezun olduktan sonra özel sektörde ağaç makineleri satış ve pazarlama departman müdürü olarak çalışmaya başladı; halen 2006 yılında girdiği DÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Orkide sok. No.3, Kat.2
Bahçeköy-Sarıyer
34474 İstanbul
Tel : +90533 5012633
Faks : +216 5285858
E-posta : yusufkenan-oem@hotmail.com