

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ AĞAÇ MALZEMENİN BAZI FİZİKSEL
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ:
İROKO ÖRNEĞİ**

Abdullah BERAM

**Danışman
Doç. Dr. Bilgin İÇEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2015**

© 2015 [Abdullah BERAM]

TEZ ONAYI

Abdullah BERAM tarafından hazırlanan "**Isıl İşlem Görmüş Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi: İroko Örneği**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman	Doç. Dr. Bilgin İÇEL Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Samim YAŞAR Süleyman Demirel Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Abdullah SÜTÇÜ Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Prof.Dr.Ahmet ŞAHİNER**

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Abdullah BERAM

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Isıl İşlemin Tanımı ve Tarihçesi	2
1.2. Isıl İşlem Metotları	4
1.2.1. Platowood	4
1.2.2. Yağla ısıl muamele (Oil heat treatment)	4
1.2.3. Fransız yöntemleri.....	5
1.2.4. ThermoWood.....	6
1.2.4.1. Standart ThermoWood uygulaması.....	7
2. KAYNAK ÖZETLERİ	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. İroko (<i>Chlorophora excelsa</i>) hakkında genel bilgiler	29
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Örneklerin hazırlanması	32
3.3. Deneysel Çalışmalar	33
3.3.1. Tam kuru yoğunluk tayini	33
3.3.2. Hava kurusu yoğunluk tayini.....	34
3.3.3. Boyutsal değişim.....	35
3.3.4. Liflere paralel basınç direnci tayini.....	36
3.3.5. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini	38
3.3.6. Renk tayini.....	40
3.3.7. Shigometre Ölçümleri	42
3.4. İstatistiksel Değerlendirme	43
3.4.1. Örnek sayısının hesaplanması.....	43
3.4.2. Normallik Denetimi	43
3.4.3. İki Ortalama Arasındaki Farkın Test Edilmesi.....	49
3.4.3.1. Bağımsız Örneklem T Testi.....	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	50
4.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular	50
4.1.1. Hava kurusu yoğunluk	50
4.1.2. Tam kuru yoğunluk	51
4.1.3. Boyutsal değişim.....	52
4.1.3.1. Daralma oranları.....	52
4.1.3.2. Genişleme oranları	54
4.1.4. Renk Değişimi	58
4.1.5. Shigometre Ölçümleri	60
4.2. Mekanik Özelliklere Ait Bulgular	61
4.2.1. Liflere paralel basınç direnci	61
4.2.2. Eğilme direnci (MOR).....	65
4.2.3. Elastikiyet modülü (MOE)	68

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ AĞAÇ MALZEMENİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ: İROKO ÖRNEĞİ

Abdullah BERAM

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bilgin İÇEL

Odunun ısı ile muamele edilerek kurutma ve sahip olduğu olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi eski çağlardan günümüze kadar kullanılan bir yöntemdir. Halen günümüzde de bu işlem aynı nedenlerle kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, “ThermoWood” yöntemiyle ısı işlem uygulanan İroko (*Chlorophora excelsa*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu ağaç türü 190 °C sıcaklıkta 120 dakika süre ile “ThermoWood” yöntemiyle ısı işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem görmüş örnekler kendi kontrol gruplarıyla karşılaştırılmıştır.

Isıl işleme tabi tutulan test örneklerinde fiziksel özelliklerden, tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk, daralma ve genişleme değerleri; mekanik özelliklerden ise, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci değerleri belirlenmiş ve kontrol grubuna göre değişim oranları hesaplanmıştır. Ayrıca, çalışmada kullanılan örneklerin farklı rutubetlerde sahip olduğu elektriksel dirençleri shigometre cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak; ısı işlem görmüş örnekler kendi kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında farklı oranlarda değişimler meydana gelmiştir. Uygulanan ısı işlem metodu 190 °C sıcaklık ve 120 dakika süredir. Hava kurusu yoğunlukta, tam kuru yoğunlukta, hacimsel daralmada, hacimsel genişlemede, liflere paralel basınç direncinde, eğilme direncinde, elastikiyet modülünde ve elektriksel dirençte meydana gelen azalma oranları sırasıyla %7, %4,58, %13,2, %19, %15,7, %25, %27, %50 bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: İroko, ThermoWood, ısı işlem, fiziksel ve mekanik özellikler

2015, 84 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINING SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAT TREATED WOOD MATERIAL: IROKO AS A SAMPLE

Abdullah BERAM

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Forest Products Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bilgin İÇEL

Heating of wood is a method that used for the purpose of drying and improving undesirable properties of wood from ancient times until today. Currently, this process is used for the same reasons.

In this study, the physical and mechanical properties of iroko wood which is heat-treated with “ThermoWood” process at 190 °C and 120 minutes were investigated. This wood species was heated with “ThermoWood” process. Heat treated samples were compared with their control (untreated) groups.

As physical properties; oven-dry density, air-dry density, shrinkage and swelling, as mechanical properties; bending strength, modulus of elasticity in bending and compression strength parallel to the grain were determined and change ratios were calculated comparing with control groups. Also, the electrical resistance of the samples were measured with shigometer in different moistures.

As a result when heat treated samples were compared its own control groups it was found that different changes ratios for both parameters. While decrease rates of volumetric shrinkage, volumetric, swelling, oven-dry density, air-dry density, compression strength, bending strength, modulus of elasticity and electrical resistance at 190 °C temperature and 120 minutes were found %7, %4,58, %13,2, %19, %15,7, %25, %27, %50 respectively.

Keywords: Iroko, ThermoWood, heat treatment, physical and mechanical properties.

2015, 84 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman hocam Doç. Dr. Bilgin İÇEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen tüm dostlarıma, arkadaşlarıma, DPÜ Simav Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Said SOFUOĞLU'na, Arş. Gör. Dr. Hüseyin YEŞİL'e, Arş. Gör. Gürcan GÜLER'e ve Arş. Gör. Onur ALKAN'a teşekkür ederim.

06088-YL-14 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin kereste temini için desteklerinden dolayı NOVA Orman Ürünleri Ticaret Anonim Şirketi'ne teşekkür ederim.

SDÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Tezimin ve hayatımın her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Abdulah BERAM
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Reulbach'teki Oil-Heat-Treatment fırını.....	5
Şekil 1.2. Isıl işlem safhaları	7
Şekil 1.3. ThermoWood fırını	9
Şekil 3.1. İrokonun Dünya'daki yayılış alanı.....	29
Şekil 3.2. İroko ağacının gövde yapısı.....	30
Şekil 3.3. Çalışmanın ana aşamaları	31
Şekil 3.4. Kesim planı uygulanacak iroko keresteleri	32
Şekil 3.5. Deneilerde kullanılan numunelerin elde edildiği kerestelerin kesim planı	33
Şekil 3.6. Boyutsal değişimi hesaplamak için kullanılan kontrol ve işlem örnekleri	35
Şekil 3.7. Liflere paralel yönde basınç direnci tayini	37
Şekil 3.8. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini	39
Şekil 3.9. Üç boyutlu CIE L*a*b* renk bölgeleri	40
Şekil 3.10. Keresteler üzerinde gerçekleştirilen renk ölçümleri.....	41
Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan numunelerin ölçümlerinin yapıldığı shigometre ve rutubet ölçer.....	42
Şekil 3.12. Elastikiyet modülünün belirlendiği örnek gruplarında normal dağılım grafiği	45
Şekil 3.13. Kök-Yaprak grafiği	46
Şekil 3.14. Normal ihtimal grafiği.....	47
Şekil 3.15. Normal dağılım göstermeyen hava kurusu rutubete ait grafik	48
Şekil 4.1. Isıl işlemin farklı yönlerde daralma miktarı üzerine etkisi.....	53
Şekil 4.2. Isıl işlemin farklı yönlerde genişleme miktarı üzerine etkisi.....	55
Şekil 4.3. Kontrol grubuna ait elektriksel direnç ile rutubet ilişkisi.....	60
Şekil 4.4. İşlem grubuna ait elektriksel direnç ile rutubet ilişkisi	60
Şekil 4.5. Ağaç Malzeme rutubetinin basınç direnci ile ilişkisi.....	63
Şekil 4.6. Isıl işlemin İroko odununda basınç direnci üzerine etkisi	63
Şekil 4.7. Isıl işlem sonunda iroko odununun eğilme direnci (MOR) üzerine etkisi.....	66
Şekil 4.8. Isıl işlem ve kontrol grubunda zor-zorlanma davranışına örnek grafikler	68
Şekil 4.9. Isıl işlem sonrası İroko odununun elastikiyet modülü değerleri.....	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Thermo-S sınıfı malzemenin kullanım alanları	8
Çizelge 1.2. Thermo-D sınıfı malzemenin kullanım alanları.....	8
Çizelge 3.1. Tam kuru yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler.....	46
Çizelge 3.2. Eğilme direncine ait Kolmogorov-Smirnov testi.....	47
Çizelge 3.3. Hava kuru yoğunluğa ait Kolmogorov-Smirnov Testi	48
Çizelge 4.1. Hava kuru yoğunluğa ait tanımlayıcı istatistikler.....	50
Çizelge 4.2. Hava kuru yoğunluğa ait bağımsız örneklem t testi sonuçları ...	51
Çizelge 4.3. Tam kuru yoğunluğa ait tanımlayıcı istatistikler	51
Çizelge 4.4. Daralma oranlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	53
Çizelge 4.5. Daralma miktarlarına ait bağımsız örneklem t testi sonuçları	54
Çizelge 4.6. Genişleme oranlarına ait tanımlayıcı istatistikler.....	55
Çizelge 4.7. Genişleme miktarlarına ait bağımsız örneklem t testi sonuçları....	56
Çizelge 4.8. Isıl işlem ve kontrol grubunda renk değerleri	58
Çizelge 4.9. Liflere paralel basınç direncine ait tanımlayıcı istatistikler.....	62
Çizelge 4.10. Basınç direncine (N/mm ²) ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.....	62
Çizelge 4.11. Eğilme direncine ait tanımlayıcı istatistikler	65
Çizelge 4.12. Eğilme direncine (N/mm ²) ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.....	66
Çizelge 4.13. Elastikiyet modülüne ait tanımlayıcı istatistikler	68
Çizelge 4.14. Elastikiyet modülüne (N/mm ²) ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları.....	69
Çizelge 5.1. Isıl işlemde uygulanan ThermoWood ile fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen azalmalar (%).....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a*	kırmızı koordinat
ASE	Anti Swelling Efficiency (Genişleme Karşıtı Etki)
b*	sarı koordinat
CCA	Bakır Krom Arsenik
CCB	Bakır Krom Bor
DRM	Denge rutubet miktarı
F	Uygulanan Kuvvet
Fmax	Maksimum Yük
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
İYA	İğne yapraklı ağaç
L*	Işık açısı
LDN	Lif doygunluk noktası
MOE	Elastikiyet modülü (Modulus of elasticity)
MOR	Eğilme direnci
MΩ	Megaohm
OMY	Odun modifikasyonu yöntemleri
r	Radyal yön
t	Teğet yön
TS	Türk standartları
VTT	Valtion Teknillien Tutkimuskeskus= Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi
YA	Yapraklı ağaç
ΔE	Isıl işlem sonrasında örneklerde meydana gelen toplam renk değişimi
ΔL	Siyah-beyaz renk değişimi
Δa	Kırmızı-yeşil renk değişimi
Δb	Sarı-mavi renk değişimi
σβ//	Liflere paralel basınç direnci

1. GİRİŞ

Ağaç malzeme, binlerce yıldır insanoğlu tarafından çeşitli amaçlarla kullanılan doğal, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir malzemedir. Çağımızın getirdiği teknik yeniliklere ve çok sayıdaki yeni malzeme ile rekabetine rağmen, odun esaslı malzemeler sahip olduğu üstün özellikleri nedeniyle günümüzde birçok kullanım alanında önemini korumaktadır. Biyolojik yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimi odunun çok farklı ürünler halinde kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Ağaç malzemenin iyi bir yalıtım malzemesi olması ve yoğunluğuna oranla direnç değerlerinin yüksek olması tercih edilme sebepleri arasında öncelik taşımaktadır (Bozkurt ve Göker, 1981; Yıldız, 2002; Akgün, 2008).

Ağaç malzemenin faydalı özelliklerinin yanında aynı zamanda bazı sakıncalı özellikleri de bulunmaktadır. Ağaç malzeme doğal halde iken fiziksel, kimyasal ve mekanik tahrip faktörlerine ve biyotik faktörlere (mantar, böcek, termit vb.) karşı dayanıklı değildir (Berkel, 1972; Aydemir ve Gündüz, 2009; Tomak, 2014). Ağaç malzemenin olumlu özelliklerine karşın nem içeriğindeki değişime bağlı olarak oluşan anizotropik boyutsal değişimler kullanım alanlarında çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Isıl işlem; son yıllarda ağaç malzemenin olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi ve özellikle malzemeye boyutsal kararlılık ve biyolojik dayanım sağlanması amacıyla tercih edilen ve yaygınlaşan bir modifikasyon uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Orman ürünleri sektöründe emprenye işlemi (kimyasal maddelerle muamele) biyolojik zararlılardan ahşap malzemeyi korumak amacıyla çok sık kullanılan bir methodtur. Emprenye işleminin dezavantajı ise genel olarak toksik maddelerin kullanılmasıdır. Bu sebeple boyutsal kararlılık (stabilizasyona) sağlamak ve biyolojik bozunmayı (degradasyon) önlemek için ağaç malzemelerin çevreyle dost, korunma sağlayan yöntemler araştırılmaya başlanmıştır. Isıl işlem kimyasal kullanmadan ağaç malzemenin modifikasyonu için kullanılan bir yöntem olduğu için, özellikle son yıllarda kullanıcılar açısından popülaritesi artmakta olan yöntemlerin başında gelmektedir (Aydemir, 2007; Perçin vd., 2012).

Isıl işlem uygulanmış kerestelerin bina dışı cephe kaplaması, bahçe çitleri, çocuk oyun alanı, pencere ve pencere panjurları, iç ve dış kapı, iç mekan kaplamaları, parke ve döşeme tahtası, park ve bahçe mobilyaları, sauna ve sauna elemanları, iç mekan mobilyaları ve müzik aletleri yapımında kullanıldığı görülmektedir (Kalaycıoğlu, 2003). Elastikiyet modülü, eğilme direnci ve basınç direnci gibi mekanik özellikler yük taşıyıcı yapı elemanları için önemlidir. Boyutsal kararlılık ise sauna, banyo ve bahçe mobilyaları gibi rutubetli ortamlarda kullanılan ağaç malzeme için önemli bir faktördür. Yapılarda meydana gelen tipik kuvvetler ve uygulaması, ısıl işlem uygulanmış odunun kırılma davranışı ve tipik direnç karakteristiklerinin (çekme direnci) hesaba katılmasında dikkatlice düşünülmelidir (Mayes ve Oksanen, 2002).

Endüstriyel önemi olan yerli ağaç türlerinin ısıl işlem sonrası teknolojik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin bilinmesi hem endüstriyel hem de akademik anlamda önemlidir. Bugüne kadar bu konuda yapılan ve bu tezin farklı kısımlarında da yer verilmiş olan yurt içi ve yurtdışı çalışmalar ile, pek çok araştırmacının ısıl işlemin farklı odun türleri üzerine etkileri konusunda literatüre çok önemli katkıları olmuştur. Bu tezin literatürde yapılan çalışmalara ek olarak sağlayacağı katkılar ise; ülkemiz ve dünya ekonomisinde önemi giderek artan iroko odunun, ısıl işlem ile muamelesi sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri saptamak ve bu ağaç malzemenin önemini vurgulamaktır. Ayrıca bu çalışmada kullanılmış olan materyallerin, piyasaya sürümü gerçekleştirilen bir fabrikadan temin edilmiş olması ve birebir fabrikada ısıl işlem uygulamasına tabi tutulması bu çalışmanın kullanıcılar açısından önemini daha da arttırmaktadır.

1.1. Isıl İşlemin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Isıl işlem; odunun 100-250 °C arasında normal atmosfer, azot gazı veya herhangi bir inert gaz ortamında belirlenen bir süre boyunca bekletilmesi olarak tanımlanır. Ağaç malzemenin kimyasal maddelerle modifikasyonunda özel işlem teçhizatları, teknik kurutma ve farklı bir kalite kontrol gerekirken, ısıl işlemde bütün bunlara gerek duyulmamakta, ayrıca kimyasal maddelerin çevreye ve dolayısıyla insan sağlığına vereceği zararlarda önlenmektedir (Yıldız, 2002; Anonim, 2003; Esteves ve Pereira, 2009).

Odunun ısırl işleme tabi tutulması esasen iki amaca yönelik yapılmaktadır. Bunlardan birincisi tahrip edici organizmalara karşı odunun biyolojik direncini arttırmak, ikincisi ise odundaki denge rutubet miktarının (DRM) azaltılması ve buna bağlı olarak odunun çalışmasını en az seviyeye indirerek boyutsal kararlılık kazandırmaktır (Karakaş, 2008; Aydemir ve Gündüz, 2009; Güller, 2012). Bunun yanı sıra, ısırl işleme odunda geçirgenliği arttırmak, CCA ve CCB gibi emprenye maddelerinin ve boyama-vernikleme gibi üst yüzey işlemlerinin performansını yükseltmek de mümkün olabilmektedir (nsal vd., 2003).

Isırl işlem yönteminin yüzyıllardır bilindiğini, Vikinglerin bin yıl önce it malzemesi gibi dış yapılarda kullanılan oduna ısırl işlem uygulamasından anlamaktayız (Kalaycioğlu, 2003). Ancak, bu konudaki ilk bilimsel çalışmalar 1915 yılında Tiemann tarafından rapor edilmiştir. Tiemann (1915), yapmış olduğu çalışmada hava kurusu ağırlığındaki odunu 150 °C’de 4 saat kızgın buhara tabi tutarak nem eğilimini %10-15 kadar dşrmştir. Daha sonra, Almanya’da 1930’lu yıllarda Stamm ve Hansen yaptıkları çalışmada; oduna 205 °C ısı vererek odunun çalışmasının düşürdüğünü rapor etmiştir. 1940’lı yıllarda Amerika’da White, 1950’li yıllarda Almanya’da Bavendam, Runkel ve Buro bu konuda araştırmalar yapmışlardır. Kollman ve Schneider (1960)’in çalışmalarının yayınlanmasından sonra, ısırl işlem bilimsel olarak daha fazla kişi tarafından tartışılmaya başlanmıştır. Rusche ve Burmester (1970), yine bu konuda çalışmışlardır. 1990’lı yıllardan sonra Finlandiya, Fransa ve Hollanda’da gibi ülkelerde bilimsel çalışmalar endüstriyel uygulamalara dönüşmeye başlamıştır (Mayes ve Oksanen, 2002). Finlandiya’da bulunan Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından endüstriyel ısırl işlem uygulamaları konusunda pek çok çalışma yapılmıştır. Odunun ısıyla muamelesi endüstriyel anlamda farklı ülkelerde birkaç farklı metotla (Hollanda-Plato yöntemi, Fransa-Retification ve Le Bois Perdure, Almanya-Yağla ısırl muamele, Finlandiya-ThermoWood) yapılmasına rağmen, Avrupada en çok yaygınlaşan metot VTT tarafından geliştirilen “ThermoWood” olarak adlandırılan ısırl işlem yöntemidir (Anonim, 2003; Aydemir ve Gündüz, 2009; Korkut, 2009; Güller, 2012). Bu alışmada, ThermoWood yöntemi ile ısırl işlem görmüş odun örnekleri incelenmiştir. Bununla birlikte, bu yöntemin diğer ısırl işlem yöntemlerinden farkının daha iyi ortaya konulabilmesi amacıyla, tüm ısırl işlem yöntemleri kısaca açıklanmıştır.

1.2. Isıl İşlem Metotları

Isıl işlemin uygulamasının endüstriyel olarak bugüne kadar Avrupa’da kullanılan dört metodu vardır. Bunlar; Finlandiya’da kullanılan “ThermoWood”, Almanya’da kullanılan “Yağla Isıl Muamele”, Fransa’da kullanılan “Retification” ve “Le Bois Perdure”, Hollanda’da kullanılan “PlatoWood” metotlarıdır. Avrupa’da yaygın olarak kullanılan bu ısıl işlem metotlarının, insan sağlığına zararlı olabilecek çeşitli kimyasal maddeleri kullanmamaları ve bununla beraber çevreye karşı zarar verici bir yapıda olmadıkları belirtilmektedir. Bu metotların genel kullanım amacı, ağaç malzemenin biyolojik dayanıklılığı ve boyutsal kararlılığı gibi özellikleri artırmak olarak bildirilmektedir (Esteves ve Pereira, 2009).

1.2.1. Platowood

Bu ısıl işlem çeşidi iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada taze veya hava kurusu haldeki ağaç malzeme atmosferik basınç altında 4-5 saat süre boyunca 160 °C-190 °C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulur. Konvansiyonel kurutma metodu ile %8-10 rutubete kadar kurutma yapılır. Bu süre 3-5 gün arasında değişebilmektedir. İkinci aşamada ise kuru haldeki ağaç malzeme 170 °C-190 °C sıcaklıklar arasında tekrar ısıtma işlemine tabi tutulur. Bu işlem 14-16 saat sürebilmektedir. Sonrasında 2-3 günlük dinlendirme safhası gelir. İkinci safhada %1’e inen odun rutubeti dinlendirme ile %4-6 civarında rutubete sahip olur. Yukarıda belirtilen süreler ağaç malzemenin kalınlığı, türü vb. özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Kamdem, 2002).

1.2.2. Yağla ısıl muamele (Oil heat treatment)

Almanya’da geliştirilen sıcak yağ uygulaması, endüstriyel olarak kullanılan ısıl işlem tekniklerden birisidir. Isıl işlem kapalı bir proses tankı içerisinde uygulanmaktadır (Şekil 1.3). Proses tankı odun hammaddesiyle doldurulduktan sonra sıcak yağ, yağ deposu tankından proses tankına gönderilmektedir. Odun hammaddesinin etrafında sirküle edilen yağın sıcaklığı, yüksek sıcaklık uygulamasıyla muhafaza edilmektedir. Tank boşaltılmadan önce sıcak yağ, yağ deposu tanklarına geri gönderilmektedir. En yüksek biyolojik dayanım ve en az yağ tüketimi için uygulanan sıcaklık 220 °C, en

yüksek biyolojik dayanım ve en az direnç kaybı için 180-200 °C sıcaklıklar prosesde uygulanmaktadır. Muamele için, kolza tohumu yağı, beziryağı veya ayçiçeği yağı gibi bitkisel yağlar kullanılmaktadır (Kamdem, 2002).



Şekil 1.1. Reulbach'teki Oil-Heat-Treatment fırını (Kamdem, 2002)

1.2.3. Fransız yöntemleri

Fransa'da kullanılmakta olan iki yöntem vardır. Bunlardan ilki New Option Wood şirketi tarafından patenti alınan "Rectification" olarak bilinen, Ecole des Mines de Saint-Etienne tarafından geliştirilen yöntemdir. Yöntemde, ağaç malzeme hava kurusu halde iken 240 °C sıcaklıkta nitrojen gazının prosese dahil edilmesiyle ısıl işleme tabi tutulur. Nitrojenin kullanım amacı; yüksek sıcaklık altında meydana gelecek oksidasyona bağlı olarak ağaç malzemedeki renk değişimi kontrol altında tutmak ve ayrıca yanma olayını engellemektir. Ortamdaki oksijen miktarı %2'den az olmalıdır. Aksi halde yanma olayı meydana gelmektedir. İkinci proses "Le Bois Perdure" olarak tanımlanır. Yöntemde taze haldeki ağaç malzeme kullanılır. İlk olarak ağaç malzeme kurutulur, sonrasında ise 230 °C'de buhar atmosferinde ısıl işlem uygulaması gerçekleştirilir (Kamdem, 2002).

1.2.4. ThermoWood

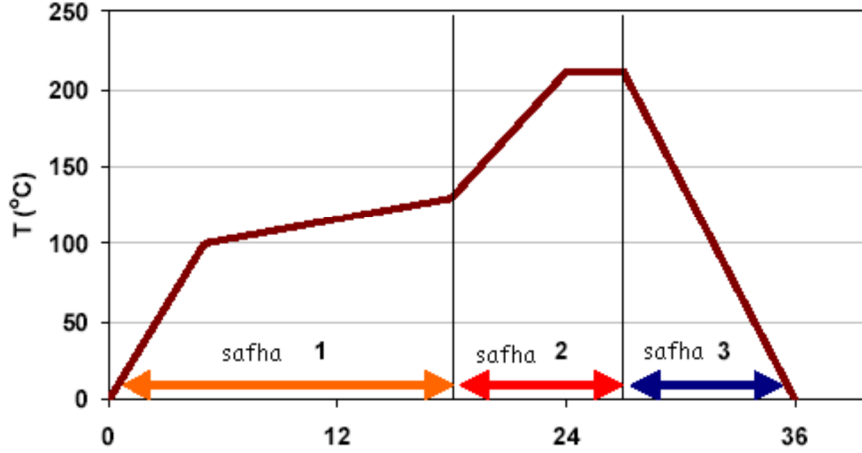
Isıl işlem; Hollanda-Plato yöntemi, Fransa-Rectification ve Les Bois Perdure, Almanya-Yağ kullanılan ısıl İşlem ve Finlandiya-ThermoWood gibi birkaç farklı metotla yapılmasına rağmen, en yaygın kullanıma sahip olan yöntem Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş ve ThermoWood olarak bilinen yöntemdir (Baltacı, 2010).

Bu yöntem, Ahşap malzemenin yüksek sıcaklıklarla muamele edilmesi olarak bilinip, Finlandiya başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde kullanılmaktadır. Isıl işlem süresince kullanılan enerjinin %80'i ilk kademedeki kurutma için kullanılmaktadır. Bu kullanılan enerji klasik kereste kurutma sürecinde kullanılan enerjinin sadece %25'ini oluşturmaktadır. Ayrıca ısıl işlem yönteminde hiçbir kimyasal kullanılmamakta, sadece su ve ısı enerjisi kullanılmaktadır (Mayes ve Oksanen, 2002). Isıl işlem safhaları aşağıda belirtildiği gibidir.

Kademe 1 (Kurutma Fazı): Isıl işlemde en fazla zaman alan kademedir. Bu kısım ayrıca yüksek sıcaklıkta kurutma olarak da adlandırılmaktadır. Kuruma fazının başlangıcında ahşap malzeme kuru yada yaş halde olabilir. Başarılı bir kurutmada iç çatlakların olmaması önem arz etmektedir. Bu nedenle sıcaklık artırılarak su buharı ortamında yüksek sıcaklıkta kurutma yapılır. Burada önce ahşabın sıcaklığı hızla 100 °C'ye çıkarılır, daha sonra yavaşça 130 °C'ye kadar yükseltilir. Aynı zaman da ahşapta çatlakları önlemek için ön koruma amaçlı su buharı uygulanmaktadır. Bu aşamada nem miktarı hemen hemen sifira indirilir. Bu aşamanın süresi odun türü, kereste kalınlığı ve odunun rutubet içeriğine göre değişim göstermektedir. Başarılı bir kurutma, iç çatlakların engellenmesi için önemlidir.

Kademe 2 (Isıl İşlem Fazı): Birinci evreyi takiben ısıl işlem prosesi seviyesine bağlı olarak sıcaklığın 165-212 °C'ye kadar yükseltilebildiği kapalı ortamda yanmasını engellemekte kullanılan buhar hem odunun korunmasında hem de odunda gerçekleşen kimyasal değişime etkisi bulunmaktadır. Isıl işlem uygulama amacına bağlı olarak 2-3 saat sabit tutularak gerçekleştirilir.

Kademe 3 (Kondisyonlama): Odun ısıtılardan sonra, kontrollü olarak soğutulur. Burada odun ve dış hava arasındaki yüksek sıcaklığın sebep olabileceği çatlamalardan dolayı bu basamak titizlikle takip edilmelidir. Muamele sıcaklığına ve odun türüne bağlı olarak kondisyonlama 5-15 saat arasında yapılmaktadır. (Korkut ve Özdemir, 2003).



Şekil 1.2. Isıl işlem safhaları (Mayes ve Oksanen, 2002)

1.2.4.1. Standart ThermoWood uygulaması

İğne yapraklı ve geniş yapraklı odun türlerinin anatomik yapılarının farklı olması nedeniyle bu odunlarda farklı sınıflandırmalar uygulanmaktadır. En sık kullanılan sınıflandırma standart ThermoWood sınıflandırmasıdır (Sidorova, 2009). ThermoWood uygulamasında ThermoWood fırınında (Şekil 1.5) sıcaklığın artmasıyla birlikte odun özellikleri yavaş yavaş değişikliğe uğramaktadır. Bu uygulamada genel de iğne yapraklı ağaçların odunlarında 185-212 °C, geniş yapraklı ağaçların odunlarında 165-200 °C ısıtıl işlem uygulanmaktadır. Sıcaklık derecesi odunun biyolojik dayanımı, çekme, şişme ve renk değişimini etkileyen anahtar özelliktir (Aydemir, 2007).

Standart ThermoWood'da iki sınıf uygulama vardır. Bunlar Thermo-S ve Thermo-D uygulamalarıdır. Thermo-S deki 'S' stabilite ve sağlamlık anlamına gelmektedir (Güller ve Korkut, 2007). Dış görünüşle birlikte, stabilite bu uygulama sınıfında anahtar özelliğidir. Thermo-S sınıfında uygulamaya tabi kalmış odunun neme bağlı

daralma ve şişme ortalaması %6-8 dir. Thermo-S sınıfı malzemenin kullanım alanları Çizelge 1.1’de verilmiştir (Mayes ve Oksanen, 2002).

Çizelge 1.1. Thermo-S sınıfı malzemenin kullanım alanları

Thermo-S İğne Yapraklı Ağaçlar	Thermo-S Geniş Yapraklı Ağaçlar
Yapı malzemeleri	Yer Kaplamaları (Parke)
Mutfak ve Elbise Dolapları	Sauna ve Sauna Elamanları
Kapı ve Pencere malzemeleri	Bahçe Mobilyaları
Dış Cephe Kaplamaları	İç Cephe Kaplamaları
İç Mekân Mobilyaları	İç Mekân Mobilyaları
İç Cephe Kaplamaları	Bahçe Mobilyası
Bahçe Mobilyası	
Sauna ve Sauna Elamanları	

Thermo-D deki ‘D’ dayanıklılık (durability) manasına gelmektedir (Güller ve Korkut, 2007). Dış görünüşle birlikte, dayanıklılık bu uygulama sınıfının anahtar özelliğidir. Thermo-D sınıfı uygulanan ahşabın neme bağlı daralma ve şişme ortalaması %5-6’dır. Thermo-D sınıfı malzemenin kullanım alanları Çizelge 1.2’de verilmiştir (Mayes ve Oksanen, 2002).

Çizelge 1.2. Thermo-D sınıfı malzemenin kullanım alanları

Thermo-D İğne Yapraklı Ağaçlar	Thermo-D Geniş Yapraklı Ağaçlar
Dış Cephe Kaplaması	İç Cephe Kaplamaları
İç ve Dış Kapı	İç Mekân Mobilyaları
Pencere ve Pencere panjurları	Bahçe Mobilyası
Park ve Bahçe Mobilyaları	Yer Kaplamaları (Parke)
Sauna ve Sauna Elamanları	Sauna ve Sauna Elamanları
Yer Kaplamaları (Parke)	Bahçe Mobilyaları
Bahçe Elemanları (Bahçe Çitleri)	
Havuz ve Bahçe Deckleri	

Diğer bir sınıflandırma çeşidi ise Stellac'dır. D1,D2, D3 ve T4, T5 olmak üzere 5 sınıftan oluşmaktadır. D sınıfları için biyolojik dayanıklılık; T sınıfları içinse mukavemet ön plandadır. Stellac sınıflandırmada ısıtma işleminin sıcaklık değeri 190-250 °C arasında değişmektedir (Sidorova, 2009; Baltacı, 2010).



Şekil 1.3. ThermoWood fırını

Isıl işlem muamelesi sonunda odunda kalıcı fiziksel ve kimyasal özelliklerde değişimler meydana gelir. Değişimler 150 °C'de başlar ve sıcaklığın artmasıyla her kademedeki devam eder. Isıl işlemde uygulanan sıcaklık en önemli etkidir. Ancak ağaç türü, ısıtma işlem süresi, atmosfer, basınç, rutubet miktarı ve sıcaklığın eşit dağılımı gibi bazı faktörler de sonuca etki etmektedir (Viitanen vd., 1994; Aydemir ve Gündüz, 2009). Odunun termal bozunması 100 °C sınırından itibaren başlamaktadır. 200 °C'nin üzerinde yapısal hasar, odun bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve buhar fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar meydana geldiği görülür. 270 °C'nin üzerinde ise odunun piroliz ve yanma olayı başlamaktadır (Fengel ve Wegener, 1989).

Bu çalışmanın amacı, son yıllarda ülkemiz ve dünya ekonomisinde önemi giderek artan iroko (*Chlorophora excelsa* Benth. & Hook. F.) türünden elde edilen

materyallerin 190 °C’de ve 2 saatlik ısıtılma tabi tutulduktan sonra bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri belirlemek ve ısıtılma tabi tutulmayan test örnekleri ile karşılaştırılarak uygulanan ısıtılma işleminin iroko odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişimi belirlemektedir. Ayrıca bu çalışmada, shigometre yardımı ile testlerde kullanılan numunelerin farklı rutubette sahip oldukları elektriksel dirençleri ölçülmüştür. Shigometre genelde dikili ağaçlarda çürüme ve elektriksel direnci ölçmek için kullanılmaktadır (Shortle, 1982; Shigo ve Shortle; 1985). Çalışmada örnekler, suya maruz bırakılarak belirli zaman aralıklarında rutubete bağlı değişen elektriksel direnç özelliği tespit edilmiştir. Bu durumdan farklı olarak literatürde ısıtılma işlem görmüş malzemede shigometre ile elektriksel direnç ölçümü konusunda çok fazla kaynağa rastlanmamıştır. Bu nedenle, çalışmanın bu kısmı ileride yapılabilecek benzer çalışmalara bir altlık niteliği taşıma açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Çalışmada kullanılmış olan materyallerin, fabrika şartlarında ısıtılma işlem uygulamasına tabi tutulmuş olması bu çalışmanın önemini daha da arttırmaktadır. Bu tez kapsamında elde edilen sonuçların literatürde iroko odunu ile yapılacak çalışmalara ışık tutması ve kullanıcılara faydalı veriler sağlaması amaçlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Odunun ısıyla muamele edilmesi bilimsel anlamda ilk olarak 1930'lu yıllarda Stamm ve Hansen tarafından Almanya'da gerçekleştirilmiştir. 1940'lı yıllarda Amerika'da White ve 1950'li yıllarda Almanya'da Bavendam, Rundel ve Buro bu konuda araştırmalarını sürdürmüşlerdir. 1960'lı yıllarda Kollman ve Schneider yaptıkları araştırmaları bilim dünyasına duyurmuş ve konuyla ilgili daha fazla çalışma yapılmasına olanak sağlamışlardır. 1990'lı yıllardan sonra ise özellikle Finlandiya, Fransa ve Hollanda gibi ülkelerde konuyla ilgili çalışmalar bilim adamları tarafından ele alınmış ve birçok önemli çalışma Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi (VTT) tarafından gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2003; Esteves ve Pereira 2009).

Isıl işlem görmüş odunda sıcaklığın artması ve sürenin uzaması ile doğru orantılı olarak renkte koyulaşma meydana gelmektedir. Hava ortamında gerçekleşen koyulaşma, nitrojen ortamına göre daha fazladır (Bourgois vd., 1991). Kimyasal bileşikler ve ekstraktif maddelerdeki bozunmaların, bu renk değişiminin ana sebebi olduğu bildirilmektedir (Sehlstedt-Perrson, 2003).

Isıl işlem görmüş odunun eğilme direncinin, ısıl işlem görmemiş oduna göre %40'dan daha fazla düşüş gösterdiği bilinmektedir. Bu durum kusurlu olan bölgelerde daha da fazladır. Düşük sıcaklıklarda ısıl işlem görmüş (4 saat-190 °C) odunda bu düşüşün daha az olduğu bilinmektedir. Isıl işlem görmüş odunun eğilme direncindeki bu az ya da çok düşüşün, bu odunun yapılarda kullanılmasının tavsiye edilmemesinin nedeni olarak gösterilmektedir (Rusche, 1973a; Green, 1999).

Birçok çalışmada, odun termal olarak kısa zaman periyotlarında muamele edilmiş ve elastikiyet modülünde küçük bir artış olduğu belirlenmiştir. Chang ve Keith (1978), ılımlı ısıl işlem sonunda odun örneklerinin elastikiyet modülünün önemsiz oranda arttığını, ancak çok yüksek sıcaklıklardaki muamelenin elastikiyet modülünde azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Elastikiyet modülündeki düşüş muamele sıcaklığı ve diğer şartlara bağlı olarak değişmektedir (Yıldız vd. 2006). Mitchell (1988), kapalı sistemlerde 150 °C sıcaklıkta nemli şartlar altında odunun termal işleminden dolayı elastikiyet modülündeki düşüşün belli bir kinetiğe uymadığını belirtmiştir. 150 °C sıcaklıkta kuru şartlar altında odunun termal işleminden sonra

genellikle elastikiyet modülünde küçük artışlar meydana geldiğini ve bu durumun uzun ısıtma periyotlarında oksijen varlığında olduğunu rapor etmiştir. Nem mevcutken tüm elastikiyet modülünde kısa ısıtma periyotlarında düşüşler gerçekleştiği belirtilmiştir.

Ahşap malzemeye ısıtma işlemi uygulanması denge rutubet miktarını (DRM) açık bir şekilde azaltmaktadır (Esteves vd., 2007; Esteves vd., 2008; Gündüz vd., 2008; Akyıldız ve Ateş, 2008; Akyıldız vd., 2009a; Akyıldız vd., 2009b; Ateş vd., 2009). Yüksek sıcaklık derecelerinde (220°C), denge rutubet miktarı ısıtma işlemi görmemiş ağaca göre yarı yarıya değişiklik göstermektedir (Anonim, 2006). Denge rutubet miktarındaki bu azalmanın; hemiselülozların bozunması, selülozun amorf bölgelerinin degrade olması ve çapraz bağlanma reaksiyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Tjeerdsma vd., 1998; Tjeerdsma ve Militz., 2005; Bhuiyan ve Hirai., 2005; Esteves vd., 2007).

Santos (2000), okaliptüs odunu üzerinde ASE değeri ve 3 saat 180 °C sıcaklıkta ısıtma işleminin etkisini araştırmıştır. Isıtma işlemi uygulamasının odunun direncini önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Isıtma işlemi uygulanmış odunun çekme direncinin %26 oranında düşmesine rağmen, elastikiyet modülü değerlerinin normal odununun değerlerinden daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

Leithoff ve Peek (2001), Avrupa'da ve Asya'da yetişen *Phyllostachys viridiglaucescens* (Carrière) Rivière. & C. Rivière. ve *Phyllostachys pubescens* (Pradelle) Mazel ex J. Houz. bambu türlerine 200 °C sıcaklıkta ısıtma işlemi uygulayarak mekaniksel özelliklerin değişimini (eğilmede elastikiyet modülü ve şok direnci) araştırmışlardır. Ayrıca gerçekleştirdikleri mantar testleriyle *Basidiomiset* üyesi olan, *Caniophora puteana* (Schumach.) P. Karst., *Coriolus versicolor* (L.) Quèl. ve *Schizophyllum commune* Fries türlerine karşı bambuların dirençlerini tespit etmişlerdir. Bambuların *Basidiomiset* üyelerine karşı yüksek direnç gösterdiği belirlemişler ve bu direncin kazanılması için 220 °C ve 2 saat süreyle ısıtma muamelesinin yeterli olacağı tespit etmişlerdir. Eğilme ve şok direncinde ciddi düşüşler olmasına rağmen elastikiyet modülünde çok fazla bir düşüşe rastlanmamıştır. Bu düşüşün muamele sıcaklığı ve muamele zamanına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Yıldız (2002), Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ve Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) odunlarını ısıtma işlemine tabi tutmuş ve bunu neticesinde liflere paralel basınç direnci, statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen değişimi incelemiştir. Bu çalışmada tüm direnç değerlerinde sıcaklık ve sürenin artışına bağlı olarak azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Direnç değerlerindeki en büyük azalma 200 °C ve 10 saat sonunda elde edilmiş olup, kayında %63,87, ladinde ise %63,56 oranda eğilme direnci azalmıştır. Elastikiyet modülü ladinde 200 °C sıcaklık ve 6 saatlik süre sonunda %41,59 oranda azalma meydana getirmiştir. Basınç direncinin ise her iki ağaç türünde de 200 °C'de 6 saat ısıtma işlemi uygulanmış örneklerde %39'luk bir azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

Mayes ve Oksanen (2002), yaptıkları çalışmada odunda meydana gelen fiziksel değişim uygulanan ısıtma işlemi metoduna bağlı olduğunu söylemişlerdir. Hava ortamında, nitrojen ortamına göre daha fazla kararma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Sıcaklık etkisi ile odunun koyulaştığını ve koku kazandığını belirtmişlerdir. Odundaki renk değişimi işlem türüne ve özellikle uygulanan sıcaklık ve işlem süresine bağlı kalmaktadır. Elde edilen renk tonunun ultraviyole (güneş ışını) ışınlarına karşı stabil olmadığı ve nispeten kısa bir süre açık hava ile temastan sonra yüzeyleri muamele görmemiş odun gibi gri tonda renk aldığı gözlemlenmiştir.

Sundqvist vd. (2003), 160–200 °C sıcaklıkta huş (*Betula pendula* Roth.) odunlarının ısıtma işlemi boyunca asetik-formik asit ve benzil ester oluşumu gaz kromatografisiyle çalışmışlardır. Hidrotermal işlem süresince odunda kendiliğinden oluşan formik ve asetik asidin yüksek konsantrasyonda olduğu belirlenmiş ayrıca asit konsantrasyonunun hem ısıtma işlemi, hem de sıcaklık artışıyla yükseldiği ifade edilmiştir. 180 °C'de asetik asit ve formik asit oluşumunun maksimum seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan sıcaklıklarda 4 saat boyunca ısıtma işlemi kuru odun ağırlığına göre %1,1–7,2 kütle kaybı görülmüştür. Isıtma işlemi görmüş odun materyalinin mekanik özellikleri de araştırılmıştır. Yüksek konsantrasyonda asit bulunan deneylerde, kütle ve mekanik direnç kaybına rastlanılmıştır. Muamele edilmiş huş odununda direnç kayıplarının ciddi seviyelerde olmaması için muamele sıcaklıklarının 180–200 °C sıcaklıklar arasında ve kısa zaman periyotlarında olması gerektiği belirtilmiştir.

Bekhta ve Niemz (2003), kayın odununun mekanik özellikleri, renk değişimi ve boyutsal stabilizasyonu üzerine yüksek sıcaklığın etkisi araştırmış ve sonuçta mekanik özelliklerde azalmanın gerçekleştiğini, odun renginin koyulaştığını ve odunun boyutsal stabilizasyonunun arttığını belirtmişlerdir. Isıl işlem sıcaklığı 200 °C'ye yaklaştıkça renk değişiminde artış görüldüğü ve bu renkteki koyulaşmanın 4 saat muameleden sonra daha da yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca eğilme direncindeki düşüşün %5-40 arasında olduğu ve elastikiyet modülünde değerlerin %4-9 oranlarında olduğunu belirlemişlerdir.

Bekhta ve Niemz (2003), yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen ısıl işlemle ladin odununun mekanik özelliklerinde düşüş gerçekleştiğini, boyutsal stabilizasyonunun arttığını ve renginin koyulaştığını belirlemişlerdir. Isıl işlem sıcaklığı 200°C'ye yaklaştıkça renk değişiminin arttığı ve bu renkteki koyulaşmanın 4 saat muameleden sonra daha da yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta muamele edilmiş ladin odununun mekanik özelliklerinden eğilme direncindeki ortalama düşüşün %44-50 arasında olduğu, elastikiyet modülünde (MOE) düşüşün %4-9 oranlarında olduğu bildirilmiştir. Isıtma zamanı ve sıcaklığının renk değişimi üzerinde nispi nemden daha önemli olduğu bulunmuş ve renk değişimi, elastikiyet modülü ve eğilme direnci arasında güçlü bir bağ olduğu belirlenmiştir.

Unsal vd. (2003), ısıl işlemin okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) odununun renk, fiziksel ve mekanik özelliklerinin üzerine etkilerini incelemişlerdir. Isıl işlem uygulanmış okaliptüs örnekleri, şişme, sertlik, fırın kurusu ağırlık ve örneklerin renk değişimi açısından muamele edilmemiş örneklerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, ısıl işlem uygulanan odun örneklerinin renkleri koyulaşırken, ısıl işlem sıcaklığı ve şartları artırıldıkça örneklerde şişme, yoğunluk değerlerinde düşme ve sertlikte azalma görüldüğü belirlenmiştir.

Banoub ve Delmas (2003), basınç direnci üzerine ısıl işlemin farklı yönlerde çalışma etkisinin dikkate değer ölçülerde olduğunu düşünmektedirler. Basınç direnci radyal yönde azalma ve teğet yönde az miktarda artma gösterirken boyuna yönde açık bir biçimde artmaktadır. Liflere paralel basınç direncindeki artma ısıl işlem uygulaması sonucu bağlı su miktarındaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Isıl işlem uygulaması sonucu amorf selülozun bozunması veya kristalleşmesi sebebiyle yüksek derecede

düzenli kristalimsi selüloz miktarı artmaktadır. Lignin polimer ağının çapraz bağlanmasındaki artış da boyuna yöndeki basınç direncinin artmasının bir diğer sebebi olarak gösterilmiştir. Lignin mikrofibril ve/veya fibrillerinin rijidite çubuğu olarak hareket eder ve polimerin çapraz bağındaki artma liflere paralel basınç yüklemesi boyunca meydana gelen liflere dik hareketleri önler veya sınırlar. Bundan başka lignin orta lamelin ana bileşenidir ve lignin polimer ağının çapraz bağlanmasındaki artma orta lamelin direncini artırır ve buda hücre çeperinin direnç özelliklerini etkiler. Buradan lignin polimer ağının odun direnci üzerine etkisi olduğu yargısına varılabilir. Lignin polimer yapı içindeki düzenli yapının odun direnci üzerine yapıcı bir katkı sağladığını ifade etmişlerdir.

Mitsui vd. (2004), yaptıkları çalışmada odun fotoğraflarında lazer ışınlarıyla renklendirme metodu kullanarak, negatif filmlerin iletkenlik etkisini araştırmışlardır. Bu olayın Δb^* deki düşüşten dolayı olduğu düşünülmektedir. Lazer ışınması uygulanmış odunun rengi ısı ileme önemli ölçüde değişmiştir fakat ortalama %20'yi aşan geçirgenlikli filmlerle kaplanan ısı ileme görmüş odunun rengindeki değişim sabit kalmıştır. Elde edilen net fotoğraflar iletken negatif film kullanılan odun üzerinde yaklaşık %20'den sonra elde edilmiştir. Üstelik ısı ilemeden sonra ΔE^* 'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki farklılıklar yaklaşık olarak %22 civarında bulunmuştur.

Johansson (2005), ısı ileme uygulaması süresince, odunda meydana gelen oksidatif ve hidrolitik renk değişim reaksiyonlarının sonucunda ahşabın renginin koyulaştığını belirtmektedir. Bu renk değişimi özellikle yapraklı ağaçlarda olumlu bir etki olarak görülmektedir. Renk işleme, ısı ileme uygulanan yapraklı ağaçlara ısı ileme uygulanmamış olanlara göre daha çok tercih edilmektedir.

Nuopponen (2005), kahverenginin ısı ileme uygulanan kerestelerin kullanımını sınırladığını veya desteklediğini belirtmektedir. Isı ileme uygulaması sonucu tipik odun dokusu hala görülebilir veya hatta belirgin hale gelebilmektedir. Literatürde ısı ileme uygulaması süresince odundaki renk değişimlerinin kimyasal sebepleri tam olarak tanımlanmamakla beraber, bu konuda yapılan çalışmalarda renk değişimlerinin ana sebepleri olarak hemiselüloz, lignin ve bazı ekstraktif maddelerin

bozunması gösterilmiştir. Isıl işlem uygulamasında sıcaklık ve süre uzadıkça ahşabın renk koyuluğunun arttığı bildirilmiştir.

Ünsal ve Ayrılmış (2005), okaliptüs odununda (*E. camaldulensis*) ısıl işlem uygulamışlar ve muamelenin basınç direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak basınç direncinin önemli oranda azaldığını, en düşük azalmanın 120 °C'de 2 saat sonunda %1,7, en fazla azalmanın ise 180 °C sıcaklık ve 10 saatlik süre sonunda %19 olarak meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Hill (2006), ısıl işlem süresince ağaç malzemedeki meydana gelen ağırlık kaybının istenmeyen özelliklerin başında geldiğini söylemiştir. Odunun ısıtılması sonucu meydana gelen ağırlık kaybı ve bu kayba bağlı olarak oluşan yoğunluktaki azalma kullanılan ağaç türü, muamele ortamı, muamele metodu, sıcaklık ve uygulanan süreye bağlı olarak değişmektedir. Düşük sıcaklık derecelerinde meydana gelen ağırlık kaybı az olmaktadır. Bunun nedeni olarak serbest su (hücre lümenlerinde bulunan su) ve uçucu bileşiklerin ağaç malzemedeki uzaklaşması gösterilebilir. Çalışmasında, makro moleküllerin kaybı 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda başlamakta olduğunu belirtmiştir.

Johansson ve Morén (2006), 175-200 °C sıcaklıklarda ve 1-3 saat süre ile huş odununa ısıl işlem uygulamışlar; renk ve denge rutubetinin direnç özellikleriyle bir ilgisi olmadığını, şok direncinin belirlenmesi için ise elde edilen değerler çok düşük olduğunu belirtmişlerdir. Eğilme direncindeki maksimum azalmanın 200 °C'de 3 saat süren ısıl muamele sonunda oluştuğunu ve bu değerler yaklaşık olarak %43 olduğunu, örneklerin renk homojenliği ölçüldüğünde ise ısıl işlem sonucunda elde edilen rengin örnek üzerinde homojen bir yapıda olmadığını belirlemişlerdir.

Yıldız vd. (2006), ladin odun örneklerini etüv içerisinde, hava ortamında ve atmosferik basınç altında 130, 150, 180, 200 °C sıcaklık ve 2, 6, 10 saat süre ile ısıl işleme tabi tutmuşlar ve basınç direncindeki değişimi incelemişlerdir. Sonuç olarak en az azalmanın 130 °C sıcaklık ve 2 saat sonunda (%2,3), en fazla azalmanın ise 200 °C sıcaklık ve 10 saatlik süre sonunda (%32,4) meydana geldiğini bulmuşlardır.

Güller ve Korkut (2006), yaptıkları bir çalışmalarında, ısıtma işlemi görmüş ağaç malzemenin eğilme direncinde uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak %10-30 arasında kayıptan söz etmektedirler.

Esteves vd. (2007), sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ve okaliptüs (*E. camaldulensis*) odun örneklerini, hava ortamında buharla birlikte otoklav içerisinde 2-12 saat ve 190-210 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıyla muamele etmişlerdir. Sonuçta odunun su alışverişinde önemli iyileşmeler meydana geldiğini, denge rutubet oranının, çamda %46, okaliptüste ise %61 oranlarında düştüğünü belirlemişlerdir. Boyutsal stabilizasyonda artış görülürken, yüzey ıslanabilirliğinde ise düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, mekaniksel özelliklerden elastikiyet modülünün çok az etkilendiğini, çamda %5, okaliptüste ise %15 oranında düşüş gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Eğilme direncinde ise ciddi düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Çam türü için kütle kaybının %8'den %40'a kadar, okaliptüs odunu için %9'lardan %50'lere kadar yükseldiği belirtilmiştir. Okaliptüsün ısıtma işlemine verdiği tepkinin, iğne yapraklılara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Aydemir (2007), atmosferik şartlar altında 3 farklı sıcaklık (170, 190 ve 210 °C) ve 3 farklı zamanda (4, 8 ve 12 saat) göknar (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmuelleriana* Mattf.) ve gürgen (*Carpinus betulus* L.) örneklerine ısıtma işlemi uygulamıştır. Çalışmasının sonunda, 210 °C'de 12 saat ısıtma işlemi uygulandığında basınç direncinin: gürgende %25,81, göknarda %24,46 oranında düştüğünü belirtmiştir. Brinell sertlik değerlerinde ise göknarda enine kesitte %41,13, radyal kesitte %44,76, teğet kesitte %38,92 gürgende ise enine kesitte %37,47, radyal kesitte %54,45, teğet kesitte %53,59 azaldığını ifade etmiştir.

Aydemir (2009), eğilme direncinde düşüşün, genelde 220 °C'den sonra başladığını ifade etmektedir. Araştırmaların sonucunda, ısıtma işlemi görmüş odunun, elastikiyet modülünün değişmesi üzerinde büyük değişiklikler olmadığını bildirmiştir. Genel olarak; odun örnekleri %45 ve %65 nispi nemde kondisyonlanmıştır. Odunda budak bulunması, ısıtma işlemi görmüş odunun direnç değerlerini düşürdüğü bildirilmiştir.

Gündüz vd. (2008a), karaçam (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) odununun bazı fiziksel (tam kuru yoğunluk, hava kurusu yoğunluk ve genişleme) ve

mekanik özellikler (basınç direnci ve janka sertlik değeri) ile yüzey pürüzlülüğü üzerine ısı işlemin etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda; ısı işleminde 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 ısı işlem sayesinde bu türün yeni kullanım alanlarında değerlendirilebileceği vurgulanmıştır.

Gündüz vd. (2008b), 3 farklı sıcaklık (170, 190 ve 210 °C) ve sürelerde (4, 8 ve 12 saat) ısı işlem uygulanmasından sonra göknar (*A. bornmuellerinana*) odununun özgül ağırlığındaki değişimi belirlemişlerdir. Ayrıca, ısı işlem örneklerinin denge rutubet miktarını %35, %50, %65, %80 ve %90 bağıl nem koşullarında ölçmüş ve kontrol örnekleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, sıcaklık arttıkça örneklerin ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir. 210 °C’de ısı işlem ile boyutsal stabilite artış gösterirken, denge rutubet miktarı azalmıştır. Ayrıca, yüksek sıcaklıkta 12 saatlik işlem sonucunda özgül ağırlığın belirgin şekilde azalma gösterdiği kaydedilmiştir.

Korkut vd. (2008a), akçaağaç (*Acer trautvetteri* Medw.) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısı işlemin etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarının sonunda, en fazla azalmanın radyal ve teğet sertlik değerleri ile liflere dik çekme direncinde (%54, %51, %46) 180 °C’de 10 saat ısı işlem uygulaması neticesinde elde edildiği ve stabilite gerektiren pencere doğramalarında kullanılacak ağaç malzemenin ısı işleme tabi tutulmasının faydalı olacağını ifade etmişlerdir.

Korkut vd. (2008b), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun bazı mekanik özellikleri (eğilmede elastikiyet modülü, janka sertlik, şok direnci, liflere dik çekme direnci, basınç direnci ve eğilme direnci) üzerine, ısı işlemin etkilerini incelemişlerdir. 2, 6 ve 10 saat süre ile 120, 150 ve 180 °C sıcaklıkta ısı işlem uygulanmıştır. Uygulama sonunda; en az direnç kaybının (eğilme direncinde %0,83) 120 °C’de 2 saat ısı işlem uygulaması ile en fazla direnç kaybının ise (liflere dik yönde çekme direncinde %46,22) 180 °C’de 10 saat ısı işlem uygulaması neticesinde gerçekleştiği tespit etmişlerdir. Uygulanan sıcaklık ve sürenin artışı ile direnç değerlerinin düştüğü görülmüştür.

Korkut (2008), Uludağ göknarının (*A. bornmuellerinana*) bazı mekanik özellikleri (basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, janka sertlik ve çekme direnci) üzerine ısı işlemin etkisini araştırmıştır. Yapmış olduğu araştırma sonunda; ısı işlemin, odunun mekanik özelliklerini istatistiki olarak anlamlı bir şekilde düşürdüğü belirlemiştir.

Korkut vd. (2008c), Türk fıncığı (*Corylus colurna* L.) odununun ve Korkut vd. (2009), gürgen yapraklı kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) odununun yüzey pürüzlülüğü ve fiziksel özelliklerine ısı işlemin etkisini araştırmışlardır. Örneklerin yüzey karakteristiklerine ısı işlemin etkisini belirlemede dört temel yüzey parametresi kullanılmıştır. Bunlar; profilin ortalama sapması (Ra), ortalama yükseklik (Rz), pürüzlülük ortalamasının karekökü (Rq) ve maksimum pürüzlülüktür (Ry). Her iki çalışmada sonuçlar ısı işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça fırın kurusu yoğunluk, hava kurusu yoğunluk, şişme, liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, janka sertlik (liflere paralel, dik ve enine yönde), şok direnci, liflere dik gerilme direnci ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını göstermiştir.

Korkut ve Bektaş (2008), Uludağ göknarı (*A. bornmuellerinana*) ve sarıçam (*P. sylvestris*), Korkut ve Güller (2008), akçaağaç (*A. trautvetteri*) odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine ısı işlemin etkisini araştırmışlardır. Isıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak fiziksel özelliklerden genişlemenin azaldığını ve bu sonucun boyutsal kararlılık için önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

Akyıldız ve Ateş (2008), sapsız meşe (*Quercus petraea* Lieb.), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.), kızılçam (*Pinus brutia* Tenore) ve karaçam (*P. nigra*) odunlarının DRM 'ye ısı işlemin etkisini atmosferik basınç altında ve hava ağırlığında 3 farklı sıcaklık (130, 180, 230 °C) ve 2 farklı zamanda (2 ve 8 saat) ısı işlem uygulayarak araştırmışlardır. Sonuç olarak, 230 °C'de hem 2 saat hemde 8 saat ısı işlemde DRM'nin düşük değerleri aldığını, diğer örneklerle karşılaştırıldığında 230 °C' de 2 saat ısı işlemde en düşük DRM değerin %7 ile sapsız meşe , en yüksek değerinde %14,2 ile 130 °C'de 8 saat ısı işlem görmüş kızılçam odununda olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlarda ısı işlem arttıkça DRM'nin azaldığı tespit etmişlerdir.

Korkut vd. (2008), çalışmalarında Okalıptüs (*E. camaldulensis*) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine ısıt işlemin etkisi incelemiştirlerdir. Örnekleri farklı süre ve sıcaklıklarda ısıt işleme tabi tutan araştırmacılar, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel ve dik çekme direnci, dinamik eğilme (şok) direnci ve yarıma direnci gibi faktörleri tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çalışma sonucunda; en düşük eğilme direnci 101,35 N/mm² olup %21,68'lik, eğilmede elastikiyet modülü 7647,398 N/mm² 'lik değeri ile %33,46'lık, liflere paralel çekme direnci 58,89 N/mm² ile %21,04, liflere dik çekme direnci 3,79 N/mm² ile %13,07, dinamik eğilme direnci 6,69 N/mm² ile %5,37 ve yarıma direnci 0,38 N/mm² ile %33,33'lük bir azalmaya maruz kaldığı, direnç değerlerindeki bu azalmanın sebepleri olarak ısıt işlem ile ahşapta meydana gelen ağırlık kayıpları ve hemiselülozun bozulmasının düşünölebileceği ve direnç değerlerindeki azalmanın önemsiz olduğu özellikle iyi islenme özellikleri ve stabilitenin önem arz ettiği kullanım alanlarında ısıt işlem tekniğinden yararlanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Karakaş (2008), ahlât (*Pyrus elaeagrifolia* Pall.) odununu 2 farklı sıcaklık (160, 180 °C) ve 3 farklı sürede (2, 4 ve 6 saat) ısıt işleme tabi tutarak, %50, %65 ve %85 bağıl nem ortamlarında rutubet içeriği, parlaklık, renk değışimi ve boyutsal kararlılığını belirlemiştir; mekanik özellikleri (eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci) ısıt işlem sonrası bulmuştur. Sonuçlarda fiziksel özelliklerde iyileşme görölrken, mekanik özelliklerde kayıp gözlemiştir. Altıncı saatte mekanik özelliklerdeki düşüşün, 2. ve 4. saattekine göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Boonstra (2008), yapmış olduğu ısıt işlem çalışmasında, basınç direncinde, radyal yönde azalma ve teğet yönde az miktarda artma gözlemlerken, boyuna yönde açık miktarda artmakta olduğunu söylemektedir. Liflere paralel artmanın, ısıt işlem uygulaması sonucuna bağılı su miktarındaki azalmadan kaynaklandığı bildirilmiştir. Liflere dik basınç direnci, liflere paralel basınç direncinden çok daha düşüktür. ısıt işlem uygulamasında sonra, lignin hemiselüloz matriksi içindeki değışmeler liflere dik yönde basınç direnci üzerine daha göze çarpan etkiye sahiptir. Lignin polimer ağıının artan çapraz bağlanması, basınç direnci üzerine pozitif etki göstermiştir. ısıt işlem uygulaması sonucu radyal yöndeki basınç direncindeki azalma ufak radyal çatlaklardan kaynaklanabilmektedir. Odunun elastiki özellikleri üzerine, ısıt işlem uygulamasının etkileri eğilme testi süresince elastikiyet modülündeki artmaya

rağmen oldukça sınırlıdır. Isıl işlem uygulanmış odun, ısıl işlem uygulanmamış oduna nazaran hücre çeperinde daha az bağlı suyun bulunması sonucu daha az higroskopik olması ve bu durumun odunu daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilemektedir.

Gündüz vd. (2008a), huş odununu 170, 190, 210 °C sıcaklık ve 4, 8, 12 saat süre ile ısıl işleme tabi tutmuşlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda basınç direncinde; 170 °C'de 4 saatte %6, 8 saatte %12, 12 saatte %16, 190 °C'de 4 saatte %12, 8 saatte %14, 12 saatte %19, 210 °C'de 4 saatte %8, 8 saatte %15, 12 saatte %25'lik bir azalmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Gündüz vd. (2008b), 170, 190 ve 210 °C sıcaklıklarda; 4, 8 ve 12 saat ısıl işlem görmüş adi gürgen odununun basınç direnci ve sertliğinin yoğunluk kaybıyla bağıntılı şekilde azaldığını bildirmişlerdir. Maksimum yoğunluk kaybını (%16,12) 210 °C'de 12 saat ısıl işlem sonucunda gözlemlemiştir. 210 °C'de 12 saat ısıl işleme basınç direnci yaklaşık olarak %30 azalmış, sertlik değerleri teğet yönde yaklaşık %55, radyal yönde yaklaşık %54 ve boyuna yönde yaklaşık %38 azalma olduğunu belirtmiştir.

Gündüz vd. (2009), ahlât (*P. elaeagrifolia*) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisini belirlemişlerdir. Sonuçlarında, 160 °C'de 2 saat ısıl işleme elastikiyet modülünün yaklaşık %5 arttığını, eğilme direncinin %7,42, basınç direncinin %7,55 azaldığını göstermişlerdir.

Korkut ve Hızıroğlu (2009), fındık odununu 120, 150, 180 °C sıcaklık ve 2, 6, 10 saat süre ile ısıl işleme tabi tutmuşlardır. Muamele sonrasında eğilme direncinde; 120 °C'de 2 saatte %0,55; 180°C'de 10 saatte %31,86'lık, eğilmede elastikiyet modülünde ise; 120 °C'de 2 saatte %10,28; 180 °C'de 10 saatte %27,67'lik bir azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Özçiftçi vd. (2009), sarıçam odununu (*P. sylvestris*) 4, 6 ve 8 saat süre ile 150, 170 ve 190 °C sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutmuşlardır. Test sonuçlarına göre ısıl işlem uygulamasının sarıçamın eğilmede elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerini düşürürken, basınç direnci değerini arttırdığı görülmüştür. En fazla etkilenen direncin

eğilme direnci olduğu, sarıçamın renginde koyulaşma olduğu, hacimsel şişmenin yaklaşık %50 azaldığı belirtilmiştir. Isıl işlemin sıcaklığı ve uygulama süresi arttıkça, tüm bu özelliklerdeki değişim miktarı da artmıştır.

Sefil (2010), Doğu kayını ve Uludağ göknarını çeşitli sıcaklıklarda (170, 180, 190, 205, 212 °C) 2 saat süreyle ThermoWood yöntemiyle ısıl işleme tabi tutmuş ve kontrol gruplarıyla karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlarda; ısıl işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte denge rutubet miktarı azaldığını, boyutsal stabilizasyon önemli oranda arttığını, odunların ısı yalıtkanlık değerlerinin yükseldiğini, toplam renkte homojen bir şekilde koyulaşmanın meydana geldiğini belirtmektedir. Mekanik özelliklerden eğilme direncinde ısıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak düşüş beirlenmiş, elastikiyet modülünde çok az ve liflere paralel basınç direncinde daha fazla bir artış gözlemlenmiştir.

Doruk ve Perçin (2010), sarıçam (*P. sylvestris*), doğu kayını (*F. orientalis*) ve kara kavak (*Populus nigra* L.) türleri ile yapmış oldukları bir çalışmada elde ettikleri örnekleri 130, 165 ve 200 °C'de 2, 6 ve 10 saat süre ile ısıl işleme maruz bırakıldıktan sonra örnekler üzerinde eğilme ve liflere paralel basınç direnci testlerini uygulamışlardır. Deneylerinin sonucunda, ısıl işlem süresine ve sıcaklık miktarının artmasına bağlı olarak ağaç malzemenin renginin koyulaştığını belirtmişlerdir. Basınç direncinde en yüksek değer kontrol kayın örneklerinde 70,94 (N/mm²) olarak elde edilirken, en küçük değer ise 200 °C'de 10 saat ısıl işlem uygulanmış kavak odununda 37,09 (N/mm²) olarak elde etmişlerdir. Eğilme direncinde de, en yüksek eğilme direnci değeri kontrol kayın odununda 105,7 (N/mm²) olarak bulurlarken en düşük eğilme direnci 10 saat süre ile ısıl işleme tabi tutulan kavak odununda 49,17 (N/mm²) olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak ısıl işlemin süresi ve sıcaklığı arttıkça eğilme ve basınç direnci değerlerinde kayıpların yaşandığı bildirilmektedir.

Baltacı (2010), yapmış olduğu çalışmasında sarıçam, Doğu kayını, Uludağ göknarı ve Kanada kavağı odunlarına ısıl işlem uygulanmasının odunların çivi ve vida tutma direnci üzerine etkisi araştırılarak, optimum uygulama şartlarının belirlenmesi amaçlamıştır. Bu amaçla, odun örneklerine üç farklı sıcaklık (120, 160, 200 °C) ve 2 farklı süre (2 ve 6 saat)'de azot gazı ortamında ısıl işlem uygulandıktan sonra denge

rutubetine getirilen örneklere standartlar çerçevesinde çivi ve vida uygulanarak, çivi ve vida tutma dirençleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol örneklerinin çivi ve vida tutma direnç değerleri ile karşılaştırılarak optimum ısı işlem uygulama şartları belirlenmiştir. Sonuç olarak, yapraklı türlerden Doğu kayını en yüksek çivi tutma direnci gösterirken; hem Kanada kavağı hem de iğne yapraklı türler daha düşük çivi tutma direnç değerleri göstermiştir. En düşük çivi tutma direnci değeri Uludağ göknarında elde edilmiştir. En yüksek çivi tutma direnci ısı işlem sıcaklığına göre 120 °C’de ve ısı işlem süresine göre 6 saatte elde edilmiştir. En düşük çivi tutma direncinin ise kontrol örneklerinde elde edildiği belirtilmiştir.

Ko1 (2010), yapmış olduğu çalışmada, Uludağ göknarı ve kızılçam odunlarına yer vermiştir. Çalışmada iki saat süre ile 190 ve 212 °C de ısı işlemine maruz kalmış örnekler kullanmıştır. Çalışma sonucunda her iki türde de eğilme direnci, elastikiyet modülünde azalma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte her iki türde de az miktarda da olsa basınç eğilmesinde artış görmüştür. Kızılçamda MOE ve MOR değerlerinde sırasıyla %13 ve %59 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Liflere paralel basınç direncinde ise %4,2’lik bir artış tespit etmiştir. Uludağ göknarında ise MOE ve MOR değerlerinde %9,5 ve %10,5 gibi bir azalma görülmüştür. Yine bu türün liflere paralel basınç direncinde %17’lik bir oranla azalma tespit etmiştir.

Karabulut (2010), bir çalışmada, FAO’nun alt organizasyonu olan, ülkemizin de üyesi olduğu IPPC (Uluslararası Bitki Koruma Konvansiyonu), ahşap malzemelerde bulunan zararlılar ile mücadeleyi dünya geneline yaymak ve gerekli tedbirleri almakla yükümlü olduğu ifade etmiştir. Bu kuruluş, uluslararası ticarete kullanılan ahşap malzemelerde bulunan zararlıların bir ülkeden diğer ülkeye taşınmasını ve yayılmasını önlemek amacıyla ISPM 15 (International Standards for Phytosanitary Measures 15) standardının uygulanmasını öngörmüştür. Bu standarda göre ahşap ambalaj materyallerinin (sandık, palet vb.) uygun şekilde ısı işleminden veya metil bromür ile fümigasyon işleminden geçirilmiş ve işaretlenmiş olması gerekmektedir. Türkiye’de, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı bu konuda bir yönetmelik hazırlamış ve resmi olarak uygulamaya koymuştur. Bu yönetmeliğe uygun olarak ülkemizde 482 işletme ISPM 15 standardına göre ısı işlem ve fümigasyon işlemi yapma yetkisine sahip olduğu bildirilmiştir.

Ghalehno ve Nazerian (2011), ısıtım işlemine tabi tuttukları huş odununun eğilme direnci ile elastikiyet modülünde meydana gelen azalmaları tespit etmişlerdir. Muamele de kullanılan sıcaklık dereceleri 130, 160, 190 °C, süre ise 3, 6 ve 9 saattir. Isıtım işlemi sonrası eğilme direncinde; 130 °C'de 3,6 ve 9 saat sürede sırasıyla yaklaşık olarak %2, %3 ve %5; 160 °C'de %7, %10 ve %13; 190 °C'de ise %16, %19 ve %22'lik, eğilmede elastikiyet modülünde ise; 130 °C'de 3 saatte %9; 6 saatte %14 9 saatte %19; 160 °C'de 3 saatte %22, 6 saatte %27, 9 saatte %33; 190 °C'de 3 saatte %38, 6 saatte %42, 9 saatte %50'lük bir azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Ghalehno ve Nazerian (2011), huş odununun 130, 160, 190 °C sıcaklık ve 3, 6, 9 saat süre ile termal olarak muamele etmişler ve muamele sonrasında ağaç malzeme de meydana gelen fiziksel ve mekaniksel değişimleri incelemişlerdir. Fiziksel ve mekaniksel özelliklerdeki en düşük azalmalar 130 °C'de 3 saat sonunda (fırın kurusu yoğunluk %0,79, hava kurusu yoğunluk %1,25, radyal yöndeki genişleme %4,83, teğet yöndeki genişleme %7,55, liflere paralel basın direncinde %0,89, eğilme direncinde %2,12, eğilmede elastikiyet modülünde %9,78) meydana gelirken, en yüksek azalmalar ise (fırın kurusu yoğunluk % 6.46, hava kurusu yoğunluk %7,78, radyal yöndeki genişleme %37,15, teğet yöndeki genişleme %40,58, liflere paralel basın direncinde %43,75, eğilme direncinde %22,25, eğilmede elastikiyet modülünde %50,10) 190 °C'de 9 saat sonunda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Kol ve Sefil (2011), göknar ve kayın odunlarına 170, 180, 190, 200 ve 212 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile ThermoWood metoduna göre ısıtım işlem uygulamışlar ve uygulama sonrası bu iki ağaç türünde meydana gelen kütle kaybını (%) incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarında, göknar odununda meydana gelen kütle kaybı sırasıyla %17; %1,8; %2,5; %2,8; %5,4 iken kayın odunundaki kütle kaybını ise sırasıyla %1,2; %2,6; %3,3; %3,9; %7,3 olarak bulmuşlardır.

Aydemir vd. (2011), yaptıkları çalışmalarda, şimdiye kadar çok fazla üzerinde durulmamış bir konu olan aynı cinsin farklı türlerinde ısıtım muamelesinin nasıl bir etki meydana getirdiğini araştırılmışlardır. Bunun için kavak odununun farklı türleri olan, Titrek kavak (*Populus tremula* L.) ve Ak kavak (*Populus alba* L.) odunlarının yüksek sıcaklıklarla muamelesi süresince eğilme ve elastikiyet modüllerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Bu işlem atmosferik şartlar altında 180

°C ve 4 farklı zamanda (2, 4, 6 ve 8 saat) kavak odunları üzerinde uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda Titrek kavak odunlarında Ak kavak odunlarına göre hem eğilme direnci hem de elastikiyet modülü bakımından daha hafif kayıplar meydana geldiği belirlenmiştir.

Çaliova (2011), yüksek lisans çalışmasında, ThermoWood yöntemiyle ısıtıl işlem uygulanan Doğu ladini ve Sakallı kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C. A. Mey.) Yalt.) odunlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu iki ağaç türü üç farklı sıcaklıkta (190 °C, 205 °C ve 212 °C) ve iki saat süreyle ThermoWood yöntemiyle ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. Isıtıl işleme tabi tutulan test örneklerinde fiziksel özelliklerden; hava kurusu yoğunluk, denge rutubet miktarı, boyutsal değişim, ısı iletkenliği ve renk değişimi değerleri, mekanik özelliklerden; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak; ısıtıl işlem uygulamasının fiziksel özellikler üzerindeki etkisinin genel olarak olumlu yönde olduğu gözlenmiştir. Isıtıl işlem sıcaklığının artmasıyla birlikte denge rutubet miktarı azalmış, boyutsal stabilizasyon önemli oranda artmış, odunların ısı yalıtkanlık değerleri artmış, renk homojen bir şekilde koyulaşmıştır. Mekanik özelliklerden, eğilme direncinde ısıtıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak düşüş gözlenmiş, elastikiyet modülünde önce çok az bir artış sonra azalma gözlenmiş ve liflere paralel basınç direnci artış gösterdiğini bildirmiştir.

Güller (2012), karaçam odununu 190, 200, 212, 225 °C sıcaklık ve 60,120 ve 180 dakika süre ısıtıl işleme tabi tutmuş ve işlem sonrası fiziksel özelliklerde (yoğunluk, boyutsal kararlılık ve renk) meydana gelen değişimi incelemiştir. Sonuç olarak; ağaç malzemenin yoğunluğunun artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak azaldığını (%2,57'den %12,6'ya), boyutsal kararlılığın %66 oranında iyileştğini ve yine artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak ağaç malzemenin renginin koyulaştığını sonucuna ulaşmıştır.

Kamperidou vd. (2012), sarıçam odununu laboratuvar koşullarında 200 °C sıcaklık ve 4, 6, 8 saat sürelerle ısıtıl işleme tabi tutmuşlar ve yüzey renginde ve higroskopik özelliklerde meydana gelen değişimi incelemişlerdir. Bu çalışmada belirtilen süreler için radyal genişleme yüzdelerinde meydana gelen değişim sırasıyla %19,56; %32,75 ve %34,65 olarak, teğet genişleme yüzdelerinde meydana gelen değişim yine

uygulanan sürelerle göre sırasıyla %10,26; %17,22 ve %19,60 olarak bulunmuştur. Ayrıca ısı işlem sonrası incelenen renk özelliklerinden L* değerinde süreye göre artan azalma bulunurken, a*, b* ve Δ^* değerlerinde artış belirlenmiştir. Bu bulgular artan ısı işlem süresi ile renkte koyulaşma meydana geldiğini ifade etmektedir. Ayrıca bu çalışmada ısı işlem sonrası reçine nedeniyle yüzeyde meydana gelen renklemelerin zımparalama ile uzaklaştırılabildiği belirtilmektedir.

Korkut (2012), sapelli (*Entandrophragma cylindricum* Harms), iroko (*C. excelsa*) ve limba (*Terminalia superba* Engl. & Diels) türleri ile yapmış olduğu çalışmada 160 ve 180 °C de ısı işlem uygulaması gerçekleştirmiştir. 180 °C de 4 saatlik ısı işlem sonucunda ağırlık kaybı tespiti sapelli (%1,556), limba (%1,374) ve iroko (%1,322) olarak gözlenmiştir. Basınç direncinde ise sıcaklık ve sürenin artmasıyla birlikte azalma tespit etmiştir. En yüksek azalmayı sapelli (%6,9), limba (%31,8) ve iroko (%12,5) olarak 180 °C de 4 saatlik uygulama sonucunda belirlemiştir. En yüksek renk farklılığı (ΔE) 2.171 sapellide, 1.457 limba ve 2.051 irokoda 180 °C 4 saatlik uygulamada belirlemiştir. Maksimum şişme değerleri sapelli, limba ve iroko örnekleri için 180 °C de 4 saatlik uygulamada gözlemiştir. Sırasıyla boyuna-radyal-teğet şişme değerleri sapelli için %47,5, %18,86 ve %15,89, limba için %46,09, %36,65, ve %18,75, iroko için ise %6,02, %12,38 ve %22,41 olarak ölçülmüştür.

Perçin ve Uzun (2013), ısı işlem uygulanmış bazı ağaç malzemelerde PVAc-D4 tutkalının yapışma direncini belirlemek için yapmış oldukları çalışmalarında, Doğu kayını (*F. orientalis*), sapsız meşe (*Q. petraea*), sarıçam (*P. sylvestris*) ve kara kavak (*Populus nigra*) odunlarını 150, 175 ve 200 °C'de 2 saat, toplam 38 saat süren ısı işleme tabi tutmuşlardır. Hazırlanan örneklerin yapışma dirençleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, ısı işleme tabi tutulan örneklerde kontrol örneklerine göre liflere paralel yapışma direnci genellikle düşerken, en yüksek 150 °C'de ısı işleme tabi tutulan sapsız meşede (15,97 N/mm²), en düşük 200°C'de ısı işleme tabi tutulan kara kavakta (4,10 N/mm²) elde edilmiştir. Buna göre ısı işlem uygulanmış ağaç malzemelerin, PVAc- D4 tutkalı ile yapıştırılmasında sapsız meşe odununun daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Perçin ve Ayan (2013), ısıtım işlem uygulanmış bazı ağaç malzemelerdeki vida tutma direncinin belirlemek için Doğu kayını (*F. orientalis*), sapsız meşe (*Q. petraea*), sarıçam (*P. sylvestris*) ve kara kavak (*P. nigra*) odunlarını kullanmışlardır. Örnekler, Thermowood yöntemine göre 150, 175 ve 200 °C'de 2 saat ısıtım işleme maruz bırakmışlardır. Ardından hava kurusu ve tam kuru yoğunluk değerleri ile teğet ve enine kesit yüzeylerinde vida tutma dirençleri belirlemişlerdir. Deneyle sonuçunda, teğet kesitte elde edilen vida çekme dirençleri enine kesitten daha yüksek tespit etmişlerdir. Teğet ve enine kesitte en yüksek vida çekme direnci, kontrol sapsız meşe örneklerinde (sırası ile 23,88 N/mm² ve 18,92 N/mm²), en düşük 200 °C'de ısıtım işleme tabi tutulan kara kavak örneklerinde (sırası ile 9,40 N/mm² ve 7,48 N/mm²) tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, mobilya konstrüksiyon tasarımında vida tutma performansı bakımından, ısıtım işlem uygulanmış yoğunluğu yüksek olan ağaç türleri ve teğet yüzeyler tercih edilebilir diyerek çalışmalarını yorumlamışlardır.

Rautkari vd. (2014), yüksek basınç reaktöründe ve doymuş buhar basıncı ile 120,150 ve 180 °C de ısıtım işlem uyguladıkları sarıçam öz ve diri odun kısımlarında diri odunda %60, öz odunda %52 ASE değerlerini bulmuşlardır. 150 °C de ısıtım işlem uyguladıkları örneklerde %2,3 kütle kaybı olmasına rağmen şaşırtıcı bir şekilde MOE ve MOR değerlerinde %14 ve %15 artış bulduklarını bildirmekteler. ısıtım işlem sıcaklığı 180 °C ye çıktığında ise MOE ve MOR değerinde diri odunda büyük bir farklılık oluşmazken, öz odunda %5,4 azalma belirlenmiştir. Diri odunda yapılan MOR karşılaştırmasında 180 °C ısıtım işlem uygulamasının, sarıçamda MOR değerlerinde yaklaşık %30'luk bir azalmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Tasdemir ve Hiziroglu (2014), *Pinus echinata* Mill. ve *Populus grandidentata* Michaux odunlarını 120 ve 200 °C sıcaklık ve 2, 8 saat süre ile ısıtım işleme tabi tutmuş ve ısıtım işlemin sertlik, yarıma direnci ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini incelemişlerdir. ısıtım işlemin her iki türde de kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında sertlik ve yarıma direncini (uygulanan sıcaklık arttıkça ve bekletme süresi uzadıkça) azalttığını tespit etmişlerdir. Buna karşılık yüzey pürüzlülüğünde ise ısıtım işlem sonrası azalmanın meydana geldiğini bildirmekteler.

Tomak vd. (2014), yaptıkları çalışmada Adi dişbudak (*Fraxinus excelsior* L), iroko, sarıçam ve Doğu ladini türlerinde ısıtım işlem muamelesinin renk, yüzey pürüzlülüğü,

liflere paralel basınç direnci, MOE ve MOR gibi fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü testi sonucunda Adi dişbudak, iroko, sarıçam ve Doğu ladin türlerinde sırasıyla %8, %30, %19 ve %15 oranında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Yine aynı sırayla bu türlerde MOR değerinde %18, %6, %17 ve %4 oranında sırasıyla azalma tespit etmişlerdir. MOE de ise Adi dişbudak, iroko ve Doğu ladininde %29, %8 ve %18'lik bir artış, sarıçamda ise %9'luk bir azalma meydana gelmiştir. Liflere paralel basınç direncinde ise Adi dişbudak, iroko, sarıçam ve Doğu ladininde sırayla %5, %8, %1 ve %76 oranında bir artış olduğunu belirlemişlerdir.

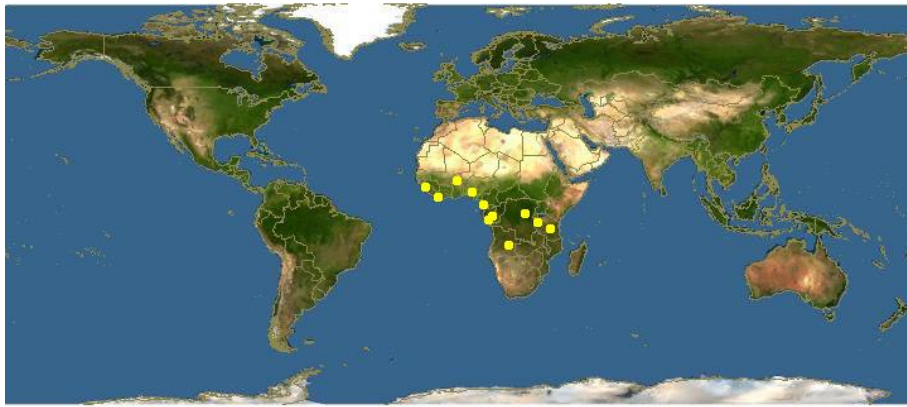
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, endüstriyel ısıtım işlem uygulamasıyla (ThermoWood) İroko (*C. excelsa*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. İroko (*Chlorophora excelsa*) hakkında genel bilgiler

İroko, Moraceae familyasına ait, kıymetli odunu olan bir orman ağacıdır. Moraceae familyası 73 cins ve 100 kadar türe sahiptir. Bu türlerin çoğu sıcak ve tropik bölgelerde yetişmektedir. Ülkemizde yetişmemekle birlikte, son yıllarda ticarete giderek artan bir öneme sahiptir. Afrika orijinli olan bu tür, Sierra Leone, Liberya, Fildişi Sahili, Gana, Togo, Benin, Nijerya, Kamerun, Zaire, Angola, Moambik, Tanzania ve Uganda gibi ülkelerde doğal yayılım göstermektedir (Şekil 3.1). Ana vatanı olarak Fildişi Sahili olarak bilinmektedir. Ticarete genellikle İroko, Odum, Kambala, Abang, Rokko, Tule, Bangui gibi ülkeden ülkeye değişen farklı isimler almaktadır. Odunu işlendikten sonra sarımsı bir açık renkte olup, oksijen ile temas geçtiğinde 1 ay içerisinde kahve ve çikolata rengi arası bir renge dönüşür ve bu renk tüm yüzeyde aynı ton olur (Bozkurt ve Erdin, 1998; Sokpon vd., 1998; Ouinsavi vd., 2005).



Şekil 3.1. İrokonun Dünya'daki yayılım alanı (discoverlife,2014)

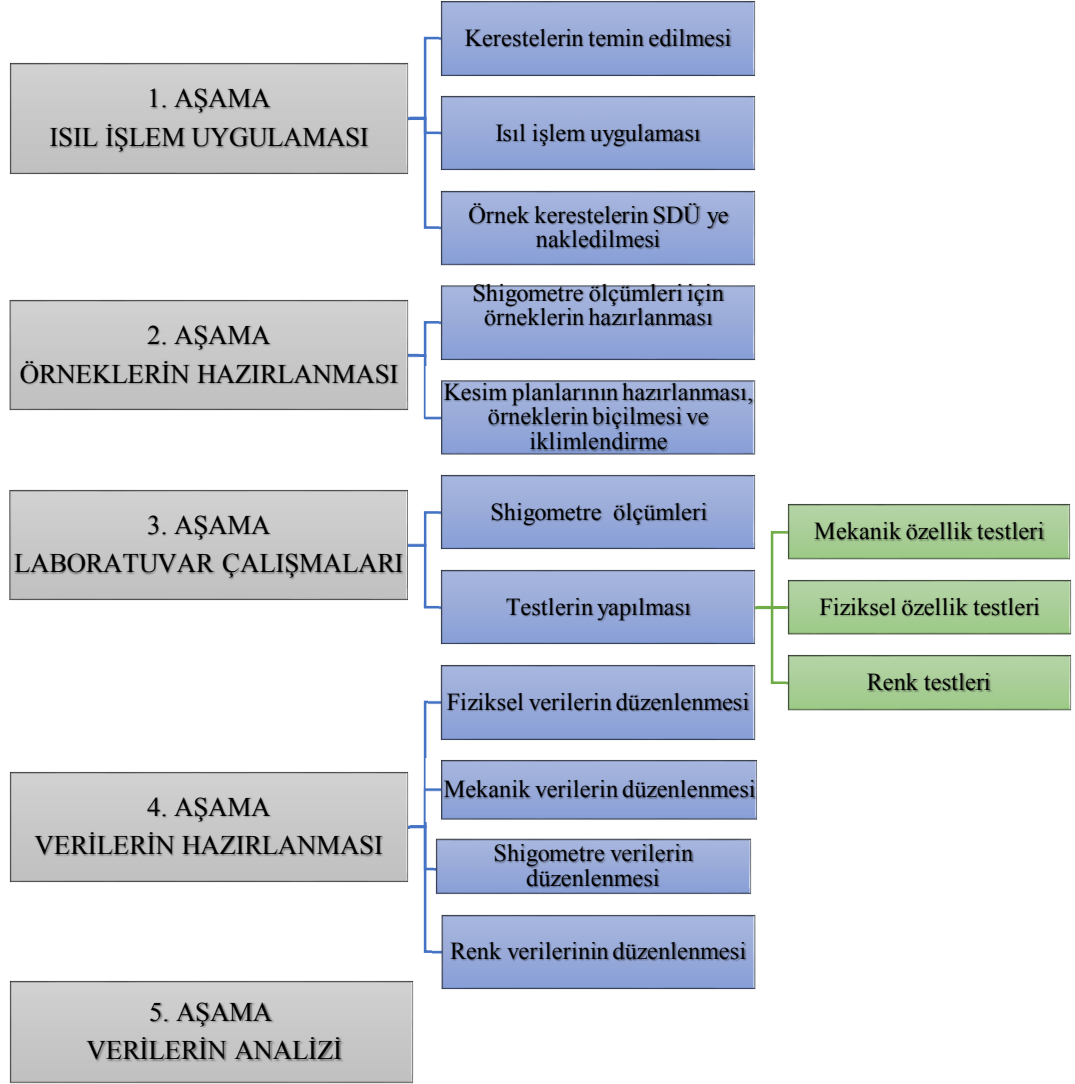
Ağaç boyu genellikle 40-50 metreye ye kadar çıkabilmektedir. Kullanılabilir gövde uzunluğu 20-28 metre arasında değişmektedir. İrokonun gövde çapı 0,6-2,0 metredir. Gövde şekli silindirik, 1 m. yüksekliğe kadar kökü çıkıntılı olabilmektedir (Öktem, 1990; Sokpon vd., 2004; Kokou vd., 2006). İroko ağacının gövde yapısı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. İroko ağacının gövde yapısı (Flickr, 2014)

3.2. Yöntem

İncelenen özellikler; yoğunluk, çalışma, renk, eğilme direnci, eğilmeye elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç direnci dir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenmiş ilgili standartlara, renk ölçümlerinde ise ISO standartlarına uyulmuştur. Çalışmanın ana aşamaları Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmanın ana aşamaları

Çalışmada kullanılan ısıl işlem prosesi patentli bir procestir. Örneklerin ısıl işleme tabi tutulduğu firma bu konuda sıkı kurallar uygulamaktadır. Bu nedenle uygulanan ısıl işlemin detayları burada verilememiştir. Sadece giriş kısmında bu proses hakkında genel bilgiler verilmiştir.

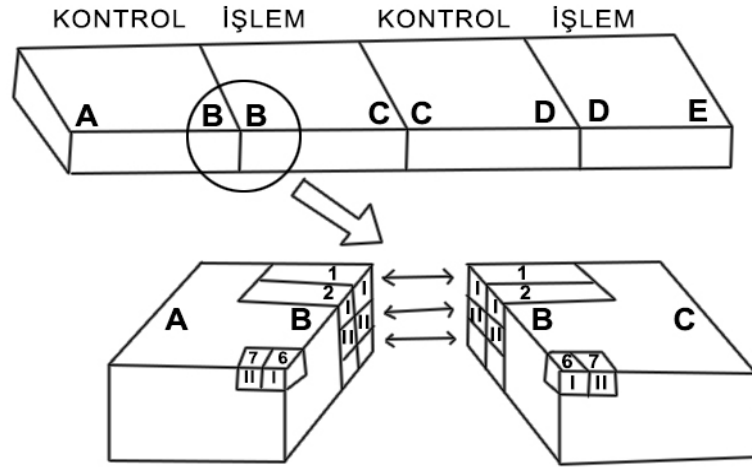
3.2.1. Örneklerin hazırlanması

Yapılan bu çalışmada kullanılan İroko türüne ait keresteler Bolu’da faaliyet gösteren NOVA Orman Ürünleri Tic. AŞ’den temin edilmiştir. Keresteler 190 °C’de 120 dakika süre ile (bu süre ve sıcaklık bu tür için fabrikada uygulanan sıcaklık ve süredir) “ThermoWood” prosesine göre NOVA Orman Ürünleri Tic. A.Ş.’nin Bolu Gereede’deki fabrikasında ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. İroko tropik bir türdür. Bu tür, ülkemizde son yıllarda artan ithalat hacmi ve genişleyen kullanım alanları ile dikkat çekmektedir. Ülkemizde son yıllarda kullanımının gittikçe artması ve bu türün endüstriyel ısıtılma işlem görmüş odununun özellikleri ile ilgili literatür bilgisinin oldukça kısıtlı olması sebebiyle çalışmanın önemli bir katkı sağlayacağı düşünüldüğü için, konu ve ağaç türüne karar verilmiştir.

Çalışmalarda kullanılan ağaç malzemeye ait deney numuneleri (Şekil 3.4, 3.5), kesim planı yapıldıktan sonra kesilmiştir.



Şekil 3.4. Kesim planı uygulanacak iroko keresteleri



Şekil 3.5. Deneyselerde kullanılan numunelerin elde edildiği kerestelerin kesim planı

3.3. Deneysel Çalışmalar

3.3.1. Tam kuru yoğunluk tayini

Tam kuru yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örneklerin yoğunlukları TS 2472'deki esaslara uyularak belirlenmiştir (TS 2472, 1976). Bu standarda göre deney örnekleri ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar 103±2 °C'de bir etüv içerisinde kurutulmuştur. Daha sonra 0.001 gr duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları 0.01 mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra tam kuru yoğunluk değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$D_0 = \frac{M_0}{V_0} \text{ gr/cm}^3 \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

D_0 = Tam kuru yoğunluk (gr/cm^3)

M_0 = Tam kuru kütle (gr)

V_0 = Tam kuru hacim (cm^3), değerlerini ifade etmektedir.

3.3.2. Hava kuruşu yoğunluk tayini

Hava kuruşu yoğunluğun belirlenmesi için 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örneklerin yoğunlukları TS 2472 esaslarına uyularak belirlenmiştir (TS 2472, 1976). Buna göre; deney örnekleri 20±2 °C sıcaklık ve %65±5 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme kabininde bekletilerek değişmez ağırlığa ve boyutsal kararlılığa ulaşması sağlanmıştır. Daha sonra 0.001 gr duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları 0.01 mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kuruşu yoğunluk aşığıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$D_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \text{ gr/cm}^3 \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

D_{12} = Hava kuruşu haldeki yoğunluk (gr/cm³)

M_{12} = Hava kuruşu haldeki kütle (gr)

V_{12} = Hava kuruşu haldeki hacim (cm³), değerlerini ifade etmektedir.

%12 rutubetten farklı rutubete sahip olan örneklerin yoğunlukları aşığıdaki, 3.3. nolu formülden yararlanılarak %12 rutubetteki yoğunluk değerlerine çevrilmiştir.

$$D_{12} = D_r \times \left[1 - \frac{(1 - K)(M - 12)}{100} \right] \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

D_{12} = %12 rutubetteki yoğunluk (gr/cm³)

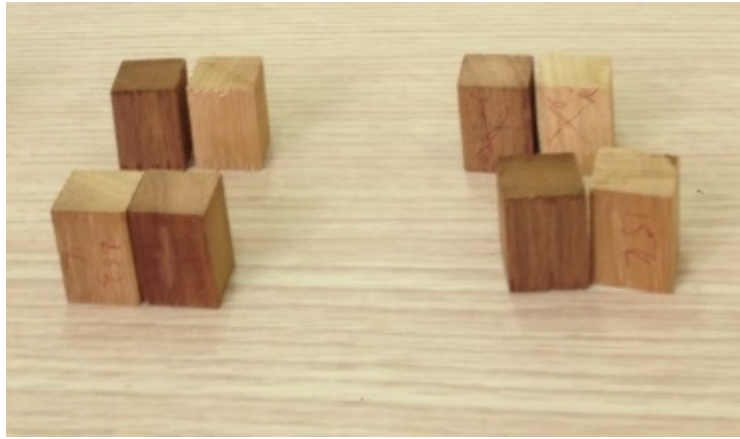
D_r = Örneğin sahip olduğu rutubetteki yoğunluğu (gr/cm³)

K = %1 rutubet değişmesi için hacmin çekme (hacimsel değişim) katsayısı

M = Örneğin rutubet miktarı, değerlerini ifade etmektedir.

3.3.3. Boyutsal değişim

Isıl işlem görmüş İroko genel olarak iç ve dış mekanlarda farklı amaçlar (dış cephe kaplaması, bahçe mobilyaları, kapı, pencere, dış mekan yer döşemeleri, çocuk parkı donatı elemanları, kaplama levha, mobilya yapımında, parke yapımında, vb.) için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada ısıl işlem görmüş kerestelerin rutubet etkisindeki davranışının belirlenmesi ve ısıl işlemin bu koşullarda etkinliği (Anti Swelling Efficiency: ASE) araştırılmıştır. Boyutsal değişim miktarının belirlenmesi için; TS 4084, 1983'e göre hazırlanmış 20x20x30 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Boyutsal değişimi hesaplamak için kullanılan kontrol ve işlem örnekleri

Genişleme miktarının belirlenmesi için hazırlanan deney örnekleri $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, 1°C hassasiyetteki etüvde ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra karşılıklı iki kesitinde işaretlenen noktalar arasındaki uzunlukları, ± 0.01 mm duyarlıklı kumpasla ölçülmüştür. Aynı örnekler normal atmosfer şartlarında 2 hafta bekletildikten sonra, 20°C sıcaklıktaki destile su içerisinde boyutları değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiş (Dubey, 2010) ve ilk ölçüm yerlerinden tekrar ölçüm yapılarak genişleme yüzdeleri (α) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\alpha = \frac{R\ddot{o} - K\ddot{o}}{K\ddot{o}} \times 100 \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

α = Genişleme miktarı (%)

R \ddot{o} = Rutubetli ölçü (mm)

K \ddot{o} = Tam kuru ölçü (mm), değerlerini ifade etmektedir.

Hacimsel genişleme yüzdesi Bozkurt ve Göker (1987)'ye göre aşağıdaki formül (3.5) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\alpha = (1 + \alpha t) \times (1 + \alpha r) \times (1 + \alpha l) - 1 \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte;

α = Genişleme miktarı (t: teğet; r: radyal; l: boyuna)

(hesaplama da genişleme değerleri formülde "0,.. " olarak yazılıp elde olunan değer 100 ile çarpılır)

Isıl işlemin boyutsal kararlılığa etkisini (ant swelling efficiency (ASE)) belirlemek için aşağıdaki formül (3.6) kullanılmıştır (Rowell ve Youngs, 1981).

$$ASE (\%) = \frac{S2 - S1}{S1} \times 100 \quad (3.6)$$

S2: İşlem görmüş malzemedeki hacimsel genişleme miktarı

S1: İşlem görmemiş malzemedeki hacimsel genişleme miktarı

3.3.4. Liflere paralel basınç direnci tayini

Liflere paralel basınç direnci denemeleri TS 2595, 1977'ye göre yürütülmüştür. 20x20x30 mm boyutlarında kusursuz örnekler hazırlanmıştır. Örnekler iklimlendirme dolabında 20±2 °C sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nem şartlarında bekletilerek rutubetlerinin yaklaşık olarak %12 olması sağlanmıştır. İklimlendirme işleminden sonra, örneklerin enine kesit boyutları uzunluk ekseninin ortasından ±

0.01 mm duyarlıdaki dijital kumpasla ölçülmüştür. Deney yapılıncaya kadar örneklerin rutubet alıp vermesini önlemek amacıyla deney örnekleri şeffaf naylon streç folyo ile sarılmış ve etiketlenmiştir.

Liflere paralel yönde basınç direnci deneyi, Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü Mekanik Test Laboratuvarında bulunan 5 ton kapasiteli “Üniversal Test Cihazı” kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.7). Deney hızı, örnekler makinede 1,5-2 dakikada kırılacak şekilde ayarlanmış olup kırılma anındaki kuvvet (F max) ölçülmüştür. Liflere paralel basınç direnci aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_{\beta ll} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte;

$\sigma_{\beta ll}$ = Liflere paralel basınç direncini (N/mm²)

F max: Kırılma anındaki kuvvet (N)

A: Örnek enine kesit alanı (mm²), değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3. 7. Liflere paralel yönde basınç direnci tayini

3.3.5. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini

Eğilme direnci deneylerinde TS 2474'deki esaslara uyulmuştur (TS 2474, 1976). Eğilme direnci denemeleri için 20x20x350 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Deneyler yapılmadan önce örnekler hava kurusu hale getirilip, 0.01 mm duyarlılığa sahip olan dijital bir kumpasla genişliği, kalınlığı ve uzunlukları hesaplanmıştır. Daha sonra üniversal test makinesinin yükleme mekanizmasının hızı, kırılmanın yükleme anından itibaren 1,5-2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Üniversal test makinesine, dayanak noktaları açıklığı 240 mm olacak şekilde yerleştirilen örneklere, yıllık halkalara teğet yönde ve dayanak açıklığının orta kısmından kırılma işlemi gerçekleşinceye kadar yük uygulanmıştır (Şekil 3.8). Eğilme direncinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_e = \frac{3xPxL}{2xbxh^2} \quad (3.8)$$

σ_e = Eğilme direnci (N/mm²)

P = Kırılma anında ölçülen maksimum kuvvet (N)

L = Dayanaklar arası açıklık (mm)

b = Örnek genişliği (mm)

h = Örnek yüksekliği (mm), değerlerini ifade etmektedir.

Elastikiyet modülü denemeleri için TS 2478 standardına uygun olarak hazırlanan 20x20x350 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır (Şekil 3.8). Örnekler hazırlanırken, yıllık halkaların kesit yüzeyine teğet olmasına dikkat edilmiştir. Denemelerde dayanak noktalarının açıklığı 240 mm olarak alınmış ve deney numunesinin liflere dik yönde ve tam ortadan uygulanmasına dikkat edilmiş ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$E = \frac{FxL_s^3}{4xbxh^3xf} \quad \text{N/mm}^2 \quad (3.9)$$

- E = Elastikiyet modülü (N/mm²)
F = Elastik bölgedeki kuvvet (N)
L_s = Dayanak açıklığı (24 cm)
f = Eğilme miktarı (cm)
b = Örnek genişliği (cm)
h = Örnek yüksekliği (cm), değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.8. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini

Mekanik özellikler belirlendikten sonra her bir deney örneğinin rutubet içeriği TS 2471'e göre tespit edilerek %12'den sapma olup olmadığı belirlenmiştir. Sapmanın söz konusu olması durumunda aşağıdaki eşitlik (3.10) kullanılarak direnç değerlerini dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiştir.

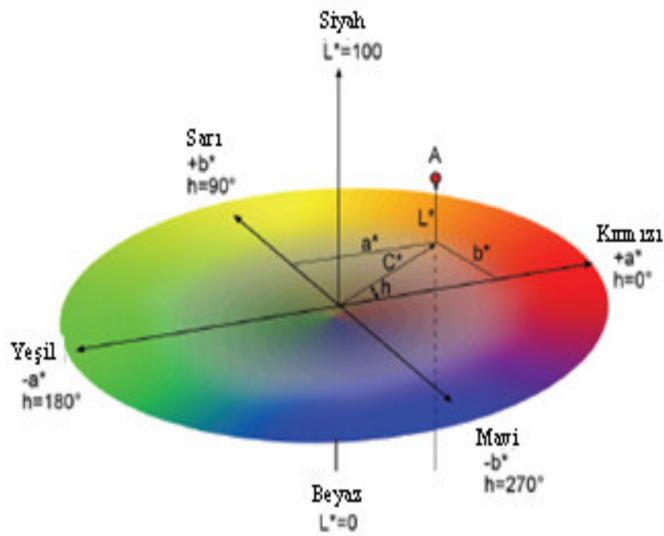
$$\delta_{12} = \delta_m x [1 + \alpha(M_2 - 12)] \quad (3.10)$$

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 ($\alpha = 0.02, 0.04, 0.05$ sırasıyla eğilmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, basınç direnci), M_2 = test anındaki rutubet içeriği (%).

3.3.6. Renk tayini

Ölçümler, PCE-TCR 200 modellenli renk ölçüm cihazı ile ISO 7724-2-3 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Cihazın sensör başlığı 6 mm çapında olup, ölçümlerde D65 illuminant (Doğala yakın ışık kaynağı) kullanılmıştır. Işık kaynağı standardize edilmiş bir geometri ile numuneyi aydınlatır. Yansıyan ışık seçili ışık kaynağında tüm spektrumda taranır. Sonuç yansıyan ışığın spektral eğrisidir. Bu spektral eğri aydınlatma ve gözlemciden bağımsızdır. Bu bilgi ölçüm yapılan rengin parmak izi gibidir ve hangi dalga boyunda ne kadar ışığın yansıtacağını belirtir. Bu spektral eğrinin renge ait rakamsal veri olarak görülebilmesi için matematiksel olarak standardize edilmiş ışık kaynağı ve herhangi bir standart observer (2° ve/veya 10°) çarpılması gerekmektedir. Bu çalışmada 10° standart observer (gözleme açısı) kullanılmıştır.

Renk ölçümleri ISO 7724–2 standardına uygun olarak yapılmıştır. Renk ölçümleri örneklerin teğet ve radyal yüzey için ayrı olarak ölçülmüştür. Renk ölçümleri beyaz renge göre $a=94,48$; $b=100,03$; $L=108,90$ olacak şekilde kalibre edilebilen renk ölçme aleti (Şekil 3.10) ile önce kontrol örnekleri sonrada muamele sırasına göre ısıl işlem uygulanmış örneklerdeki değişim incelenmiştir. Odunda renk değişimi L açısı ile ifade edilir. Bu açının daralması odunun renginin kırmızı renge yaklaştığını (a), genişlemesi ise sarı renge (b) yaklaştığını göstermektedir. (Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Üç boyutlu CIE L*a*b* renk bölgeleri (Johansson, 2005)

L* koordinatı ışık açısını, a* kırmızı ve b* sarı koordinatlarıdır. Şekil ayrıca C* ve h kutup bölgelerinde renklerin nasıl oluştuğunu göstermektedir. CIEL*a*b* renk sisteminde renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri L*, a*, b* renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada, L* siyah-beyaz (siyah için L*=0, beyaz için L*=100) ekseninde, a*kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır (Johansson, 2005).



Şekil 3.10. Keresteler üzerinde gerçekleştirilen renk ölçümleri

Toplam renk değişimi (ΔE^*_{ab}) aşağıdaki eşitlikle (3.11) hesaplanmıştır

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.11)$$

Formülde;

L* :aydınlık değeri,

a* kırmızı ve yeşilliği,

b* sarı ve maviliği belirtir

ΔL^* , Δa^* ve Δb^* : ısıtılma işlem öncesi ve sonrası arasında L*, a* ve b* değerlerinde oluşan fark.

3.3.7. Shigometre Ölçümleri

Shigometre, elektriksel direnci ölçen bir cihaz olup literatürde dikili ağaçlarda ve biçilmiş malzemede çürüklük, solgunluk vb. kusurların tespitinde kullanılmış olan bir cihazdır (Skutt vd., 1972; Shigo ve Shigo, 1974; Tattar, 1974; Tattar, 1976; Blanchard ve Shortle, 1977; Shigo vd., 1977; Shortle, 1979; Blanchard ve Carter, 1980; Shortle, 1982; Shigo ve Shortle; 1985). Shigometre ile ağacın sağlıklı veya çürük olduğunun tespiti, ölçüm sırasında kaydettiği elektrik akım değerlerine göre belirlenmektedir. Bu sayede ağacın sahip olduğu elektriksel direnci ve bu dirençteki değişimleri de ölçmektedir. Bunun için, elektrotlar ağaçta önceden açılmış deliğe yerleştirilmekte veya elektrot uçları çakılmakta ve odunda elektriksel dirençte (ER) görülen değişiklik, shigometrenin ekranından k ohm değerlerinde okunmaktadır (Skutt vd. 1972; Shigo ve Shigo, 1974; Shigo vd., 1977; Shigo ve Shortle; 1985). Ağaç malzemenin elektriksel direnci, sahip olduğu rutubete göre değişim göstermektedir. Ağaç malzemenin rutubeti LDN'nin altındana düştükçe elektriksel direnç artmaktadır (Shigo ve Shigo, 1974; Shigo ve Shortle; 1985). Şekil 3.11'de ölçümlerin yapıldığı Shigometre cihazı ve örneklerin sahip olduğu rutubet miktarının belirlenmesinde kullanılan rutubet ölçer gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan numunelerin ölçümlerinin yapıldığı shigometre ve rutubet ölçer

3.4. İstatistiksel Değerlendirme

3.4.1. Örnek sayısının hesaplanması

Her gruptan alınması gerekli olan örnek sayısı (örnek büyüklüğü) aşağıdaki formülden (Formül 3.11) hesaplanmıştır (Dilek, 1999; Özdamar, 1999; Akgül, 2005).

$$n \geq \frac{t^2 \cdot xs^2}{\delta^2} \quad (3.12)$$

Formülde;

n :Örnek büyüklüğü

t : Kabul edilen hata yüzdesine göre t tablo değeri

s²: Varyans

δ :Başlangıçta karşılaştırılan, örnekleme (temsil) hata yüzdesi

Her gruptan alınması gereken en az örnek sayısı belirlendikten sonra, gerekli olan gruplarda örnek sayısı artırılmıştır.

3.4.2. Normallik Denetimi

Verilerin normal dağılım gösteren toplumdan alınması istatistiksel sonuç çıkarmada önemlidir. Bunun için elde edilen veriler üzerinde istatistik analiz ve testler yapılmadan önce verilerin normallik denetimi yapılmıştır. Normallik denetiminde verilerin frekans dağılımlarının normal sayılıp sayılmayacağı yargılanmaktadır. Bunun için “frekans dağılımı normaldir, gözlenen ayrılık rasgele nedenlerden ileri gelmektedir, önemsizdir” şeklinde bir varsayım kurulur. Burada farkların sıfır olacağı varsayıldığı için, sıfır varsayımı (H₀, sıfır hipotezi, null hypothesis) deyimi kullanılmaktadır. Normallik denetimi sonunda sıfır varsayımı kabul ya da reddedilir (Özdamar, 1999; Akgül, 2005; Kalaycı vd., 2006).

Sıfır varsayımının reddedilmesi halinde “frekans dağılımı normal sayılamaz, birimler arasında görülen farklılaşma önemli ve anlamlı nedenler yüzündendir” yolundaki alternatif varsayım (H₁, karşıt hipotez, alternative hypothesis) kabul edilmektedir. Normallik denetiminde, grafik çizim, istatistik ölçülerin karşılaştırılması, istatistik

testler (Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilks, Lilliefors vb.) kullanılmaktadır (Akgül, 2005).

Çalışmada normallik denetimi yapılırken öncelikle verilerin frekans dağılımı ve aynı grafik üzerinde normal dağılım grafiği birlikte çizdirilmiş, verilerin normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmiştir. Aynı zamanda aritmetik ortalama, ortanca, tepe noktası, basıklık ve çarpıklık katsayısı değerlerine bakılmıştır. Aritmetik ortalama, ortanca ve tepe noktası değerlerinin yaklaşık eşit oluşu ya da çarpıklık katsayısının sıfıra, basıklık ölçüsünün üçe yakın bulunuşu hallerinde frekans dağılımı yaklaşık normal kabul edilmektedir (Akgül, 2005). Dağılımdaki her verinin gözlenen ve beklenen değerlerinin bir grafik üzerinde gösterildiği “normal ihtimal grafiği” de görsel bir fikir vermektedir. Örnekler normal dağılım gösteren bir toplumdan alındıysa grafikte veriler bir doğru etrafında toplanırlar (Özdamar, 1999; Akgül, 2005). İstatistik hipotez testlerinden Shapiro-Wilks ve Lilliefors testleri SPSS’te normallik denetimi yapıldığında otomatik olarak yapılan testlerdir. SPSS küçük örneklem için Lilliefors testini, örneklem sayısı 50’yi aştığında Shapiro-Wilks testini hesaplamaktadır. Çalışmada normallik denetimi yapılırken ayrıca “Tek Örneklem Kolmogorov-Smirnov Testi” de kullanılmıştır. Bilgisayarda istatistik paket programlarının kullanımı bu konuda büyük kolaylık sağlamaktadır (Efe vd., 2000; Sheskin, 2000; İstatistikanaliz, 2014).

Verilerin normal dağılım göstermediği durumlarda çeşitli dönüştürme (transformasyon) yöntemleri aracılığı ile verilerin normal dağılıma uygun hale getirilmesi sağlanır. Bu yöntemlere Box-Cox dönüştürme yöntemleri adı verilir (Akgül, 2005). Tezde elde edilen değerler içerisinde normal dağılım göstermeyen boyuna genişme ve boyuna daralma değerleri, normal dağılıma yaklaştırmak için aşağıdaki dönüştürme yöntemi uygulanmıştır;

Logaritmik dönüştürme; Değişim aralığı büyük olan verilerin normalleştirilmesinde kullanılmaktadır. X ölçü değerleri yerine bunların logaritmaları alınmaktadır ($\log(x)$ ya da $\ln(x)$). Logaritma dönüşümü pozitif ve birden büyük sayılar için uygulanabilir. Birden küçük sayılarda için kullanmak gerekirse negatif logaritmadan kurtulmak için $\log(x+a)$ veya $\log(x+1)$ dönüşümü yapılmaktadır (Sheskin, 2000; Akgül, 2005).

Veriler üzerinde dönüştürme (transformasyon) yapılması halinde uygulanacak istatistik analizlerin ve testlerin tümü dönüştürülmüş değerler üzerinden yürütülmeli, sonuçlar da dönüştürülmüş ölçeğe göre verilmelidir. Genellikle varyans ve standart sapma değerlerini geriye, orijinal ölçeğe dönüştürmek uygun bulunmamaktadır. Aritmetik ortalamanın geriye dönüştürülmesi halinde de belirli bir düzeltme yapmak gerekmektedir. Örneğin; Logaritma dönüşümünden elde edilen aritmetik ortalama, başlangıç ölçeğinin geometrik ortalaması olmakta ve ortanca değere eşit bulunmaktadır. İlk ölçeğe göre aritmetik ortalama belli bir düzeltme ile elde edilebilmektedir (Formül 3.13) (Akgül, 2005).

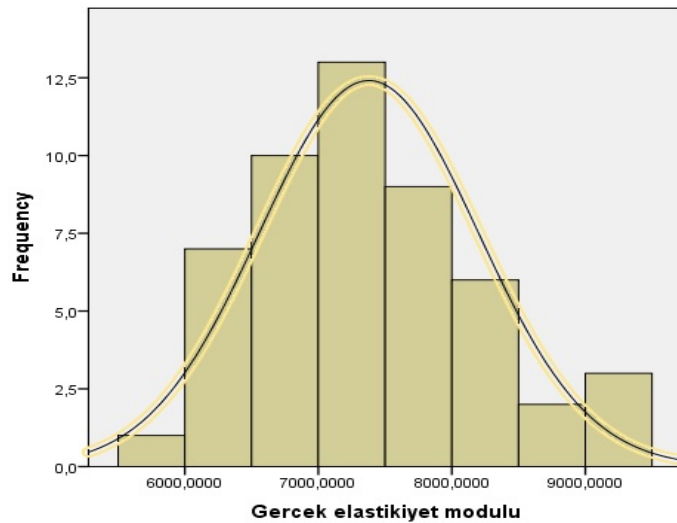
$$gd x = \text{antilog} [\log(x) + 1,151x \log (s^2)] \quad (3.13)$$

$dg x$: Geriye dönüştürülmüş aritmetik ortalama

s^2 : Formüldeki $\log (s^2)$ logaritma dönüşümü yapılmış değerler üzerinden hesaplanan varyansı ifade etmektedir.

$\log (x)$: Logaritma dönüşümü yapılmış değerler üzerinden hesaplanan aritmetik ortalamayı ifade etmektedir.

Çalışmada yapılan normallik denetimleri örneklerle aşağıda gösterilmiştir. SPSS’te normallik denetimi yapılırken önce frekans dağılımı histogram grafiği çizdirilmiştir. Örnek olarak Şekil 3.12’de elastikiyet modülü frekans grafiği verilmiştir.



Şekil 3.12. Elastikiyet modülünün belirlendiği örnek gruplarında normal dağılım grafiği

Histogram sadece belli bir aralığa düşen veri sayısını çubukla (bar) göstermektedir. Bu aralıktaki değerlerin ayrıntılarını bilmek mümkün değildir. Kök-yaprak grafiği ile ise hem değerlerin grafiksel görüntüsünü hem de ayrıntılarını görmek mümkündür. Şekil 3.13’da elastikiyet modülü kontrol grubuna ait kök-yaprak grafiği SPSS’te görüldüğü şekilde verilmiştir.

```
Gerçek elastikiyet modulu Stem-and-Leaf Plot for
islemkodu_A= 0

Frequency    Stem & Leaf

      1,00      5 . 8
      7,00      6 . 0333334
     10,00      6 . 5666778999
     13,00      7 . 0011112233334
      9,00      7 . 666777899
      6,00      8 . 111334
      2,00      8 . 56
      3,00      9 . 012

Stem width: 1000,000
Each leaf:   1 case(s)
```

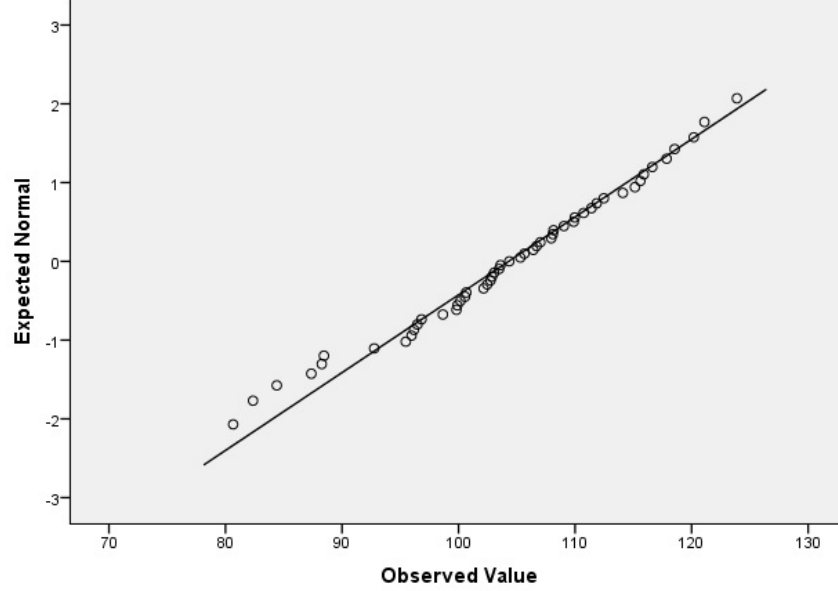
Şekil 3.13. Kök-Yaprak grafiği

Tanımlayıcı istatistik değerlerden toplum hakkında bilgi edinmek mümkündür. Örnek olarak tam kuru yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tam kuru yoğunluk değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

N (Örnek sayısı)	Valid	40
	Missing	0
Mean (Aritmetik ortalama)		0,654
Std. Error of Mean (Standart hata)		0,003
Median (Medyan)		0,650
Std. Deviation (Standart sapma)		0,021
Variance (Varyans)		0,000
Skewness (Çarpıklık)		0,496
Std. Error of Skewness		0,374
Kurtosis (Basıklık)		0,091
Std. Error of Kurtosis		0,733
Range (Değişim genişliği)		0,097
Minimum (En küçük değer)		0,611
Maximum (En büyük değer)		0,708

Eğilme direncinin kontrol grubuna ait eğilme direnci normal ihtimal grafiğinde (Şekil 3.14) görüldüğü gibi veriler bir doğru etrafında toplanmıştır. Bu verilerin normal dağılım gösterdiği hakkında fikir vermektedir.



Şekil 3.14. Normal ihtimal grafiği (Eğilme direnci kontrol grubu)

Yukarıdaki örnekte örnek sayıları büyük olduğu için normallik testlerinden Kolmogorov-Smirnov testi yapılmıştır. SPSS’te Kolmogorov-Smirnov testi, Analyze/ Non-Parametric Tests/ Sample K-S yolu takip edilerek de yapılabilmektedir. Test Variable List kısmına değişken yazılıp, Test Distribution kısmına “Normal” seçeneği işaretlenerek bu test yapılabilmektedir. Fakat öncelikle değişkene ait frekanslar ayrı bir sütuna girildikten sonra ağırlık olarak tanımlanmalıdır. Çıkan test sonuçları aşağıda gösterildiği gibidir (Çizelge 3.2).

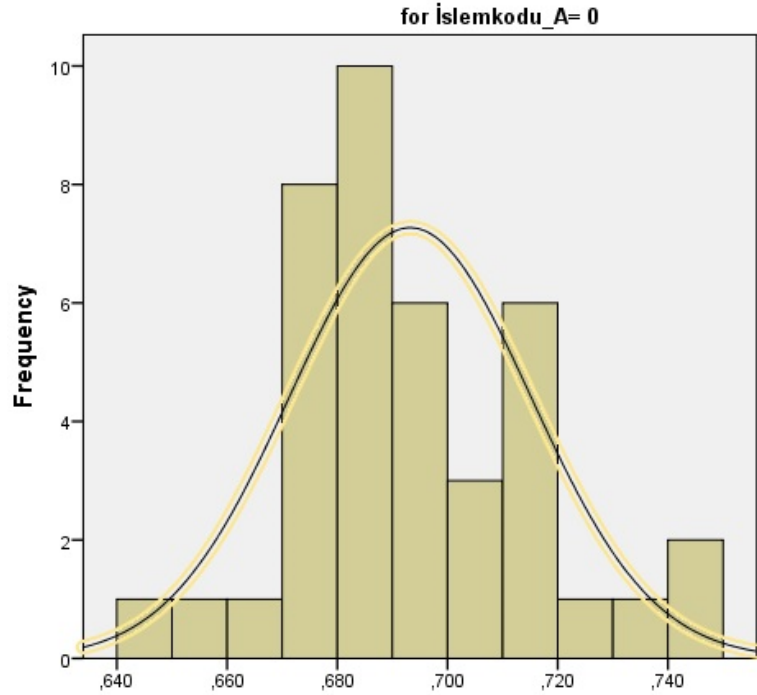
Çizelge 3.2. Eğilme direncine ait Kolmogorov-Smirnov testi

İslem kodu		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Mevcut Eğilme Direnci	K	0,074	51	0,200*	0,980	51	0,544
	TW	0,104	51	0,200*	0,968	51	0,188
R12 Eğilme	K	0,118	51	0,075	0,961	51	0,090
	TW	0,119	51	0,069	0,966	51	0,151

P > 0,05 , H₀ Kabul edilir (Dağılım “normal”dir). K: Kontrol; TW: ThermoWood.

Çalışmada bütün gruplarda verilen örnekte gösterildiği şekilde normallik denetimi yapılmıştır.

Normallik denetimi sonucunda bazı verilerin frekans dağılımlarının asimetrik olduğu ve normal dağılımdan farklılık gösterdiği bulunmuş, bu veriler üzerinde daha önce açıklandığı şekilde dönüştürme (transformasyon) işlemi yapılmıştır. Örnek olarak kontrol grubunda hava kuru rutubet verilerine ait frekans dağılımı (Şekil 3.15) ve Kolmogorov-Smirnov testi aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.3).



Şekil 3.15. Normal dağılım göstermeyen hava kuru rutubete ait grafik

Çizelge 3.3. Hava kuru yoğunluğa ait Kolmogorov-Smirnov Testi

İşlem kodu		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
DR yoğunluk	K	0,144	40	0,037	0,967	40	0,298
	TW	0,075	40	0,200*	0,981	40	0,716
D12 yoğunluk	K	0,165	40	0,008	0,964	40	0,234
	TW	0,120	40	0,150	0,973	40	0,449

P=0,037<0,05; H₀ Reddedilir (Dağılım normal değil). K: Kontrol; TW: ThermoWood.

Tez de tüm verilere örneklerle açıklandığı şekilde normallik denetimi yapılarak, gereken veriler üzerinde, verilerin niteliğine göre dönüştürme (transformasyon)

işlemi yapılmıştır. Bu işlemlerin sonrasında istatistiksel değerlendirmelere yer verilmiştir.

Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisinin değerlendirmesi amacıyla işlem ve kontrol gruplarının istatistiksel olarak karşılaştırılmasında SPSS 20.0 paket programı kullanılmıştır. Çalışmada ısıtma işlem grubunun kendi kontrol grubu ile karşılaştırılmasında ve sonuçların anlamlı olup olmadığını belirlemek için bağımsız örneklem t testi kullanılmıştır.

3.4.3. İki Ortalama Arasındaki Farkın Test Edilmesi (İki Toplumun Karşılaştırılması)

3.4.3.1. Bağımsız Örneklem T Testi (Independent Samples T Test)

Bağımsız örneklem T testi, ortalamadan önemli derecede farklı olup iki örneklem grubu arasında ortalamalar açısından fark olup olmadığını araştırmak amacıyla kullanılır. Grup varyanslarının homojenliğini test etmede Levene testi kullanılır. Levene testi: Gruplar iki ve daha fazla olduğunda işe koşular. Yani Bağımsız gruplardaki t test ve Anova testinde kullanılır. Grup adedinin tek olduğu bağımlı gruplardaki t testinde kullanılmaz. Levene testi sonucunda bulunan sig (p) değerine bakılır. Bu değer 0.05'ten büyük ise fark yoktur deriz. Gruplar arasında farklılık yoktur. Yani varyanslar eşittir (homojen) deriz. Bu durumda birinci satırdaki değerler (t değeri, p değeri) dikkate alınır. Varyansların eşitliği sağlanmazsa ikinci satırdaki değerler (t değeri, p değeri) dikkate alınır. (Kesici ve Kocabaş, 1999; Sheskin, 2000).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Fiziksel Özelliklere Ait Bulgular

4.1.1. Hava kurusu yoğunluk

Çizelge 4.1.'de iroko odununun hava kurusu yoğunluk değerine ait kontrol ve ısıtma işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir. Ayrıca söz konusu örneklerin sahip olduğu rutubet ve D_{12} 'ye ait değerler de aynı çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Hava kurusu yoğunluğa ait tanımlayıcı istatistikler

Uygulanan İşlem: ThermoWood		Örnek Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
DR Yoğunluk (gr/cm ³)	K (R=%14)	40	0,699	0,022	0,003
	TW (R=%9)	40	0,650	0,035	0,005
D_{12} Yoğunluk (gr/cm ³)	K	40	0,693	0,021	0,003
	TW	40	0,685	0,021	0,003

Isıl işlem görmüş örnekler, kendi kontrol gruplarıyla kıyaslandığında hava kurusu yoğunluk değerlerinde yaklaşık olarak %7 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Çizelge 4.1'de yer alan verilerde DR değerlerinin D_{12} yoğunluğuna dönüşümü işleminde rutubet etkisi de tespit edilebilmektedir.

Isıl işlemin hava kurusu yoğunluk üzerine etkisi, t-testi ile kontrol edilmiştir. Bunun için örneklere bağımsız örneklem t-testi uygulanarak kontrol ve işlem grupları arasındaki farklılık %95 güven aralığında denetlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Hava kuru su yoğunluğa ait bağımsız örneklem t testi sonuçları

Bağımsız Örneklem t-Testi						
Hava kuru su yoğunluk		Levene Testi		t-Testi		
		F	Sig.	T	Df	Sig. (2 tailed)
DR Yoğunluk	Varyansların eşit olduğu varsayımı	7,215	0,009	7,244	78	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			7,244	66,146	0,000
D ₁₂ Yoğunluk	Varyansların eşit olduğu varsayımı	0,056	0,814	1,534	78	0,129
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			1,534	77,995	0,129

Çizelge 4.2'deki bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre; DR yoğunluğunda kontrol grubu ve ısıtma işlem görmüş grubun yoğunluk değerleri arasında ($P=0.000<0.05$) istatistiksel olarak (%95 güven aralığında) farklılık bulunmuştur. D₁₂ yoğunluklarında ise değerler karşılaştırıldığında aralarında önemli derecede bir farklılık olmadığı istatistiksel anlamda ($P=0.129>0.05$) tespit edilmiştir. Ayrıca çizelgede yer alan rutubete ait istatistiksel olarak yer alan ($P=0.000<0.05$) değeri %95 güven düzeyinde grup içinde tutarlı ve varyans ortalamalarına göre farklılık olduğu görülmektedir.

4.1.2. Tam kuru yoğunluk

Kontrol ve ısıtma işlem uygulanmış örneklerle ait tam kuru yoğunluk değerleriyle ilgili tanımlayıcı istatistiksel değerler Çizelge 4.3'de verilmiştir. Tam kuru yoğunluk bağımsız örneklem t testi bulguları ise hava kuru su yoğunluk bulguları ile paralellik göstermektedir.

Çizelge 4.3. Tam kuru yoğunluğa ait tanımlayıcı istatistikler

Uygulanan İşlem:		Örnek Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata
D ₀ Yoğunluk (gr/cm ³)	K	40	0,654	0,021	0,003
	TW	40	0,624	0,037	0,005

Isıl işlemin tam kuru yoğunluk değerleri incelendiğinde; hava kurusu yoğunluk değerlerinde olduğu gibi bir azalma söz konusudur. Bu azalma %4,58 oranda olduğu görülmüştür.

Tam kuru yoğunluk ile ilgili elde edilen bu bulgular, önceki çalışmalarda farklı ağaçlar için yapılmış olan ısıl işlem denemeleri sonuçları ile paralellik göstermektedir. Isıl işlem sonrasında odunun tam kuru yoğunluğunda azalma meydana geldiği bilinmektedir. Örneğin; 180°C'de 2 saat süre ile farklı ağaç türlerinde yapılan çalışmalarda ısıl işlem sonrasında tam kuru yoğunlukta % 3,01-%27,86 arasında azalma tespit edilmiştir (Ünsal ve Ayrılmış, 2005; Korkut ve Güller, 2008; Korkut vd., 2008c; Gündüz vd., 2008a; Korkut vd., 2009). Ghalehno ve Nazerian (2011), huş odununu 190°C sıcaklıkta 3 saat süre ile ısıl işleme tabi tutmuşlardır. İşlem neticesinde tam kuru yoğunlukta %4,88'lik bir azalmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir. Kortelainen vd., (2005) çalışmalarında, ısıl işlem sıcaklıkları ne kadar yüksek olursa kütle kaybının o derecede yüksek olacağını ve bu kütle kaybının da yoğunluğu düşürecek bir etki yaptığını belirtmişlerdir.

Çeşitli yapraklı ağaç ve iğne yapraklı ağaç odunlarıyla yapılan çalışmalar sonucunda ulaşılan yargı yapraklı ağaç odunlarının kimyasal farklılıklarından dolayı iğne yapraklı ağaç odunlarından daha fazla ağırlık kaybına uğradıkları ve bununda yoğunluğu azaltıcı yönde etkilediği fikrine varılmıştır (Militz, 2002; Yıldız, 2002).

4.1.3. Boyutsal değişim

Bu çalışmada boyutsal değişim daralma ve genişleme açısından incelenmiştir. Elde edilen bulgular daralma ve genişleme oranları başlıkları altında verilmiştir.

4.1.3.1. Daralma oranları

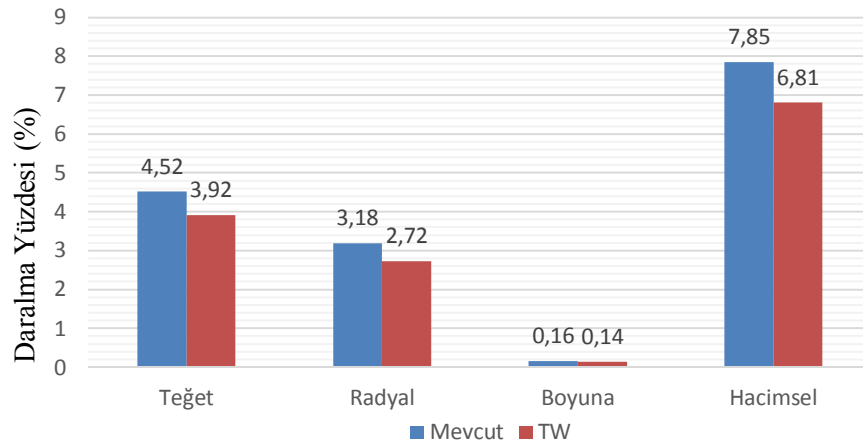
Çizelge 4.4'de kontrol ve ısıl işlem uygulanmış iroko odun örneklerinde daralma oranlarına ait istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 4.4. Daralma oranlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Uygulanan İşlem	Daralma Yönü	Örnek Sayısı	Ortalama(%)	Standart Sapma	Standart Hata
Kontrol	Teğet	52	4,525	0,737	0,102
	Radyal	52	3,183	0,607	0,084
	Boyuna*	52	0,166	0,068	0,009
	Hacimsel	52	7,853	1,241	0,172
TW	Teğet	52	3,923	0,502	0,069
	Radyal	52	2,724	0,283	0,039
	Boyuna*	52	0,144	0,063	0,008
	Hacimsel	52	6,815	0,632	0,087

*Logaritmik dönüştürme işlemi yapılmış ve aritmetik değerler dg x işlemi ile geri dönüştürülmüş değerlerdir.

Isıl işlem görmüş örnekler kendi kontrol grupları ile karşılaştırıldığında daralma yüzde değerlerinde azalma tespit edilmiştir. İşlem görmüş örneklerdeki daralma oranları kontrol örneklerinde meydana gelenlere göre teğet, radyal ve boyuna yönlerde sırasıyla %13, %14 ve %12,5 oranda azalmıştır. Hacmen daralmada ise ASE değerinin %13,2 olduğu tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulamasının daralma yüzdeleri üzerinde azalma meydana getirdiği belirlenmiş, kontrol ve işlem numunelerine ait daralma oranları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Isıl işlemin farklı yönlerde daralma miktarı üzerine etkisi

190 °C sıcaklık ve 2 saat süre ile ısıtılmış iroko örneklerinin daralma yüzdelere ait bağımsız t testi sonuçları ise Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Daralma miktarlarına ait bağımsız örneklem t testi sonuçları

Bağımsız Örneklem t-Testi						
Daralma		Levene Testi		t-Testi		
		F	Sig.	T	Df	Sig. (2 tailed)
Teğet Daralma	Varyansların eşit olduğu varsayımı	8,881	0,004	4,866	102	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			4,866	90,000	0,000
Radyal Daralma	Varyansların eşit olduğu varsayımı	17,530	0,000	4,936	102	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			4,936	72,163	0,000
Boyuna Daralma	Varyansların eşit olduğu varsayımı	0,059	0,808	-1,752	102	0,083
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			-1,752	101,375	0,083
Hacimsel Daralma	Varyansların eşit olduğu varsayımı	16,505	0,000	5,373	102	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			5,373	75,835	0,000

Isıtılmış örneklerin daralma yüzdeleri değerleri ile kendi kontrol grubuna ait örneklerinin daralma yüzdeleri değerleri arasında önemli derecede farklılık bulunmuştur. Fakat boyuna yönde daralma değerleri kendi kontrol grubuna ait daralma değerleri ile karşılaştırıldığında aralarında istatistiksel anlamda önemli derecede bir farklılık olmadığı ($P=0.083>0.05$) tespit edilmiştir. Çizelge 4.5’deki bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre; radyal yönde daralma için; $P=0.000<0.05$; teğet yönde daralma için; $P=0.000<0.05$ ve hacmen daralma için; $P=0.000<0.05$ elde edilmiş olup, kontrol ve ısıtılmış işlem görmüş grubun daralma yüzdeleri değerleri arasında (boyuna yönde daralma hariç) istatistiksel olarak (%95 güven düzeyinde) farklılık bulunmuştur.

4.1.3.2. Genişleme oranları

Çizelge 4.6’de iroko odununun genişleme oranlarına ait kontrol ve ısıtılmış işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

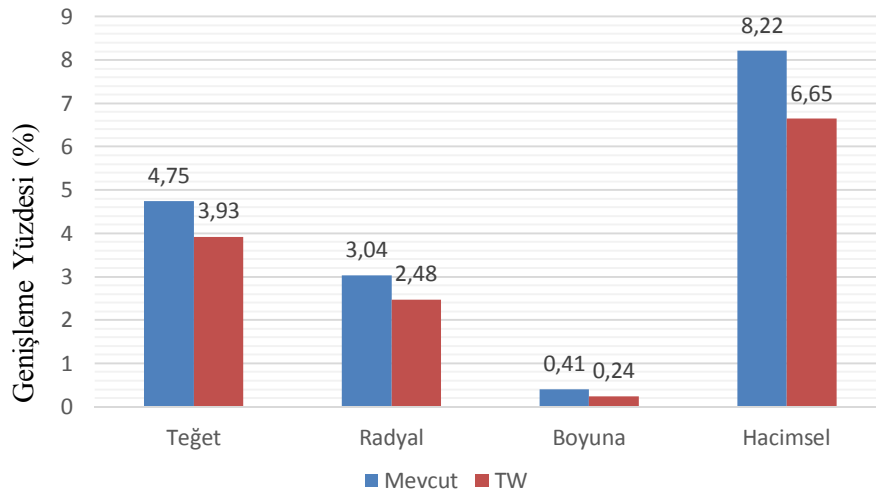
Çizelge 4.6. Genişleme oranlarına ait tanımlayıcı istatistikler

Uygulanan İşlem	Genişleme Yönü	Örnek Sayısı	Ortalama(%)	Standart Sapma	Standart Hata
Kontrol	Teğet	58	4,759	0,644	0,084
	Radyal	58	3,041	0,504	0,066
	Boyuna*	58	0,419	0,156	0,020
	Hacimsel	58	8,220	0,932	0,122
TW	Teğet	58	3,935	0,507	0,066
	Radyal	58	2,482	0,405	0,053
	Boyuna*	58	0,240	0,158	0,020
	Hacimsel	58	6,658	0,793	0,104

*Logaritmik dönüştürme işlemi yapılmış ve aritmetik değerler dg x işlemi ile geri dönüştürülmüş değerlerdir.

Isıl işlem görmüş örnekler kendi kontrol grupları ile karşılaştırıldığında genişleme yüzdeleri değerlerinde azalma tespit edilmiştir. İşlem görmüş örneklerdeki genişleme oranları kontrol örneklerinde meydana gelen genişleme oranlarına göre teğet, radyal ve boyuna yönlerde sırasıyla %18, %17 ve %42 azalmıştır. Hacmen genişlemede ise ASE değeri ise %19 olduğu ölçülmüştür.

Şekil 4.2' de kontrol ve işlem numunelerine ait genişleme oranları verilmiştir. Şekilde ısı işlem uygulamasının genişleme yüzdelerini azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.2. Isıl işlemin farklı yönlerde genişleme miktarı üzerine etkisi

Isıl işlemin genişleme üzerine etkisi, t-testi ile kontrol edilmiştir. Bunun için bağımsız örneklem t-testi ile kontrol ve işlem grupları arasındaki farklılık %95 güven düzeyinde denetlenmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Genişleme miktarlarına ait bağımsız örneklem t testi sonuçları

Bağımsız Örneklem t-Testi						
Genişleme		Levene Testi		t-Testi		
		F	Sig.	T	Df	Sig. (2 tailed)
Teğet Genişleme	Varyansların eşit olduğu varsayımı	6,270	0,014	7,647	114	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			7,647	108,044	0,000
Radyal Genişleme	Varyansların eşit olduğu varsayımı	3,389	0,068	6,581	114	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			6,581	108,912	0,000
Boyuna Genişleme	Varyansların eşit olduğu varsayımı	0,122	0,728	6,131	114	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			6,131	113,976	0,000
Hacimsel genişleme	Varyansların eşit olduğu varsayımı	1,913	0,169	9,718	114	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			9,718	111,150	0,000

Isıl işleme tabi tutulmuş örneklerin genişleme yüzdeleri değerleri ile kendi kontrol grubuna ait örneklerinin genişleme yüzdeleri değerleri arasında önemli derecede farklılık gözlemlenmiştir. (Radyal yönde genişleme için; $P=0.000<0.05$, teğet yönde genişleme için; $P=0.000<0.05$, boyuna yönde genişleme için; $P=0.000<0.05$ ve hacmen genişleme için; $P=0.000<0.05$). Çizelge 4.7'deki bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre; kontrol ve ısı işlem görmüş grubun genişleme yüzde değerleri arasında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde yer alan çalışmalar ile uyumluluk göstermektedir. Yapılan birçok çalışmada ısı işlem uygulamasında sıcaklık ve süredeki artış ile uygulanan yöntemle bağlı olarak boyutsal kararlılığın önemli oranda iyileştiği görülmektedir (Kim vd., 1998; Yıldız, 2002; Kamdem, 2002; Bekhta ve Niemz, 2003; Ünsal vd., 2003; Ünsal ve Ayrılmış, 2005; Yıldız vd., 2006; Esteves vd., 2007; Korkut ve Güller, 2008; Korkut, 2008; Korkut vd., 2008b; Gündüz vd.,

2008a; Gündüz vd., 2008b; Gündüz vd., 2009a; Gündüz vd., 2009b; Özçiftçi vd., 2009; Tuong ve Li, 2010; Kol ve Sefil, 2010; Ghalehno ve Nazerian, 2011; Kaymakcı ve Akyıldız, 2011; Li vd., 2011; Akyıldız ve Kaymakcı, 2011; Güller, 2012).

180 °C sıcaklık ve 2 saat süre ile farklı ağaç türlerinde yapılan çalışmalarda ısıl işlem neticesinde genişleme yüzdesinde radyal yönde %14.67-36.90, teğet yönde %12.56-48.70 ve boyuna yönde %16.37-%40.82 arasında azalmalar tespit edilmiştir (Korkut ve Güller, 2008; Korkut vd., 2008b; Gündüz vd., 2008; Korkut vd., 2009).

Ghalehno ve Nazerian (2011), huş odununu 190 °C sıcaklık ve 3 saat süre ile ısıl işleme tabi tutmuşlardır. İşlem neticesinde genişleme yüzdesinde radyal yönde %25.07, teğet yönde %34.48, boyuna yönde ise %14.12 oranında azalmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Korkut (2012), sapelli (*Entandrophragma cylindricum* Harms), İroko (*C. excelsa*) ve limba (*Terminalia superba* Engl. & Diels) türleri ile yapmış olduğu çalışmada 160 ve 180 °C de ısıl işlem uygulaması gerçekleştirmiştir. 180 °C de 4 saatlik ısıl işlem sonucunda ağırlık kaybı tespiti; sapelli, limba ve İroko için sırasıyla, %1,556, %1,374; %1,322 olarak gözlenmiştir. Maksimum şişme değerleri sapelli, limba ve İroko örnekleri için 180 °C de 4 saatlik uygulamada incelenmiş ve sapelli için %47,5; %18,86 ve %15.89, limba için %46,09; %36,65 ve %18,75, İroko için ise %6,02; %12,38 ve %22,41 sırasıyla boyuna-radyal-teğet olarak ölçülmüştür. Ayrıca, ASE değeri için 180 °C de 4 saatlik uygulamada %18 olarak bulunmuştur.

Hücre çeperi bileşenlerinde meydana gelen maddesel kayıplar odunda boyutsal değişime neden olmaktadır. Chang ve Keith (1978), ısıl işlem sonucu odunun hacimsel olarak daralmasının sıcaklık nedeniyle oluşan kütle kaybıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Odun karbonhidratlarındaki serbest hidroksil gruplarının mevcudiyeti su absorpsiyonu ve desorpsiyonunda önemli rol oynamaktadır (Boonstra ve Tjerdma, 2006). Teoride odun, hücre çeperi içerisindeki en higroskopik polimerlerin yer aldığı hemiselülozların termal olarak bozundurulup suyla reaksiyona girebilecek serbest polar adsorpsiyon grupları miktarının yani higroskopisitenin azaltılmasıyla stabilize edilmektedir (Pizzi vd., 1994).

Çeşitli araştırmaların sonuçlarından, ısıtma işlemi sonrası higroskopisitesinin azalması ve buna bağlı olarak boyutsal stabilizasyondaki artışın sebepleri olarak; karbonhidratların ve özellikle hemiselülozların depolimerizasyonu, hidroksil gruplarının toplam miktarında meydana gelen azalma gösterilmektedir (Burmester, 1975). Kristal selülozun nisbi oranının artışı (böylelikle bu bölgedeki hidroksil grupları su moleküllerine kolaylıkla erişemez), lignin ağının çapraz bağlanması (böylelikle serbest hidroksil gruplarının erişebilirliğini azaltır) söylenmektedir (Burmester, 1975; Pizzi vd., 1994).

4.1.4. Renk değişimi

İroko odununun teğet ve radyal yönlerdeki renk değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Isıtma işlemi ve kontrol grubunda renk değerleri

Kesit	İşlem	L*	a*	b*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Radyal	K	59,57	10,35	21,82				
	TW	47,84	14,19	19,13	11,72	-3,83	2,69	12,63
Teğet	K	57,79	10,57	21,16				
	TW	45,62	13,14	17,39	12,17	-2,56	3,77	12,99

Isıtma işlemi sonrası örneklerin renklerinde koyulaşma meydana geldiği görülmektedir. Renk ölçümleri sonrası elde edilen veriler incelendiği zaman, L* ve b* değerlerinin radyal ve teğet yönde de azaldığı, a* değerinin ise iki yönde de arttığı görülmektedir. ΔE^* değerinin ise teğet yönde radyal yöne göre çok az bir farkla azaldığı görülmüştür.

Elde edilen verilere paralellik gösteren ve literatürde yer alan çalışmalar mevcuttur (Unsal vd., 2003; Niemz, 2003; Johanson ve Mor’en, 2006; Bekhta ve Mitsui, 2006; Bächle vd., 2007; Özçifçi vd. 2009; Kaygın vd., 2009; Akyıldız vd., 2009). Unsal vd., (2003) ve Özçifçi vd. (2009) yaptıkları çalışmalarda; odununun ısıtma işlemi

sonunda renk değişiminin ısıı işlemle uygulaması ile birlikte yüksek sıcaklıklarda ve uzun muamele periyotlarında koyulaşma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir.

Mitsui (2006), ısıı işlem ve ışık etkisiyle ladin örneklerinin rengindeki değişimi belirlemiştir. Isıl işlem sonucunda L*, a* ve b* değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Isıl işlem uygulamasından sonra, ışık muamelesi sonucunda L* ve a* değerlerinde düşüş gözlenmesine rağmen b* değerleri ısıı işlem sonrasında ciddi bir düşüş göstermiştir. Bu durumda ısıı muamele görmüş odunun ışığa maruz bırakılması durumunda renk değişimi meydana geldiği bilinmektedir.

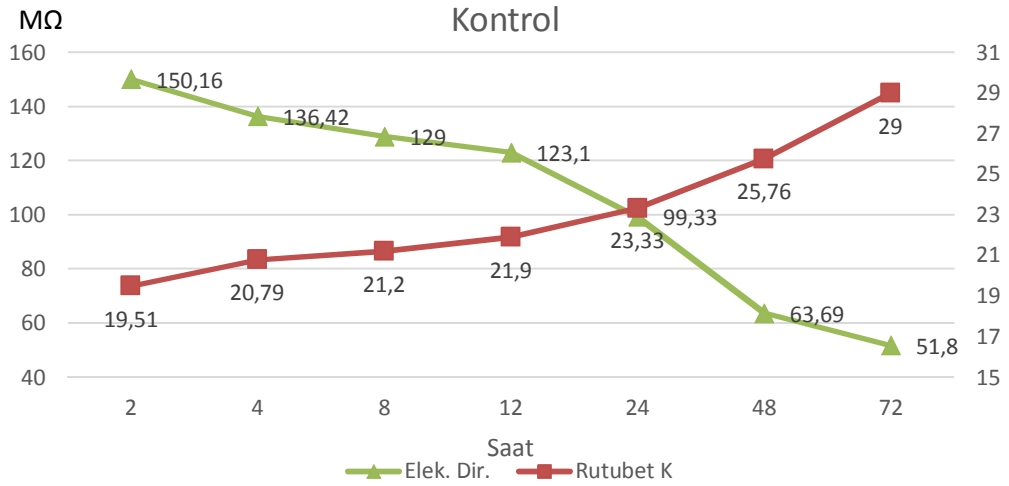
Korkut (2012), sapelli (*Entandrophragma cylindricum* Harms), İroko (*C. excelsa*) ve limba (*Terminalia superba* Engl. & Diels) türleri ile yapmış olduğu çalışmada 160 ve 180 °C de ısıı işlem uygulaması gerçekleştirmiştir. Renk farklılığı (ΔE) 180 °C ve 4 saatlik uygulamada; sapelli için 2,171, limba için 1,457 ve İroko için 2,051 olarak belirlemiştir. Burada, elde edilen değer ile çalışmada yer alan değer kıyaslanacak olursa, sıcaklığın artması ve uygulanan işlemin etüvde değil de tamamen ThermoWood yöntemi ile gerçekleştirilmiş olması ΔE^* değerinin artmasına neden olabileceği şekilde açıklanabilir.

Bununla birlikte literatürde herhangi bir üst yüzey işlemi yapılmadan kullanılan ısıı işlem görmüş malzemenin renginin dış hava koşullarında kalıcı olmadığı ve değişim gösterdiği bildirilmektedir (Kaygin vd., 2009).

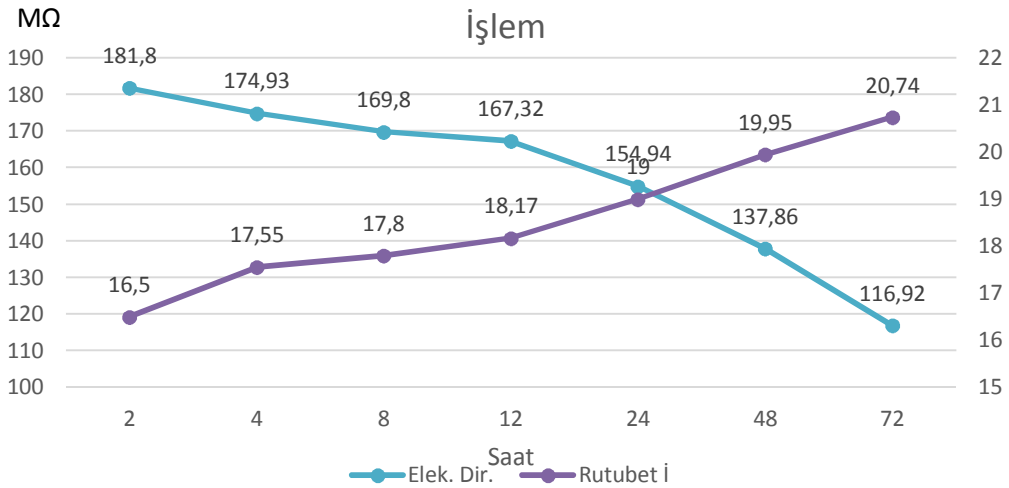
Chow ve Mukai (1972), ısıı işlem nedeniyle meydana gelen renk değişimiyle kristallik derecesi, polimerizasyon derecesi ve OH miktarı arasında ilişki olduğunu belirtmektedir. Hillis (1975), odunda ısıı işlem sonrası renk değişiminin hemiselülozun hidrolizinden kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca, oksidatif ve hidrolitik reaksiyonlar nem ortamında genellikle hidrolitik reaksiyonların baskın olduğu odunun ısıı muamelesi boyunca kromofor oluşumuna sebebiyet verdiği ve odunda renk değişiminin sebebinin de bu gruplar olduğu belirlenmiştir (Terziev vd., 1993).

4.1.5. Shigometre ölçümleri

Yapılan bu çalışmada kontrol ve işlem grupları rutubet almaları için suya bırakılmıştır. Örneklerin suya bırakıldığı süre itibariyle 2, 4, 8, 12, 24, 48 ve 72 saat aralıklarla rutubet ve elektriksel direnç ölçümleri yapılmıştır. Rutubet ve elektriksel direnç arasındaki ilişki Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Kontrol grubuna ait elektriksel direnç ile rutubet ilişkisi



Şekil 4.4. İşlem grubuna ait elektriksel direnç ile rutubet ilişkisi

Elde edilen veriler incelendiğinde, kontrol grubunun 2, 4, 8, 12, 24, 48 ve 72 saatte sırasıyla elektriksel direnç değerleri yaklaşık olarak 150, 136, 129, 123, 99, 63, 52 MΩ olarak belirlenmiştir. Rutubet değerleri ise sırasıyla %19,51; %20,79; %21,2; %21,9; %23,33; %25,76 ve %29 olarak tespit edilmiştir. İşlem grubunda ise, aynı sürelerde elektriksel direnç değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 182, 175, 170, 167,

155, 137, 116 M Ω olarak ölçülmüştür. İşlem grubunun rutubet değerleri ise %16,5; %17,55; %17,8; %18,17; %19; %19,95 ve %20,74 olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca, elektriksel direncin rutubet ile ters orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Her iki grupta da rutubetin artması ile direnç değerleri azalmaktadır. Fakat bu durum, iki grup arasında farklılık göstermektedir. Aynı süre ile suya maruz bırakılan kontrol grubunun rutubet oranının, işlem grubuna oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Kontrol grubunda %53'lük bir artış söz konusu iken işlem grubunda ise %25'lik bir artış söz konusudur. Bu durumda, dış ortam koşullarında ısı ile muamele edilmiş ağaç malzemenin, ısı ile muamele edilmemiş malzemeye göre daha az rutubet alma özelliğine sahip olduğu görülmektedir.

Elektriksel direnç ise iki grupta da rutubet oranına paralel olarak azalmakla birlikte, kontrol grubunda daha fazla düştüğü hesaplanmıştır. 72 saatin sonunda kontrol grubunda %65,5'lik bir azalma söz konusu iken işlem grubunda ise %35'lik bir azalma söz konusudur. Bu durumda, ısı ile muamele maruz kalmış ağaç malzemenin elektriksel direnç özelliğinin, ısı ile muamele kalmamış malzemeye göre daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Bu durum literatürde de yer alan bazı çalışmalarla paralellik göstermektedir. Ağaç malzemedeki rutubet miktarı arttıkça elektriksel direncin azaldığı ve bu azalma LND atında daha fazla olduğu bildirilmektedir (Tartar vd., 1972; Wilkes ve Heather, 1983; Shigo ve Shortle, 1985).

4.2. Mekanik Özelliklere Ait Bulgular

4.2.1. Liflere paralel basınç direnci

Çizelge 4.9'da iroko odununun basınç direncine ait kontrol ve ısı ile muamele uygulanmış örneklerle ait istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 4.9. Liflere paralel basınç direncine ait tanımlayıcı istatistikler

Uygulanan İşlem: ThermoWood		Örnek Sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma	Standart Hata
$\delta B_{/r_m}$	K (R=%14)	50	61,948	4,765	0,673
	TW (R=%10)	50	66,064	5,181	0,732
$\delta B_{/R_{12}}$	K	50	70,757	5,938	0,839
	TW	50	59,613	6,033	0,853

Isıl işlemin basınç direnci üzerine etkisi, bağımsız örneklem t-testi ile kontrol edilmiştir (Çizelge 4.10).

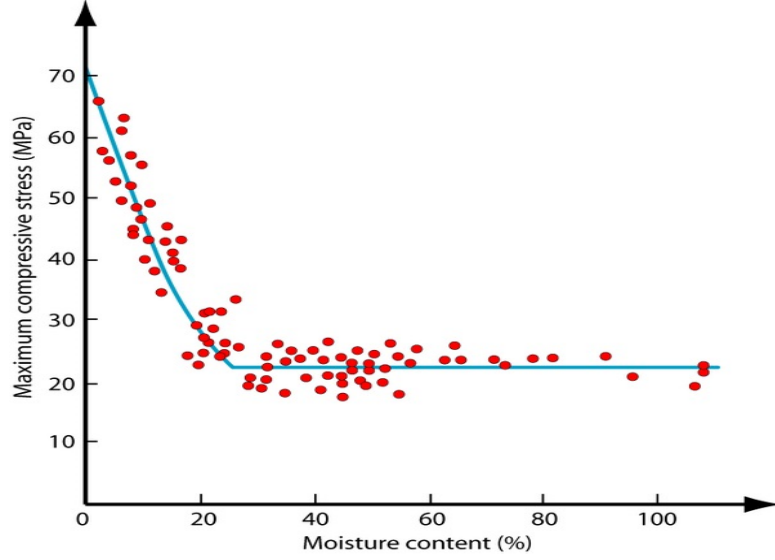
Çizelge 4.10. Basınç direncine (N/mm²) ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları

Bağımsız Örneklem t-Testi						
Liflere Paralel Basınç Direnci		Levene Testi		t-Testi		
		F	Sig.	T	Df	Sig. (2 tailed)
$\delta B_{/r_m}$	Varyansların eşit olduğu varsayımı	0,650	0,422	-4,134	98	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			-4,134	97,322	0,000
$\delta B_{/R_{12}}$	Varyansların eşit olduğu varsayımı	0,000	0,994	9,308	98	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			9,308	97,975	0,000

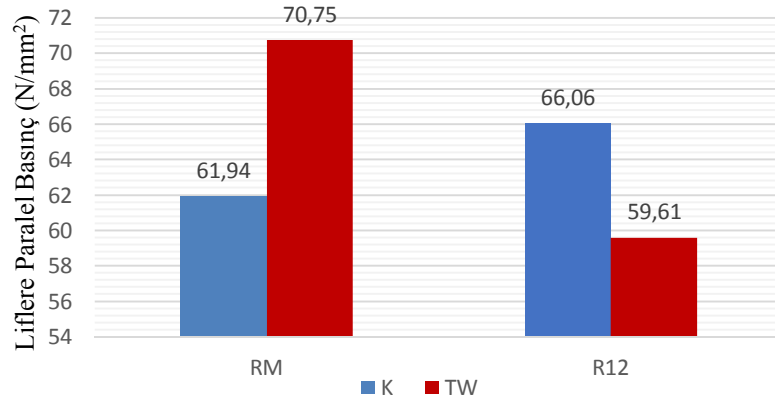
Çizelge 4.10'daki t-testi sonuçlarına göre ısıl işleme tabi tutulmuş örneklerin basınç direnci değerleri ile kendi gruplarına ait kontrol örneklerinin basınç direnci değerleri arasında ($P=0.000<0,05$) önemli derecede farklılık gözlemlenmiştir. Çizelge 4.10'daki bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre; kontrol grubu ve ısıl işlem görmüş grupların basınç direnci değerleri arasında istatistiksel olarak %95 güven aralığında farklılık bulunmuştur.

İroko odun örneklerinde Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi mevcut rutubette sahip olduğu basınç direnci değerlerinde ısıl işlem etkisiyle %6,6'lık bir artış meydana geldiği görülmektedir. Fakat bu değerlerin R_{12} 'ye göre düzenlediğinde ise %15,7'lik bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Bu durum rutubet değerlerinin basınç direnci üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil 4.5'te de görüldüğü üzere; ısıl işlem yardımı ile malzemenin rutubeti azaldıkça liflere paralel basınç direncinde artış

gözenmiştir. Ahşap malzemenin LDN ve altına inildikçe değer artmaktadır. Elde edilen değerlerde söz konusu olan ısıl işlemin basınç direnci üzerine etkisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Ağaç malzeme rutubetinin basınç direnci ile ilişkisi (Dinwoodie,1975).



Şekil 4.6. Isıl işlemin İroko odununda basınç direnci üzerine etkisi

Isıl işlem muamelesi ile Basınç direncinin düştüğüne dair çalışmalar literatürde bulunmaktadır. 180 °C sıcaklık ve 2 saat süre ile farklı ağaç türleri kullanılarak yapılan bu çalışmalarda basınç direncinin %5,90-23,30 arasında azaldığı tespit edilmiştir (Ünsal ve Ayrılmış, 2005; Yıldız vd., 2006; Korkut, 2008; Korkut ve Güller, 2008; Korkut vd., 2008; Gündüz vd., 2008; Korkut ve Budakçı, 2009; Korkut ve Hızıroğlu, 2009; Korkut vd., 2009).

Ghalehno ve Nazerian (2011), huş odununu 190°C sıcaklık ve 3 saat süre ile ısıtılma işlemine tabi tutmuşlardır. İşlem neticesinde basınç direncinde %29.86 oranında azalmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir. Basınç direncinde meydana gelen bu azalmanın, ısıtılma işlem süresince meydana gelen madde kaybıyla yakından ilgili olduğu bir gerçektir. Fakat direnç kaybındaki en önemli etken; lignin ve selülozdan çok daha hassas olan hemiselülozun bozunmasıdır. Bu yüzden ısıtılma işlem süresince hemiselülozda meydana gelen değişimler odunun direnci üzerine önemli rol oynamaktadır (Burmester, 1975; Kotilainen, 2000).

Bu çalışmada yer aldığı gibi basınç direncindeki artış gözlemlendiği çalışmalar da mevcuttur. Banoub ve Delmas (2003), ısıtılma işlem uygulaması sonucu amorf selülozun bozunması veya kristalleşmesi sebebiyle yüksek derecede düzenli kristalimsi selüloz miktarının arttığını belirtmektedir. Kristalimsi selüloz anizotropik yapı sergilediği için katı ve rijit yapısı boyuna yönde basınç direncinin artmasını sağlamaktadır.

Boonstra (2008), yapmış olduğu ısıtılma işlem çalışmasında, basınç direncinde, radyal yönde azalma ve teğet yönde az miktarda artma gözlemlerken, boyuna yönde açık miktarda artmakta olduğunu söylemektedir. Liflere paralel yöndeki artmanın, ısıtılma işlem uygulaması sonucuna bağlı su miktarındaki azalmadan kaynaklandığı bildirilmiştir.

Odunun mekanik özellikleri rutubet miktarıyla yakından ilişkilidir. Bağlı su miktarındaki artış ve hücre çeperinin polimerik bileşikleri arasındaki hidrojen bağlarının azalması direnç özelliklerini azaltır. Çünkü direnç kovalent ayrıca hidrojen polimer bağlarıyla ilişkilidir (Fengel ve Wegener, 1989, Winandy ve Lebow, 2001). Böylece ısıtılma işlem direnç özelliklerine pozitif katkıda bulunabilir. Çünkü ısıtılma işlem görmüş odun daha az higroskopiktir ve maksimum bağlı su miktarı azalmıştır (Bonstra vd., 1998).

Çalışmada da ısıtılma işlem görmüş odunun denge rutubet miktarının azaldığı belirlenmiş olup sonuçlar literatürle uyumludur. Winandy ve Lebow (2001), hücre çeperi bileşenlerinin (selüloz, hemiselüloz, lignin) direnç özelliklerine farklı derecelerde katkıda bulunduğunu belirtmektedirler. Isıtılma işlem odun bileşenlerini ve bunların

birbiriyle etkileşimini etkiler ve böylece odunun mekanik özellikleri etkilenir. Ayrıca kristal selülozunun katı ve sert yapısı liflere paralel yöndeki basınç direncindeki artışa katkıda bulunabilir (Bonstra vd., 1998). Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin mekanik özellikleri üzerine ligninin etkisi açık değildir. Lignin selüloz mikrofibrillerinin sertleştiricisi olarak rol oynar (Stevens ve Turner, 1970). Lignin ayrıca orta lamelin ana bileşenidir (Fengel ve Wegener, 1989) ve lignin polimer ağının artan çapraz bağları orta lamelin direncini artırır ve sonuç olarak hücre çeperinin direnç özelliklerini etkiler bu olay lignin polimer ağının odunun direnç özelliklerine direkt katkısının bir göstergesidir (Bonstra vd., 1998). Böylece odun matrixinde ısıl işlem sıcaklığının artışıyla hemiselülozlar bozularak odun içindeki % lignin miktarı artışı basınç direncinde artışa neden olabilir.

4.2.2. Eğilme direnci (MOR)

Çizelge 4.11’de İroko odununun eğilme direncine ait kontrol ve ısıl işlem uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 4.11. Eğilme direncine ait tanımlayıcı istatistikler

Uygulanan İşlem: ThermoWood		Örnek Sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma	Standart Hata
δE_{RM}	K (R=%10)	51	104,297	10,122	1,417
	TW (R=5)	51	100,823	10,826	1,516
δE_{R12}	K	51	99,015	11,705	1,639
	TW	51	74,230	8,553	1,197

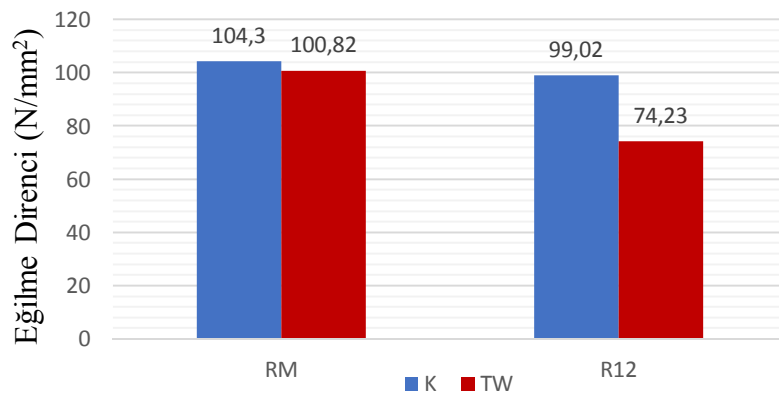
Eğilme direnci değerleri incelendiğinde, ısıl işlem görmüş örneklerin kendi kontrol grupları ile karşılaştırıldığında eğilme direnci değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Eğilme direncindeki bu azalma mevcut rutubet değerleri üzerinde %3,35 iken, örnek rutubetleri 12’ye varsayıldığı dönüşümde ise azalma %25 olarak görülmektedir. Bu durumda rutubet değerinin eğilme direnci üzerine etkisinden söz edilebilir.

Isıl işlemin eğilme direnci üzerine etkisinin olup olmadığı t-testi ile kontrol edilmiştir. Bunun için bağımsız örneklem t-testi ile kontrol ve işlem grupları arasındaki farklılık %95 güven düzeyinde denetlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Eğilme direncine (N/mm²) ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları

Bağımsız Örneklem t-Testi						
Eğilme Direnci		Levene Testi		t-Testi		
		F	Sig.	T	Df	Sig. (2 tailed)
δE_{RM}	Varyansların eşit olduğu varsayımı	1,392	0,241	1,674	100	0,097
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			1,674	99,551	0,097
δE_{R12}	Varyansların eşit olduğu varsayımı	2,150	0,146	12,209	100	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			12,209	91,547	0,000

Çizelge 4.12'deki t-testi sonuçlarına göre ısı işleme tabi tutulmuş örneklerin mevcut eğilme direnci değerleri ile kendi gruplarına ait kontrol örneklerinin basınç direnci değerleri arasında ($P=0.097>0,05$) önemli derecede farklılık gözlemlenmemiştir. Çizelge 4.11'deki bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre; ısı işleme tabi tutulmuş örneklerin eğilme direnci değerleri ile kendi gruplarına ait kontrol örneklerinin R_{12} eğilme direnci değerleri arasında ($P=0.000<0,05$) önemli derecede farklılık gözlemlenmiştir. R_{12} kontrol grubu ve ısı işlem görmüş grupların basınç direnci değerleri arasında istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde farklılık bulunmuştur.



Şekil 4.7. Isıl işlem sonunda iroko odununun eğilme direnci (MOR) üzerine etkisi

Eğilme direnci için benzer sonuçlar literatürde yer alan birçok çalışma ile benzerlik göstermektedir. Yapılan bazı çalışmalarda 180 °C sıcaklık ve 2 saatlik süre sonunda

eğilme direncinde %12,19-41,46 arasında azalma tespit edilmiştir (Korkut, 2008; Korkut vd., 2008; Korkut ve Budakçı, 2009; Korkut ve Hızıroğlu, 2009; Korkut vd., 2009).

Ghalehno ve Nazerian (2011), huş odununu 190 °C sıcaklık ve 3 saat süre ile ısıtılmasına tabi tutmuşlar ve işlem neticesinde eğilme direncinde %16,23 oranında azalmanın meydana geldiğini belirtmişlerdir.

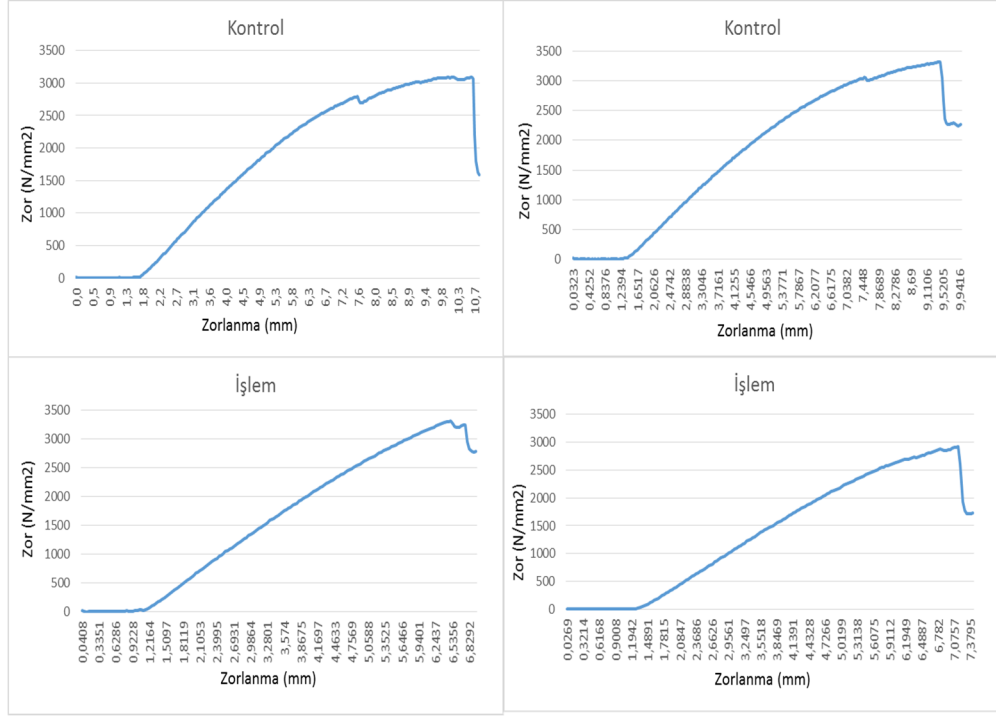
Johansson vd., (2000), 212 °C'de göknar için ThermoWood yöntemiyle yapmış olduğu çalışma neticesinde %37'lik bir azalma bulmuşlardır. Viitaniemi vd. (1996), 180 °C normal atmosfer şartlarında yapılan ısıtılma işlemi sonucunda %16'lık azalma bulmuşlardır. Yapılan başka bir çalışmada 200 °C'de 5 saat süreyle ısıtılma işlemi uygulanan *Chamaecyparis obtusa* ve *Fagus crenata* örneklerinin eğilme direnci değerlerine ait azalma oranları yaklaşık %50 civarında bulunmuştur. Literatürde termal bozunmadan olumsuz olarak en çok etkilenen odun özelliklerinden birinin eğilme direnci olduğu bildirilmektedir.

Eğilme direncindeki ısıtılma işlemi sonrası azalmanın esas nedeni hemiselülozların degradasyonuna atfedilir. Çünkü çok yüksek sıcaklıklarda olmayan ısıtılma işlemi sonrasında selüloz ve ligninde depolimerizasyon ve degradasyon gözlenmediği belirtilmektedir. Isıtılma işlemi sıcaklığının artması ile birlikte eğilme direncinde büyük oranda azalır (Stevens ve Turner, 1970; Winandy ve Lebow, 2001).

Literatürde yer alan çalışmalarda artan sıcaklık ve süreye paralel olarak meydana gelen ağırlık kaybı oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu nedenle ısıtılma işlemi sıcaklık ve süresinin artmasıyla azalan eğilme direnci değerlerini, yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan termal bozunma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybıyla; aynı zamanda kimyasal analizler sonucunda ortaya çıkan hemiselüloz miktarındaki azalmayla ilişkilendirmek mümkündür (Hillis, 1984; Winandy ve Morrell, 1993; Sweet ve Winandy, 1999; Kotilainen, 2000; Winandy ve Lebow, 2001, Boonstra ve Tjeerdsma, 2006).

Eğilme denemelerinde zor-zorlanma (ya da gerilme-deformasyon) grafikleri incelenmiş ve ısıtılma işlemi görmüş tüm örneklerde daha düşük yüklerde kırılma

olmasının yanında yarı plastik davranış göstermeden ani kırılmaların meydana geldiği görülmüştür. Bu davranışa örnek olarak iki örnek için kontrol ve ısıtılmış gruplarının zor-zorlanma grafikleri Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Isıl işlem ve kontrol grubunda zor-zorlanma davranışına örnek grafikler

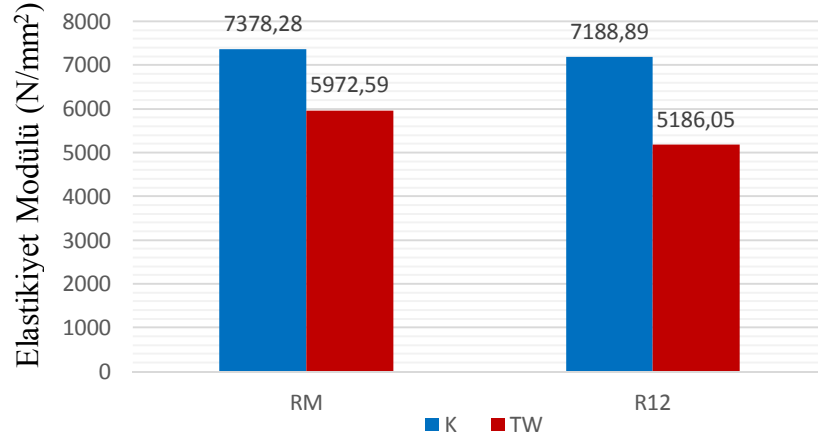
4.2.3. Elastikiyet modülü (MOE)

Çizelge 4.13’de İroko odununun elastikiyet modülüne ait kontrol ve ısıtılmış uygulanmış örneklerle ilgili istatistiksel değerler verilmiştir.

Çizelge 4.13. Elastikiyet modülüne ait tanımlayıcı istatistikler

Uygulanan İşlem: ThermoWood		Örnek Sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma	Standart Hata
δ MOE _{r m}	K (R=%10)	51	7378,289	819,689	114,779
	İ (R=%5)	51	5972,594	635,252	88,953
δ MOE _{R12}	K	51	7188,890	839,604	117,568
	İ	51	5186,057	572,157	80,118

Elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde, ısı işlem görmüş örneklerin kendi kontrol grubu ile karşılaştırıldığında elastikiyet modülü değerlerinde azalma tespit edilmiştir. İroko odununun elastikiyet modülü değerlerinin ısı işlem ile değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Isıl işlemin bu etkisi deneme örneklerinin 20 °C ve %65 bağıl nem koşullarında ulaştığı denge rutubetinde belirlenen elastikiyet değerleri için %19, R₁₂ için ise %27'lik bir azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Isıl işlem sonunda İroko odununun elastikiyet modülü değerleri

Isıl işlemin elastikiyet modülü üzerine etkisi, t-testi ile kontrol edilmiştir. Bunun için bağımsız örneklem t-testi ile kontrol ve işlem grupları arasındaki farklılık %95 güven düzeyinde denetlenmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Elastikiyet modülüne (N/mm²) ait bağımsız örneklem t-testi sonuçları

Bağımsız Örneklem t-Testi						
Elastikiyet Modülü		Levene Testi		t-Testi		
		F	Sig.	T	Df	Sig. (2 tailed)
δ MOE _{RM}	Varyansların eşit olduğu varsayımı	3,219	0,076	9,680	100	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			9,680	94,139	0,000
δ MOE _{R12}	Varyansların eşit olduğu varsayımı	8,231	0,005	14,078	100	0,000
	Varyansların eşit olmadığı varsayımı			14,078	88,201	0,000

Isıl işleme tabi tutulmuş örneklerin elastikiyet modülü değerleri ile kendi gruplarına ait kontrol örneklerinin elastikiyet modülü değerleri arasında önemli derecede

($P=0.000<0.05$) farklılık gözlemlenmiştir. Çizelge 4.14'deki bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre; kontrol grupları ve ısı işlem görmüş grupların elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak (%95 güven düzeyinde) farklılık bulunmuştur.

MOE sonuçları ile paralel sonuçları içeren çalışmalar literatürde bulunmaktadır. 180 °C sıcaklık ve 2 saat süre ile farklı ağaç türleri kullanılarak yapılan bu çalışmalarda elastikiyet modülünün %11,39-35,49 arasında azaldığı tespit edilmiştir (Korkut, 2008; Korkut vd., 2008; Korkut ve Budakçı, 2009; Korkut ve Hızıroğlu, 2009; Korkut vd., 2009).

Özçifçi vd. (2009), 3 farklı sıcaklıklarda (150, 170, 190 °C) ve 3 farklı sürelerde (4, 6, 8) sarıçam odunu ile yaptıkları çalışmada ısı işlem sonrasında MOE değerinde %0,1 ile %12,4 arasında azalmanın olduğunu bildirmişlerdir. Isı işlem süresi ve sıcaklığının artışı MOE'deki azalma da arttırmaktadır. Fakat, bu artışta tam dogrusal bir ilişkinin olmadığı söylemişlerdir.

Chang ve Keith (1978), düşük sıcaklıklarda uygulanan ısı işlem sonucu odun örneklerinin elastikiyet modülünün önemsiz oranda arttığını ancak çok yüksek sıcaklıklarda uygulamaların elastikiyet modülünde azalmaya neden olduğunu belirtmektedirler.

Esteves vd. (2007), sahil çamı ve okalıptüs odun örnekleri hava ortamında buharla birlikte otoklav içerisinde 2-12 saat ve 190-210 °C arasındaki sıcaklıklarda ısıyla muamele etmişler. Sonuçta, elastikiyet modülünün çamda %5, okalıptüste %15 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, “ThermoWood” yöntemiyle ısıtıl işlem uygulanan İroko odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu odun türü 190°C sıcaklıkta 120 dakika süre ile “ThermoWood” yöntemiyle ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. Isıtıl işlem neticesinde fiziksel ve mekanik özelliklerdeki azalma (%) Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Isıtıl işlemde uygulanan ThermoWood ile fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen azalmalar (%)

Tam Kuru Yoğunluk	Hava Kurusu Yoğunluk	Basınç Direnci (R ₁₂)	Eğilme Direnci (R ₁₂)	Elastikiyet Modülü(R ₁₂)	Renk Değişimi	Elektriksel Direnc (72 saat)	Genişleme				Daralma			
							Teğet	Radyal	Boyuna	Hacimsel	Teğet	Radyal	Boyuna	Hacimsel
5	7	19	25	27	19	50	17	18	42	19	13	14	12	13

Isıtıl işlem görmüş odunlar kontrol grupları ile karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1) Isıtıl işlemin uygulaması sonrasında iroko odununun yoğunluk değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Isıtıl işlem uygulamasının ağırlık kayıplarına daha fazla neden olmasının yanında hacimsel kayıplara daha az neden olması bu durumu açıklayabilir.

2) Isıtıl işlem uygulaması iroko odununda boyutsal kararlılığı hacimsel olarak %40 oranında iyileştirmektedir. Bu nedenle dış ortamda boyutsal kararlılığın ön plana çıktığı cephe kaplama, yüzey ve havuz kenarları, gemi güvertelerinde kullanımı tavsiye edilebilir.

3) Isıl işlem sonrası iroko odunu rengi (küçük kusursuz örnekler üzerinde yapılan incelemelere göre) yeknesak olarak koyulaşmaktadır. Genel olarak radyal ve teğet kesit arasında renk değerleri bakımından önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Isıl işlem sonrası odunun renginde meydana gelen değişimin yeknesak olmasından dolayı iç mimari, tavan ve dekoratif amaçlı kullanım için ideal bir malzeme olarak kabul edilebilir.

4) Isıl işlem sonrasında incelenen mekanik özelliklerden rutubetin %12 olduğu durumda liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Özellikle eğilme direnci en fazla etkilenen direnç değeri olarak görülmektedir.

5) Islak ortamda odunun elektrik iletkenliği 72 saatin sonunda yaklaşık %50 azalmış ve odun daha yalıtkan bir hale gelmiştir. Bu durumda yine bir yalıtım malzemesi gibi kullanılabilme olanağı da ortaya çıkmaktadır.

Yapılan bu çalışmaya göre; ısı işlem görmüş ağaç malzemedeki meydana gelen maddesel kayıplara bağlı olarak yoğunluğun azalması ve bunun neticesinde mekaniksel özelliklerdeki düşüşten dolayı yük kaldırma veya yüke maruz kalacak (kolon, kiriş, ahşap köprü vb.) yerlerde kullanılması düşünüldüğünde bu durumun dikkate alınması gereklidir. Aynı zamanda ısı işlem görmüş ağaç malzemenin boyutsal karalılığının artmasından dolayı bu malzemenin dış cephe kaplaması, park ve bahçe mobilyaları, gemi ve güverte yapımı, oyun alanı mobilyalarında kullanımı uygun görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgül, A., 2006. Tıbbi Araştırmalarda İstatistiksel Analiz Teknikleri: SPSS Uygulamaları, Ankara, Emek Ofset.
- Akgün, K., 2008. Lamine Edilmiş Kestane (*Castanea sativa* Mill.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Tanen ve Isıl İşlemin Etkileri. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Zonguldak.
- Akyıldız, H.M., Ateş, S., 2008. "Effect of Heat Treatment on Equilibrium Moisture Content (EMC) of Some Wood Species in Turkey", Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 4 (6): 660-665.
- Akyıldız, M.H., Ateş, S., Özdemir, H., 2009a. Technological and Chemical Properties of Heat-Treated Anatolian Black Pine Wood. African Journal of Biotechnology, 8 (11), 2565-2572.
- Akyıldız, M.H., Ateş, S., Özdemir, H., 2009b. Physical, Mechanical, Chemical Properties and Crystalline Structure of Heat Treated Oak (*Quercus petraea* Lieb.) Wood. Research Journal of Chemistry and Environment, 13 (3), 39-48.
- Akyıldız, M.H., Kaymakçı, A., 2011. Changing of Nail and Screw Withdrawal Resistance Related to Specific Gravity on Heat Treated Wood. International Conference Wood Science and Engineering in The Third Millennium, 137-142, Romania.
- Anonim, 2002. Thermowood Handbook. Finnish Thermowood Association, Helsinki, Finland (www.thermowood.fi). Erişim Tarihi: 03.03.2014.
- Anonim, 2003. Thermowood Handbook. Finnish Thermowood Association, Helsinki, Finland (www.thermowood.fi). Erişim Tarihi: 20.05.2014.
- Anonim, 2006. www.novawood.com.tr. Erişim Tarihi: 10.04.2014.
- Ateş, S., Akyıldız, M.H., Özdemir, H., 2009. Effect of Heat Treatment on Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Wood. Bioresources, 4 (3), 1032-1043.
- Ayan, S., Ciritcioğlu, H., 2012. Isıl İşlemin Ahşap Lamine Panellerin Bazı Fiziksel Özellikleri ve Vida Tutma Dayanımına Etkisinin Belirlenmesi, Düzce Üniversitesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 1(1):35-46.
- Aydemir, D., 2007. "Gökmar (*Abies bornmülleriana* Mattf.) ve Gürgeç (*Carpinus betulus* L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi", Zonguldak Karaelmas Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 7-68.
- Aydemir, D., Gündüz, G., 2009. Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekaniksel ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 11 (15), 71-81.

- Aydemir, D., Gündüz, G., Altuntaş, E., Ertuş, M., Şahin, H.T., Alma, H.M., 2011. Investigating Changes in The Chemical Constituents and Dimensional Stability of Heat-Treated Hornbeam and Uludağ Fir Wood. *Bioresources*, 6 (2), 1308-1321
- Baltacı, S., 2010. “Bazı Odunların Çivi ve Vida Tutma Direnci Üzerine Isıl İşlem Uygulamasının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 3-15.
- Banoub, J.H., Delmas, M., 2003. *JMS Letters, Journal of Mass Spectrometry*, 38:900-903.
- Baştuğ, İ., 2010. “Isıl İşleme Maruz Bırakılan Lamine Ağaç Malzemenin Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Bekhta, P., Niemz, P., 2003. “Effect of High Temperature on The Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood”, *Holzforchung*, 57 (5): 539-546.
- Berkel, A., 1972. Ağaç Malzeme Teknolojisi Cilt II: Ağaç Malzemenin Korunması ve Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, 183, 386s, İstanbul.
- Bhuiyan, T., Hirai N., 2005. Study of Crystalline Behaviour of Heat-Treated Wood Cellulose During Treatments in Water, *Journal of Wood Science*, 51 (1), 42-47.
- Blanchard, R.O. , Carter, J.K., 1980. Electrical Resistance Measurements to Detect Dutch Elm Disease Prior to Symptom Expression. *Canadian Journal Forest Research*, 10: 111-114.
- Bonstra, M., J., Tjeerdsma, B., F., and Groeneveld, H., A., C., 1998. “Thermal Modification of Nondurable Wood Species. 1. The Plato Technology; Thermal Modification of Wood”, *International Research Group on Wood Preservation*, 35-38.
- Boonstra, M.J., Tjeerdsma, B.F., 2006 Chemical Analysis of Heat Treated Softwoods. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, 64 (3), 204-211.
- Boonstra, M. J., 2008. “Two Stage Thermal Modification of Wood”, Ph.D., Ghent University and Universite Henry Poincare-Nancy, 20-90.
- 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.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., 1981. Orman Ürünlerinden Faydalanma, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, 2840/297, İstanbul.
- Bozkurt, Y., Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 388, İstanbul.

- Bozkurt, Y.A., Erdin, N., 1992. Ticarete Kullanılan Ağaçlarda Önemli Anatomik Özellikler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 232-233, İstanbul.
- Bozkurt, Y.A., Erdin, N., 1998. Ticarete Önemli Yabancı Ağaçlar. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, Dilek Matbaası, 12, 462s. İstanbul.
- Burmester, A., 1975. The Dimensional Stabilization of Wood. Holz Als Roh-Und Werkstoff, 33 (9), 333-335.
- Chang, C.I., Keith, C.T., 1978. "Properties of Heat-Darkened Wood. II. Mechanical Properties and Gluability", FPL Report OPX214E, Canada, 1-19.
- Chow, S. Z., Mukai, H.N., 1972. "Effect of Thermal Degradation of Cellulose On Wood Polymer Bonding", Wood Science, 4 (4): 202-208.
- Çaliova, Z., 2011. Kızılağaç ve Doğu Ladini Odunlarının Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, Y. Lisans Tezi, Mobilya Dekorasyon Eğitimi Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi.
- Dilek, M., 1999. Matematiksel İstatistik. Muğla Üniversitesi, Muğla Üniversitesi Basımevi, 253, Muğla.
- Dinwoodie, J.M., 1975. Timber – A Review of the Structure-Mechanical Property Relationship, Journal of Microscopy, 104-1, 3-32.
- Discoverlife, 2014. Erişim Tarihi: 27.11.2014
<http://www.discoverlife.org/nh/maps/Plantae/Dicotyledoneae/Moraceae/Chlorophora>
- Doruk, Ş., Perçin, O., 2010. Isıl İşlemin Bazı Malzemelerin Eğilme ve Basınç Dirençleri Üzerine Etkisi, Journal of Polytechnic, 13-2, 143-150.
- Dubey, M. K., 2010. Improvements in Stability, Durability and Mechanical Properties of Radiata Pine Wood After Heat-Treatment in a Vegetable Oil, University of Canterbury.
- Efe E., Bek Y., Şahin M., 2000. SPSS'te Çözümleri ile İstatistik Yöntemler II, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Rektörlüğü Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi, 10, Kahramanmaraş, 87-93.
- Esteves B. M., Velez, M. A., Domingos, I., Pereira, H., 2007. "Influence of Steam Heating on The Properties of Pine And Eucalypt Wood", Wood Science Technology, 41 (3): 197-203.
- Esteves, B., Domingos, I., Pereira, H., 2008. Pine Wood Modification by Heat Treatment in Air. Bioresources, 3 (1), 142-154.
- Esteves, B., Pereira, H., 2009. Wood Modification by Heat Treatment a Review, Bioresources, 4 (1), 370-404.

Fengel, D., Wegener, G., 1989. "Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions", Walter De 33 (9): 333-335.

Flickr,2014. Erişim Tarihi:27.11.2014
<https://www.flickr.com/photos/32490414@N05/7932739502/>

Ghalehno, D. M., Nazerian, M., 2011. Changes in the Physical and Mechanical Properties of Iranian Hornbeam Wood (*Carpinus betulus*) with Heat Treatment. European Journal of Scientific Research, 51 (4), 490-498.

Green D.W., 1999. Adjusting Modulus of Elasticity of Lumber for Changes in Temperature, Forest Products Journal, 49(10):82–94.

Güller, B., Korkut, D.S., 2007. "The Effects of Heat Treatment on Some Physical Properties and Surface Roughness in Red-Bud Maple (*Acer Trautvetteri* Medw.) Wood, Bioresource Technology, 38-48.

Güller, B., 2012. Effects of Heat Treatment on Density, Dimensional Stability and Color of *Pinus nigra* Wood, African Journal of Biotechnology, 11 (9), 2204-2209.

Gündüz, G., Korkut, S., Korkut, D.S., 2008a. The Effects of Heat Treatment on Physical and Technological Properties and Surface Roughness of Camıyanı Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) Wood, Bioresource Technology, 99 (7); 2275-2280.

Gündüz, G., Niemz, P., Aydemir, D., 2008b. Changes in Specific Gravity and Equilibrium Moisture Content in Heat-Treated Fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) wood. Drying Technology, 26 (9), 1135-1139.

Gündüz, G., Korkut, S., Aydemir, D., Bekar, İ., 2009a. The Density, Compression Strength and Surface Hardness of Heat Treated Hornbeam (*Carpinus betulus*) Wood. Maderas: Ciencia Y Tecnologia, 11(1); 61–70.

Gündüz, G., Aydemir, D., Karakaş, G., 2009b. The Effects of Thermal Treatment on the Mechanical Properties of Wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) Wood and Changes in Physical Properties. Materials & Design, 30(10); 4391–4395.

Hillis, W. E., 1975. "The Role of Wood Characteristics in High Temperature Drying", Journal Industrial Wood Science, 7 (2): 60-67.

Hillis, W.E., 1984. High Temperature and Chemical Effects on Wood Stability. Wood Science and Technology, 18 (2), 81-93.

ISO 7724-2/3, Paints and Varnishes-Colorimetry, Part 2: Colour Measurement, Part 3: Calculation of Colour Measurement, ISO Standard, 1984.

İstatistikanaliz,2014. Erişim Tarihi: 15.12.2014
<http://www.istatistikanaliz.com/t-testi.asp>

- Johansson, C., I., Saddler, J., N., and Beatson, R., 2000. "Characterization of The Polyphenolics Related to The Colour of Western Red Cedar (*Thuja plicata* Donn) Heartwood", *Holzforschung*, (54): 246-254.
- Johansson, D., 2005. *Drying and Heat Treatment of Wood: Influences on Internal Checking*, Proceedings 3rd Nordic Drying Conference, Karlstad, Sweden.
- Johansson, D., 2005. "Strenght and Colour Response of Solid Wood to Heat Treatment, Licentiate Thesis", Luleå University of Technology, Department of Skellefteå Campus, Division of Wood Technology, Sweden, (93): 58.
- Johansson, D., Morén, T., 2006. The Potential of Colour Measurement for Strength Prediction of Thermally Treated Wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 64 (2), 104-110.
- Kalaycı, Ş., 2006. *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*. Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Kalaycıoğlu, H., 2003. Ahşap Zemin Döşemeleri Montaj ve Bakımı, *Parke Dekorasyon Dergisi*, 12, 94-100.
- Kamdem, P., 2002. Heat Treatment : Can It Replace Preservatives? CWPA (Canadian Wood Preservation Association) Proceedings, 122-13.
- Kamperidou, V., Barboutis, I., Vasileiou, V., 2012. Response of Colour and Hygroscopic Properties of Scots Pine Wood to Thermal Modification, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14-22, 96-103.
- Karabulut, A., 2010. Türkiye Orman Ürünleri Sanayisinde ISPM 15 Standardına Göre Isıl İşlem Uygulayan İşletmeler Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Orman Endüstri Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi.
- Karakaş, G., 2008. Ahlât (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerinde Isıl İşlemin Etkisi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 71, Zonguldak.
- Kaygin, B., Gunduz, G., Aydemir, D. 2009. Some Physical Properties of Heat-Treated Paulownia (*Paulownia elongata*) Wood, *Drying Technology*, 27: 89–93.
- Kesici T., Kocabaş Z., 1998. *Biyoistatistik*, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 203-282.
- Kim, G.H., Yun, K.E., Kim, J.J., 1998. Effect of Heat Treatment on the Decay Resistance and Bending Properties of Radiata Pine Sapwood. *Material and Organismen*, 32 (2), 101-108.
- Kokou, K., Sokpon, N., 2006. "Les forêts sacrées du couloir du Bénin," *Bois et Forêts des Tropiques*, 288-2, 15–23.
- Kol, H.S., 2010. Characteristics of Heat-Treated Turkish Pine and Fir Wood After Thermowood Processing, *Journal of Environmental Biology*, January 22.

- Kol, Şahin, H., Sefil, Y., 2011. The Thermal Conductivity of Fir and Beech Wood Heat Treated at 170, 180, 190, 200, and 212°C. *Journal of Applied Polymer Science*, 121, 2473-2480.
- Korkut, S., Özdemir, H., 2003. "ThermoWood", *Yapı Dekorasyon Ahşap-Araştırma-Teknoloji-Tasarım-Mobilya ve İç Mimari Dergisi*, (25): 133-136.
- Korkut, S.D., Guller, B., 2008a. 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.
- Korkut, S., Akgül, M., DüNDAR, T., 2008b. The Effects of Heat Treatment on Some Technological Properties of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood. *Bioresource Technology*, 99 (6), 1861-1868.
- Korkut, D.S., Korkut, S., Bekar, İ., Budakçı, M., Dilik, T., Çakıcıer, N., 2008c. The Effects of Heat Treatment on the Physical Properties and Surface Roughness of Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.) Wood. *International Journal of Molecular Sciences*, 9, 1772-1783.
- Korkut, S., Bektaş, İ., 2008. The Effects of Heat Treatment on Some Physical Properties of Uludag Fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood. *Forest Products Journal*, 58 (3), 95-99.
- Korkut, S.,(2008). The Effects of Heat Treatment on some Technological Properties in Uludag Fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) Wood, *Building and Environment*, 43 (4): 422-428.
- Korkut, S., 2009. Gürgen Yapraklı Kayacık (*Ostrya carpinifolia* Scop.) Odununun Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Isıl İşlem Sıcaklık ve Süresinin Etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5 (1), 121-130.
- Korkut, S., Budakçı, M., 2009. Effect of High-Temperature Treatment On The Mechanical Properties of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.) Wood. *Drying Technology*, 27, 1240-1247.
- Korkut, S., Alma, M.H., Elyıldırım, Y.K., 2009. The Effects of Heat Treatment on Physical and Technological Properties and Surface Roughness of European Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) Wood. *African Journal of Biotechnology*, 8 (20), 5316-5327.
- Korkut, S., 2012. Performance of Three Thermally Treated Tropical Wood Species Commonly Used in Turkey, *Elsevier Journal, Industrial Crops and Products* 36, 355–362.
- Kotilainen R., 2000. Chemical Changes in Wood During Heating at 150–260 °C. Ph.D. Thesis, *Jyväskylä University*. Research Report 80, Finland.

- Kortelainen, S. M., Antikainen, T., Viitainiemi, P., 2006. "The Water Absorption of Sapwood and Heartwood of Scots Pine and Norway Spruce Heat-Treated at 170 °C, 190 °C, 210 °C and 230 °C", Holz als Roh-und Werkstoff, 64 (3): 192-197.
- Leithoof, H., Peek, R. D., 2001. Heat Treatment of Bamboo, IRG/WP 01-40216 (The International Research Group On Wood Preservation), Federal Research Centre for Forestry ve Forest Products (BFH), Leuschnerstr. 91, D 21031 Hamburg, Germany.
- Mayes, D. and Oksanen, O., (2002)., "Thermowood Handbook", Finnforest, Finland, 5-15.
- Militz, H., 2002. "Thermal Treatment of Wood: European Processes and Their Background", International Research Group on Wood Preservation, Cardiff-Wales, 1-17.
- 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.
- Nuopponen, M.,2005. FT-IR and UV Raman Spectroscopic Studies on Thermal Modification of Scots Pine Wood and Its Extractable Compounds, Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology, Department of Forest Products Technology, Laboratory of Forest Products Chemistry, Reports Series A 23, Espoo-Finland.
- Ouinsavi, C., Sokpon, N., Bada, O., 2005. "Utilization and traditional strategies of in situ conservation of iroko (*Chlorophora excelsa* Benth. & Hook. F) in Benin," Forest Ecology and Management, 207-3, 341–350.
- Öktem, E., 1990. Ticareti Yapılan Önemli Yabancı Tür Ağaçlar (Özellikleri ve Kullanım Yerleri). Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Muhtelif Yayınlar, 61-61, Ankara.
- Özçiftçi, A., Altun, S.,Yapıcı, F., 2009. Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
- Özdamar K., 1999. Paket Programları ile İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitabevi, Eskişehir/Türkiye, 2-264-265.
- Perçin, O., Ayan, S., 2012. Isıl İşlem Uygulanmış Ağaç Malzemede Vida Çekme Direncinin Belirlenmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 1-1, 57-68.
- Perçin, O., Uzun, O., 2014. Isıl İşlem Uygulanmış Ağaç Malzemede Yapışma Direncinin Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15: 72-76.
- Pizzi, A., Stephanou, A., Boonstra, M. J., Pendlebury, A. J., 1994. A New Concept on the Chemical Modification of Wood by Organic Anhydrides. Holzforschung, 48, 91-94.
- Rautkari L., Honkanen, J., Hill, C.A.S., Ridley-Ellis, D., Hughes, M., 2014. Mechanical And Physical Properties of Thermally Modified Scots Pine Wood in High Pressure Reactor Under Saturated Steam at 120, 150 and 180 °C, European Journal of Wood and Wood Products, 72:33–41.

- Rowell, R.M., Youngs, R.L., 1981. Dimensional Stability of Wood in Use, Forest Service Research Note, FPL- 0243, United States Forest Product Laboratory, United States Department of Agriculture, Medison Wise.
- 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.
- Santos, J. A., 2000. “Mechanical Behaviour of Eucalyptus Wood Modified by Heat Wood”, Science Technology, (34): 39-43.
- Sefil, Y., 2010. “ThermoWood Yöntemiyle, Isıl İşlem Uygulanmış Gökmar ve Kayın Oduklarının Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 65-77.
- Sehlstedt, P.M., 2003. Colour Responses to Heat-Treatment of Extractives and Sap From Pine and Spruce. Proceedings 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, Romania.
- Sidorova, E., 2009. “Trends and Reasons for Development of Heat Treated Wood”, Master Thesis, Lulea University of Technology, Sweden, 40.
- Sheskin D. J., 2000. Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures, Chapman & Hall/CRC, 2. Edition, Boca Raton London New York Washington, D.C., 595-681.
- Shigo, A.L., 1967. Successions of Organisms in Discoloration and Decay of Wood. International Review of Forestry Research 2: 237- 299.
- Shigo, A.L., Hillis, W.E., 1973. Heartwood, Discolored Wood, and Microorganisms in Living Trees. Annual Review of Phytopathology 11: 197-222.
- Shigo, A.L., Shigo, A., 1974. Detection of Discoloration and Decay in Living Trees and Utility Poles. NE-294. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 11.
- Shigo, A. L., Shortle, W.C., Ochrymowych, J., 1977. Detection of Active Decay at Groundline in Utility Poles. USDA Forest Service General Technical Report NE-35.
- Shigo, A.L., Shortle, W.C., 1985. Shigometry: A Reference Guide. United States. Cooperative State Research Service.; Canada/United States Spruce Budworms Program. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, 646, 48.
- Shortle, W.C., 1979. Detection of Decay in Trees. Journal of Arboriculture 5: 226-232.
- Shortle, W.C., 1982. Decaying Douglas-Fir: Ionization Associated With Resistance to A Pulsed Electric Current. Wood Science 15: 29-32.

- Skutt, H.R., Shigo, A.L., Lessard, R. A., 1972. Detection of Discolored and Decayed Wood in Living Trees Using A Pulsed Electric Current. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 54-56.
- Sokpon, N., Ouinsavi, C., 2004. "Gestion des plantation de *Khaya Senegalensis* Au Bénin," *Bois et Forêts des Tropiques*, 279-1, 37-46.
- Sokpon, N., Ametepe, A., Agbo, V., 1998. "Forêts Sacrées et Conservation de la Biodiversité au Bénin. Cas du Plateau Adja au Sud-Ouest du Bénin," *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, 1, 47-64.
- Stevens, W., C., Turner, N., 1970. "Wood Bending Handbook", *Wood and Fiber Science*, London, England, 58-61.
- Sundqvist, B., Karlsoon, 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*.
- Sweet, M. S., Winandy, J. E., 1999. The Influence of Degree of Polymerisation of Cellulose and Hemicellulose on the Strength Loss of Fire-Retardant-Treated Wood. *Holzforschung*, 53 (3), 311-317.
- Tartar, T.A., A.L. Shigo, T. Chase. 1972. Relationship Between The Degree of Resistance to A Pulsed Electric Current and Wood in Progressive Stages of Discoloration and Decay. *Canadian Journal of Forestry Res*, 2:236-243.
- Tasdemir, C., Hiziroglu, S., 2014. Measurement of Various Properties of Southern Pine and Aspen as Function of Heat Treatment. *Biblioteka Nauki Jest Prowadzona Przez Centrum Otwartej Nauki, ICM UW*, 49/ 91-98.
- Terziev, N., Boutelje, J., Söderström, O., 1993. "The influence of drying schedules on the redistribution of low molecular weight sugars in", *Holzforschung*, 47 (1): 3-8.
- Tjeerdsma, B., Militz, H., 2005. Chemical Changes in Hydrothermal Treated Wood: Ftir Analysis of Combined Hydrothermal and Dry Heat-Treated Wood. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, 63, 102-111.
- 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), 149-153.
- Tomak, E.D., Ustaomer, D., Yıldız, S., Pesman, E., 2014. Changes in Surface and Mechanical Properties of Heat Treated Wood During Natural Weathering., *Elsevier Journal, Measurement* 53, 30-39.
- TS 2470, 1976. *Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyley İçin Numune Alma Metodları ve Genel Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*.

- TS 2471, 1976. Odunda, Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2472, 1976. Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2474, 1976. Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2478, 1976. Odunun Statik Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2595, 1977. Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 4084, 1983. Odunda Radyal ve Teğet Doğrultuda Şişmenin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuong, V. M., Li, J., 2010. Effect of Heat Treatment on The Change in Color and Dimensional Stability of Acacia Hybrid Wood. *Bioresources*, 5 (2), 1257-1267.
- Ünsal, O., Ayrılmış, 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.
- Ünsal, O., Korkut, S., Atik, C., 2003. "The Effect of Heat Treatment on Some Properties and Colour in Eucalyptus Wood". *Maderas Cienciy Tecnologia*, 52 (2): 145-152.
- Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A., Viitaniemi, P., 1994. "The Effect of Heat Treatment on The Properties of Spruce", IRG/WP 94-40032 Annual, Indonesia, 3-4.
- Viitaniemi, P., Lamsa, S., 1996. "Modification of Wood With Heat Treatment", VTT Building Technology, Espoo, Finland, 11-14.
- Wilkes, J., W.A. Heather. 1983. Correlation of Resistance to A Pulsed Current With Several Properties in Living Eucalypts. *N.Z. Journal of Forestry Science*. 13(2):139-145.
- Winandy, J. E., Lebow, P. K., 2001. Modelling Strength Loss in Wood by Chemical Composition. Part I. An Individual Component Model for Southern Pine. *Wood and Fiber Science*, 33 (2), 39-254.
- Winandy, J. E., Morrell, J.J., 1993. Relationship Between Incipient Decay, Strength and Chemical Composition of Douglas-Fir Heartwood. *Wood and Fiber Science*, 25(3), 278-288.
- Yıldız, S., 2002. Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellikleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Trabzon.

Yıldız, S., Gezer, E.D., Yıldız, U.C., 2006. Mechanical and Chemical Behavior of Spruce Wood Modified by Heat. *Building and Environment*, 41 (12), 1762-1766.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdullah BERAM

Doğum Yeri ve Yılı : Mersin, 1988

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : abduallahberam@sdu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Anamur Süper Lisesi, 2006

Lisans : SDÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği, 2011

Mesleki Deneyim

KSÜ Orman Fakültesi	Arş. Gör.	2011-2012
DPÜ Simav Teknoloji Fakültesi	Arş. Gör.	2012-2013
SDÜ Orman Fakültesi	Arş. Gör.	2013-(halen)