

**ISIL İŞLEM VE HIZLI YAŞLANDIRMA
UYGULANMIŞ AĞAÇ MALZEMENİN
DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ**

Mustafa BAYDAĞ

**ISIL İŞLEM VE HIZLI YAŞLANDIRMA UYGULANMIŞ AĞAÇ
MALZEMENİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ**

Mustafa BAYDAĞ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2014**

Mustafa BAYDAĞ tarafından hazırlanan “ISIL İŞLEM VE HIZLI YAŞLANDIRMA UYGULANMIŞ AĞAÇ MALZEMENİN DIELEKTRİK ÖZELLİKLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

.....

Tez Danışmanı, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/ 06/ 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr.Hamiyet ŞAHİN KOL (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN (KBÜ)

.....

...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim”

Mustafa BAYDAĞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISIL İŞLEM VE HIZLI YAŞLANDIRMA UYGULANMIŞ AĞAÇ MALZEMENİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Mustafa BAYDAĞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

Haziran 2014, 99 sayfa

Bu çalışmada ısıl işlemin ve hızlı yaşlandırmanın ağaç malzemelerin mikrodalga frekanslardaki dielektrik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Ağaç malzeme olarak, Uludağ Göknarı [*Abies bornmülleriana* Mattf], Sarıçam [*Pinus sylvestris* L.], Sakallı Kızılağaç [*Alnus glutinosasubsp. Barbata* (C.A. Mey.)] ve Doğu Kayını [*Fagus orientalis* Lipsky] örnekleri kullanılmıştır. Isıl işlem metodu Thermowood olup 190 °C’de 1,5 saat ve 212 °C’de 2 saat süreyle uygulanmıştır. Hızlı yaşlandırma ASTM G154 standardı esas alınmak suretiyle 288 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Hava kurusu örneklerin dielektrik özellikleri (dielektrik sabiti, kayıp faktörü, kayıp tanjantı) A.Von-Hippel Dalga Kılavuzu Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler 2.45 GHz ve 9.8 GHz mikrodalga frekanslarında ve oda sıcaklığında (20-24 °C) gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak; kontrol örnekleri ile ısıtım işlem görmüş örneklerin dielektrik parametreleri karşılaştırıldığında, ısıtım işlemli örneklerin daha düşük değerler verdiği belirlenmiştir. Isıtım işlem sıcaklığının etkisi dikkate alındığında, çalışılan tüm ağaç malzemelerde ısıtım işlem sıcaklığı arttıkça dielektrik parametre değerlerinin düştüğü ve dielektrik parametrelerde meydana gelen düşüş oranlarının ağaç türlerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Hızlı yaşlandırmanın kontrol (doğal hal) ve ısıtım işlem görmüş ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Çalışılan tüm ağaç malzeme türlerinde hızlı yaşlandırmanın etkisinin benzer karaktere sahip olduğu belirlenmiştir. Hızlı yaşlandırılmış kontrol örnekler ile 190 °C ve 212 °C de ısıtım işlem görmüş örneklerin dielektrik özellikleri karşılaştırıldığında, gruplar arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak hızlı yaşlandırma işlemi kontrol örneklerine göre ısıtım işlem görmüş örneklerin dielektrik özellikleri üzerinde daha az düşüş meydana getirdiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar; ısıtım işlem görmüş ve aynı zamanda hızlı yaşlandırılmış ağaç malzemelerinin kalitelerinin, rutubetlerinin vb. özelliklerinin belirlenmesi için mikrodalga cihazlar tercih edildiğinde, ısıtım işlem görmüş ağaç malzeme için tasarlanmış cihazların doğru sonuçlar veremeyeceğini işaret etmektedir. Bu nedenle daha güvenli sonuçlara ulaşmak için, bu cihazların tasarımının ısıtım işlemli ve aynı zamanda hızlı yaşlandırılmış ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerini kullanarak geliştirilmesi uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Ağaç malzeme, ısıtım işlem, hızlı yaşlandırma, mikrodalga frekanslar, dielektrik özellikler.

Bilim Kodu : 711.3.023

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EVALUATION OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF WOOD AFTER THERMAL AND ACCELERATED AGING TREATMENTS

Mustafa BAYDAĞ

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Furniture and Decoration Education

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

June 2013, 99 pages

In this study, the effect of accelerated aging tests on dielectric properties of wood at microwave frequencies were investigated.

Bornmullerian fir [*Abies bornmülleriana* Mattf], Scotch pine [*Pinus sylvestris* L.], Alder [*Alnus glutinosasubsp. Barbata* (C.A. Mey.)] and Oriental beech [*Fagus orientalis* Lipsky] were used as the wood materials. Thermowood method were used for heat treatment and it was applied 90 minutes at 190 °C and 120 minutes at 212 °C. Accelerated aging was performed 288 hours according to ASTM G154. Dielectric properties of the air-dry samples were determined according to Von Hoppel's transmission line method. Frequencies used for this study were 2.45 GHz and 9.8 GHz; and the measurement were carried out at a room temperature of 20-24 °C.

As a result;when dielectric parameters of control samples compared with heat-treatment samples' parameters it was determined that dielectric parameters decrease when heat-treatment temperature increases. Also it was determined that the ratio of decline on dielectric parameters changes depends upon wood species.

It was determined accelerated-aging process causes increase in the dielectric constant, loss factor and loss tangent of control species and heat-treatment wood species. It was determined the impact of accelerated-aging on all wood types has similar characteristic. When the dielectric properties of 190 °C and 212 °C heat treated wood samples and accelerated-aged control samples were compared, it was investigated that there is no difference between the groups. As a result, accelerated-aging process causes decrease in the dielectric properties of heat-treated wood samples less than control samples.

The results obtained in this study shows that when microwave devices are preferred to determine heat-treated and accelerated-aged wood materials' qualities and their moisture, devices designed for heat-treated wood material can't give accurate results. Therefore, to get more reliable results, in the design stage of these devices must be taken into account dielectrical properties of heat-treated and accelerated-aged wood materials.

Keyword : Wood material, heat treatment, dielectric properties, microwave frequencies, accelerated aging.

Science Code : 711.3.023

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Sn. Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca, yönlendirme ve bilgilendirmeleri ile yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ ve Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın. Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca dostlarım Mustafa KORKMAZ, İzham KILINÇ, Abdulkadir YILDIZ ve Çağlar ALTAY'a benim için Karabük ilini daha yaşanabilir kıldıkları için teşekkür ederim.

Bugüne kadar her durumda desteklerini esirgemeyen tüm aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, KBÜ-BAP-13/1-YL-029 numaralı projeye verdiği destekten dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	.iv
ABSTRACT.....	.vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GENEL BİLGİLER.....	1
1.1.GİRİŞ.....	1
1.2. ISIL İŞLEMİN AĞAÇ MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ.....	3
1.2.1. Isıl İşlemin Amacı.....	4
1.2.2. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi.....	4
1.2.2.1. Hemiselülozda Meydana Gelen Kimyasal Değişimler.....	5
1.2.2.2. Selülozda Meydana Gelen Kimyasal Değişimler.....	6
1.2.2.3. Ligninde Meydana Gelen Kimyasal Değişimler.....	7
1.2.2.4. Ekstraktiflerde Meydana Gelen Kimyasal Değişimler.....	8
1.2.2.5. Isıl İşlem Süresince Ağaç Malzemenin Yapısında Asit Oluşumu.....	9
1.2.3. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi.....	9
1.2.3.1. Hava Kuruğu Yoğunluk.....	9
1.2.3.2. Boyutsal Değişim.....	10
1.2.3.3. Denge Rutubet Miktarı (DRM).....	10
1.2.3.4. Isı İletkenliği.....	11
1.2.3.5. Renk Değişimi.....	11
1.2.3.6. Koku Değişimi.....	11

1.2.4. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi	12
1.2.4.1. Direnç ve Yüzey Pürüzlülüğü	12
1.2.4.2. Eğilmede Elastikyet Modülü (MOE).....	13
1.2.4.3. Eğilme Direnci (MOR)	13
1.2.4.4. Basınç Direnci	13
1.2.4.5. Makaslama Direnci	14
1.2.4.6. Çekme Direnci.....	14
1.2.4.7. Şok Direnci.....	14
1.2.4.8. Renk	14
1.2.5. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi	15
1.3. HIZLI YAŞLANDIRMANIN AĞAÇ MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ	15
1.3.1. Yaşlandırmanın Amacı.....	16
1.3.2. Dış Ortama Karşı Dirençle İlgili Testler	18
1.3.2.1. Doğal Dış Ortamda Yaşlandırma Testleri.....	18
1.3.2.2. Hızlandırılmış Doğal Dış Ortam Yaşlandırma Testleri	18
1.3.2.3. Hızlandırılmış Laboratuvar Şartlarında Yaşlandırma Testleri	19
1.3.3. Hızlı Yaşlandırmanın Ağaç Malzemelerin Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi	21
1.3.4. Hızlı Yaşlandırmanın Ağaç Malzemelerin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi	21
1.4. ELEKTROMANYETİK ALAN İLE AĞAÇ MALZEMENİN ETKİLEŞİMİ	23
1.4.1. Dielektrik Parametreler	25
1.4.2. Dielektrik Bakış Açısından Ağaç Malzemenin Yapısı	26
1.4.2.1. Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri.....	26
1.4.2.2. Hava, Serbest Su ve Bağlı Suyun Dielektrik Özellikleri	29
1.4.3. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler	30
1.4.3.1. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi	30
1.4.3.2. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi	30

1.4.3.3. Ağaç malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi.....	31
1.4.3.4. Ağaç Malzeme Lif Yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi	32
BÖLÜM 2.....	34
MATERYAL VE METOT.....	34
2.1. MATERYAL.....	34
2.1.1. Ağaç Malzeme	34
2.1.1.1. Sarıçam (Pinussylvestris L.).....	34
2.1.1.2. Doğu Kayını [<i>Fagus orientalis</i> Lipsky].....	35
2.1.1.3. Sakallı Kızılağaç [<i>Alnusglutinosasubsp. Barbata</i>	36
2.1.1.4. Uludağ Göknaarı [<i>Abies bornmülleriana</i> Mattf].....	37
2.2. METOT.....	38
2.2.1. Örnek Ağaçların Seçilmesi ve Deney Örneklerinin Hazırlanması	38
2.2.2. Örneklere Isıl İşlem Uygulanması	40
2.2.3. Örneklere Hızlı Yaşlandırma Uygulanması	41
2.2.4. Dielektrik Ölçümler için Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	43
2.2.5. Hava Kuruğu Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi.....	45
2.2.6. Rutubet Miktarının Belirlenmesi	45
2.2.7. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi	45
2.2.7.1. Ölçüm Frekansları	45
2.2.7.2. Sıcaklık.....	46
2.2.7.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deney Düzeneği	46
2.2.8. İstatistik Yöntemler	48
BÖLÜM 3.....	50
BULGULAR.	50
3.1. AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ	50
3.1.1. 2.45 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler	50
3.1.2. 9.8 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler	60
3.2. AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE HIZLI YAŞLANDIRMANIN ETKİSİ	70

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4.....	77
İRDELEME.....	77
4.1. AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ	77
4.1.1. 2.45 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler	77
4.1.2. 9.8 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler	80
4.1.3. Isıl işlemin Ağaç Malzemelerin Dielektrik Özellikleri Üzerine Etkisinin Genel Olarak Değerlendirilmesi	84
4.2. AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE HIZLI YAŞLANDIRMANIN ETKİSİ	85
BÖLÜM 5.....	89
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
5.1. SONUÇLAR	89
5.2. ÖNERİLER.....	891
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Hemiselülozun olası degradasyon oluşumu.....	6
Şekil 1.2. Selülozun yapısı	7
Şekil 1.3. Nemli şartlar altında ısıtılma işlemi muamelesi ve kurumadan dolayı ağaç malzeme bileşiklerindeki genel değişim.	8
Şekil 1.4. Ağaç malzeme yüzeyinde UV radyasyon ve rutubet etkisi ile meydana gelen bozunmanın şematik diyagramı.....	17
Şekil 1.5. QUV yaşlandırma cihazı; (Q-Panel).	20
Şekil 1.6. Dipollerin elektrik alan şiddetine göre yönelmesi	24
Şekil 1.7. Selülozun formülü: A β -D glukoz ünitesi; B sellobioz.	28
Şekil 1.8. Selülozun moleküler bağları üzerine rutubet miktarının etkisi.....	32
Şekil 2.1. Kontrol ve test örneklerinin elde edildiği taslakların tomruktan alınışı	39
Şekil 2.2. Güneş ışığı ve UVB 313 EL ışığı dalga boyu analizi	42
Şekil 2.3. UV-B 313 Lambaların montajı	42
Şekil 2.4. Hızlandırılmış yaşlandırma test cihazı kondisyonlama	43
Şekil 2.5. Örneklerinin elektrik alan şiddetine göre pozisyonu.....	44
Şekil 2.6. Dielektrik özellikleri ölçmede kullanılan deney düzeneği.	46
Şekil 4.1. 2.45GHz frekansında ağaç malzemelerin ısıtılma işlem sıcaklığına bağlı olarak dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin değişimi	78
Şekil 4.2. 9.8 GHz frekansında ağaç malzemelerin ısıtılma işlem sıcaklığına bağlı olarak dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin değişimi	82
Şekil 4.3. Isıtılma işlem uygulanmış ve uygulanmamış malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisi	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Mikrodalga frekanslarında hücre çeperinin dielektrik özellikleri	27
Çizelge 1.2. Mikrodalga frekanslarda suyun dielektrik özellikleri	29
Çizelge 2.1. Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri	38
Çizelge 2.2. Hızlandırılmış yaşlandırma programı	41
Çizelge 3.1. Ağaç malzemelerin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak 2.45 GHz frekansındaki dielektrik özellikleri.....	50
Çizelge 3.2. 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine ağaç malzeme türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.....	53
Çizelge 3.3. 2.45 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaçmalzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları (P< 0,05)	54
Çizelge 3.4. 2.45 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları (P< 0,05)	54
Çizelge 3.5. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında dielektrik sabiti üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları	55
Çizelge 3.6. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında kayıp faktörü üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.....	56
Çizelge 3.7. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında kayıp tanjantı üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.....	57
Çizelge 3.8. 2.45 GHz frekansında ağaçtürü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik sabiti değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları (P< 0,05)	58
Çizelge 3.10. 2.45 GHz frekansında ağaçtürü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik kayıp tanjantı değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları (P< 0,05)	60
Çizelge 3.11. Ağaç malzemelerin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak 9,8 GHz frekansındaki dielektrik özellikleri.....	61
Çizelge 3.12. 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine ağaç malzeme türü ve ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyan sanalizi sonuçları.....	62

Çizelge 3.13. 9,8 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaç türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları.....	63
Çizelge 3.14. 9.8 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları	63
Çizelge 3.15. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında dielektrik sabiti üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.....	64
Çizelge 3.16. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında faktörü üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.....	65
Çizelge 3.17. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında tanjantı üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.....	66
Çizelge 3.18. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik sabiti değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları	67
Çizelge 3.19. 9.8 GHz frekansında ağaç türü dikkate alındığında kayıp faktörü değerlerinin Duncan analiz sonuçları	68
Çizelge 3.20. 9.8 GHz frekansında ağaç türü dikkate alındığında kayıp tanjantı değerlerinin Duncan analiz sonuçları	69
Çizelge 3.21. Ağaç malzemelerin hızlı yaşlandırma sonrası 9.8 GHz frekansındaki dielektrik özellikleri.....	70
Çizelge 3.22. Dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları	71
Çizelge 3.23. Dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları.....	72
Çizelge 3.24. Dielektrik özellikler üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları	73
Çizelge 3.25. Yoğunluk üzerine ağaç türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisini araştıran çoğul varyans analizi sonuçları	74
Çizelge 3.26. Yoğunluk üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları.....	74
Çizelge 3.27. Yoğunluk üzerine işlemin etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları.....	75
Çizelge 3.28. Örneklerin rutubet miktarları üzerine ağaç türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisini araştıran çoğul varyans analizi sonuçları.....	75
Çizelge 3.29. Rutubet miktarı üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları	76
Çizelge 3.30. Rutubet miktarı üzerine uygulanan işlemin etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

δ_r	: Hava kurusu yoğunluk
M_r	: Hava kurusu ağırlık
V_r	: Hava kurusu hacim
r	: Rutubet miktarı
M_r	: % r rutubetteki ağırlık
M_o	: Tam kuru ağırlık
d_{1min}	: Sonu kısa devre edilmiş boruda gerilim minimumu
d_{2min}	: Malzeme varken ölçülen gerilim minimumu (hat sonu kısa devre iken)
t	: Malzemenin kalınlığı
β	: İçi hava dolu borunun faz sabiti
β_d	: Malzeme varken faz sabiti
λ_c	: Kesim dalga boyu
λ_o	: Boşlukta ilerleyen dalganın dalga boyu
λ_b	: Boru içinde ilerleyen dalganın dalga boyu
S	: Duran dalga oranı
$\tan\delta$: Kayıp tanjantı
ϵ'	: Dielektrik sabiti
ϵ''	: Kayıp faktörü

KISALTMALAR

GHz	: Gigahertz
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
FF	: Fenol Formaldehit
LDN	: Lif Doygunluk Noktası
ISM	: Industrial Scientific Medical (Endüstriyel Bilimsel Tıp)

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1. GİRİŞ

Mikrodalga enerjisi kullanılan işlemlerde materyallerin dielektrik özellikleriyle ilgili verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, ağaç malzeme ve ağaç malzeme kökenli malzemelerin ısıtılması, kurutulması, tutkallanması ve ürün kalitesinin geliştirilmesi işlemlerinde mikrodalga teknolojisinin kullanımında önemli artış görülmüştür. Ayrıca ağaç malzemelerin yoğunluklarının, rutubetlerinin ve kusurlarının, üretim hatlarında malzemeye zarar vermeden teşhisinde de mikrodalgalar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Şahin, 2002).

Mikrodalga teknolojisinin kullanıldığı üretim hatlarında ilgilenilen malzemenin dielektrik özelliklerinin bilinmesi ile hızlı ve kaliteli ürün elde edilebilmektedir. Elde edilen ürünün rutubeti, yoğunluğu, kalitesi hakkında bilgilere hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır. Ayrıca ağaç malzemelerin rutubetlerini belirlemede kullanılan mikrodalga frekanslarda çalışan cihazların tasarımında doğru sonuçlara ulaşabilmek için ilgilenilen malzemenin dielektrik özellikleri ile ilgili veriler kullanılmaktadır (Şahin ve Ay, 2004).

Isıl işlem etkili bir ağaç malzeme modifikasyon yöntemi olarak değerlendirilir. Stamm'ın (Stamm, 1964) çalışması ısıl işlem teorisinin başlangıcı olarak kabul edilir. Ancak ısıl işlemin sistematik olarak araştırılması ve endüstriyel değer kazanması son yıllarda gerçekleşmiştir.

DeneySEL veya ticari olarak uygulanabilen farklı ısıl işlem yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar; ağaç malzemenin ısıtılması için buhar kullanılan Fin (ThermoWood) yöntemi, buhar ve sıcak havanın birlikte kullanıldığı Plato yöntemi, inert gaz

kullanılan Fransız (Rectification) yöntemi ve sıcak yağ kullanılan Alman (OHT) yöntemidir (Rapp, 2001).

Isıl işlemin ağaç malzemenin higroskopisitesini düşürerek ve boyutsal stabilizasyonunu arttırarak malzemenin fiziksel özelliklerini geliştirdiği bilinmektedir. Bu özelliklerdeki değişimin miktarı, ısıl işlem yöntemi, uygulama süresi ve sıcaklık gibi ısıl işlem sırasında uygulanan parametrelere ve kullanılan ağaç malzemenin anatomik yapısına bağlıdır. Tüm bu olumlu değişikliklerin yanında ısıl işlem, mekanik dirençlerde azalma gibi bazı olumsuz değişikliklere de neden olmaktadır.

Literatürde ısıl işlem ile ağaç malzemenin mantar çürüklerine direncinin de arttırılabileceği belirtilmiştir (Kandel v.d., 2002). Ancak Jämsä ve Viitaniemi ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin, toprakla temas eden uygulamalarda kullanımının uygun olmadığını belirtmişlerdir (Jämsä ve Viitaniemi, 2001). Ayrıca, ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin termitlere karşı dayanımı da, termit cinsine göre değişiklik göstermektedir (Finnish ThermoWood Association, 2003).

Isıl işlem görmüş ağaç malzeme dış cephe kaplaması, kapı, pencere, bahçe mobilyası gibi dış mekan uygulamalarında, yerdöşemesi, lambri, banyo ve sauna gibi iç mekan uygulamalarında gittikçe genişleyen kullanıma sahiptir (Viitaniemi, 2000).

Isıl işlem görmüş malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, malzemenin bu kullanım alanlarındaki performansını etkilemektedir. Elastikiyet modülü (EM), eğilme direnci (ED) ve basınç direnci (BD) gibi mekanik özellikler yük taşıyıcı yapı elemanları için önemlidir. Boyutsal stabilizasyon ise sauna, banyo ve bahçe mobilyaları gibi rutubetli ortamlarda kullanılan ağaç malzeme için önemli bir faktördür.

Bu çalışmanın amacı, ısıl işlemin ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerine etkisini ve ayrıca hızlı yaşlandırmanın doğal ve ısıl işlem görmüş ağaç malzemelerinin dielektrik özellikleri üzerine etkisini belirlemektir. Isıl işlem teknolojisi Türkiye’de yeni tanınan ve endüstriyel uygulaması gittikçe artan bir

uygulamadır. Bu nedenle ısıtıl işlem uygulanmış ağaç türlerinin ısıtıl işlem sonrası dielektrik özelliklerindeki değişmelerin belirlenmesi ile ağaç malzemelerin kalitelerinin ve fiziksel özelliklerinin tahribatsız olarak değerlendirilmesi hem akademik hem de endüstriyel olarak önemlidir. Ayrıca hızlı yaşlandırılmış ağaç malzemelerinin dielektrik özelliklerini araştırılması ile dış mekan uygulamalarında ısıtıl işlemleri ağaç malzemeler kullanıldığında kalitelerinin uygun ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

1.2. ISIL İŞLEMİN AĞAÇ MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Isıtıl işlem uygulaması ağaç malzemedeki daimi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesine sebep olur. Bu değişim hemiselülozun termik yıkımı sonucunda meydana gelir. Elde edilmek istenilen değişimler 150 °C’de başlar ve sıcaklığın artmasıyla her kademede sürer ve sonucunda rutubetten dolayı oluşan daralma ve genişleme düşer, biyolojik direnç artar, renk koyulaşır ve ağaç malzemenin birçok ekstraktif madde uzaklaşmış olur (Viitanen v.d., 1994).

Sıcaklık ısıtıl işlemde en önemli faktördür. Fakat ağaç türünün, ısıtıl işlem süresinin, işlem atmosferinin, rutubet miktarının ve sıcaklığın eşit dağılımının, sonuca direkt olarak etkisi bulunmaktadır (Viitanen v.d., 1994). Ağaç malzemenin termal deformasyonu 100 °C sınırından sonra başlar ve 200 °C’nin üzerinde yapısal bozunmalar oluşur, ağaç malzeme bileşenlerinin tamamen dönüşmesi ve buhar fazındaki degradasyon ürünlerinin açığa çıkması gibi oluşumlar söz konusu olmaktadır. 270 °C’nin üzerinde ise ağaç malzemenin piroliz ve yanma olayı başlar (Fengel ve Wegener, 1989).

1.2.1. Isıl İşlemin Amacı

Ağaç malzemenin olumsuz özelliklerini azaltmak veya tamamen yok etmek için geliştirilen yöntemlerden biride ısıl işlem yöntemidir.

Isıl işlem uygulaması ağaç malzemenin moleküler yapısında modifiye edilmesine yol açtığından performansını artırmaktadır. Isıl işlem uygulaması ile artan potansiyel nitelikler; mantar ve böceklere karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubeti içeriği, daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite, artan termal yalıtım kabiliyeti, boya adezyonu, dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresinde uzamadır. Buna ilaveten daha düşük kaliteli ağaç türlerine yeni pazarimkânı sunarak bunların daha kaliteli türlerle karşı rekabet gücünü arttırmakta ve sürdürülebilir orman kaynaklarını desteklemektedir. Isıl işlem uygulaması ayrıca kompozit malzemelerde liflere ve kaplamalara; dayanıklılık artırma, daha büyük bir stabilite, kullanım süresinde artma, ürün emniyetinde iyileşme, daha yüksek fiyat ederine sahip olma ve güvenilirlik gibi özellikler kazandırmaktadır. Strüktürdeki tüm bu değişimler insan ve çevre sağlığına zararlı kimyasallar ilave edilmeksizin elde edildiğinden ısıl işlem uygulaması emprenyeye ekolojik bir alternatif olarak düşünülmektedir (Çalıova, 2011).

1.2.2. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

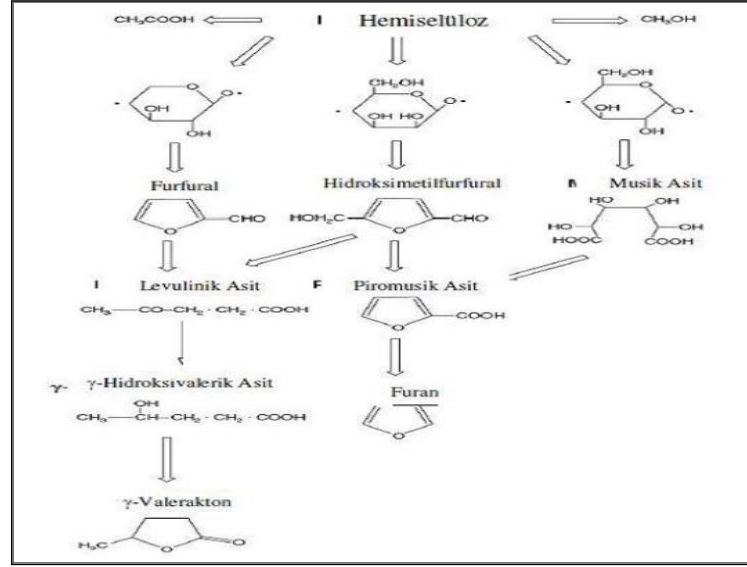
Yüksek sıcaklıklardaki ısıl işlem sürecinde hemiselülozların, diğer makro moleküler bileşenlerden daha çok degrade olduğu kabul edilir. Fakat selüloz ve ligninin direncini belirlemek zordur. Büyük bir çoğunlukla polisakkaritlerin azalışı bilhassa 180 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda başlamaktadır. Ancak bu durum ısıl işlem şartlarına bağlı olarak değişebilir. Selülozun parçalanması 270 °C'de yoğun olarak gerçekleşmektedir (Garrote v.d., 1999). Yapraklı ağaç hemiselüloz üniteleri (pentozanlar), iğne yapraklı ağaç hemiselüloz ünitelerine (heksozlar) göre daha kolay degrade olurlar. Bu yüzden yapraklı ağaçlar, iğne yapraklı ağaçlara göre daha hızlı parçalanırlar. Bunun sebebi de yapılan daha önceki çalışmalara göre yapraklı ağaçlarda daha fazla sayıda asetil grubunun olmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir (Millet ve Gerhrds, 1972; Hillis, 1975; Feist ve Sell, 1987).

1.2.2.1. Hemiselülozda Meydana Gelen Kimyasal Değişimler

Hemiselülozun degradasyonu, sıcaklık ve uygulama süresiyle artar (Bourgeois v.d., 1989). Ağaç malzeme ısıtıldığında ağaç malzemenin polimerik bileşenlerinin çoğu termal muamele sonucunda yumuşayarak parçalanmaya başlar ve bunun sonucunda çeşitli uçucu heterofilik bileşenler (furanlar vb.), asetik asit ve metanol oluşumu gerçekleşir. Beall (1969) tarafından, termogravimetrik analiz (TGA) kullanılarak izole edilmiş hemiselülozun nitrojen ve hava ortamı altında termal degradasyonu çalışılmıştır. Isıtmadan dolayı oluşan % 10'luk ağırlık kaybına neden olan sıcaklık 200 °C sıcaklıklarda İYA ve YA hemiselülozları, karşılaştırıldığında İYA hemiselülozunun termal muameleye daha fazla dirençli olduğu gözlenmiştir.

Hemiselülozların bileşenleri ve bileşikleri her ağaç türü için farklılık gösterir. Isıl işlem uygulamasından sonra ağaç malzeme daha az hemiselüloz içerir. Bunun sonucunda hassas mantar maddesi önemli derecede azalır ve ThermoWood'un çürüme mukavemeti, normal fırında kurutulmuş ağaç malzemeye göre artar. Hemiselülozun parçalanmasıyla su absorbe eden hidroksil gruplarının konsantrasyonu azalır ve boyutsal stabilizasyon normal fırında kurutulmuş olana göre artar. Hemiselüloz'un parçalanma sıcaklığı 200-260 °C, selülozun ise 240-350 °C arasındadır. Yapraklı ağaçlardaki hemiselüloz miktarı iğne yapraklılara göre daha yüksektir. Bu yüzden degrade olma yapraklı ağaçlarda iğne yapraklı ağaçlara göre daha kolay gerçekleşmektedir. Fakat hemiselüloz zincirlerinin parçalanması; selüloz zincirinin parçalanmasıyla meydana gelen direnç kayıpları gibi direnç üzerinde çok fazla bir etkiye sahip değildir. Onun yerine hemiselüloz zincirlerinin parçalanması ağaç malzemenin sıkıştırılabilirliğini artırır ve ağaç malzeme içinde baskı oluşumunu azaltır ve ağaç malzemenin sağlamlığında düşüşe sebebiyet verebilir (Mayes ve Oksanen, 2002).

Serbest radikal ortamında hemiselülozların degradasyonları için olası reaksiyon mekanizması Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



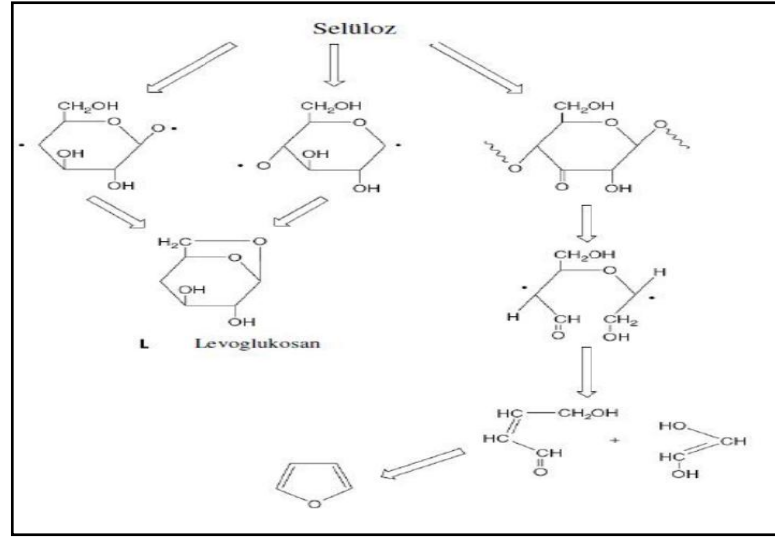
Şekil 1.1. Hemiselülozun olası degradasyon oluşumu (Fengel ve Wegener, 1989).

1.2.2.2. Selülozda Meydana Gelen Kimyasal Değişimler

Ağaç malzemenin en önemli bileşenlerinden olan selüloz yapısı gereği çok sağlam bir polimerdir. Selülozun degradasyonunun, hemiselülozlardan daha yüksek sıcaklıkta olduğu kabul edilmektedir. Selülozun amorf kısımları termal degradasyondan en fazla etkilenen kısımlardır. Bu bölgeler hemiselülozun heksozan bileşiklerine benzemektedir. Selülozun kristalin bölgeleri 300-340 °C sıcaklıklarda degrade olmaktadır (Kim v.d., 2001). Selülozun degradasyonu su varlığında yapılırsa amorf bölgeleri iyileştirerek daha stabil kristalin bölgeler oluşumunu sağlarlar (Fengel ve Wegener, 1989). Selüloz zincirlerinin parçalanması selülozun kristallik derecesinde ve DP'deki düşüşler, alkalın ortamda çözülebilen poligosakkaritlerin oluşumuna sebebiyet verir.

Fengel ve Wegener (1989)'e göre, termal olarak muamele edilmiş kayında selülozun polimerizasyon derecesindeki düşüş, sıcaklık 120 °C'nin üzerine çıktığı zaman görülmesine rağmen, izole edilmiş selülozun DP deki düşüş 100 °C sıcaklıklarda baş gösterir. Hava ortamında ısıtma, selülozun -OH gruplarının oksidasyonundan dolayı karbonil, karboksilik ve kısa zincirli hidroperoksit gruplarının oluşumunu meydana gelir. Uzun periyotlarda ısıtma ile karboksilik gruplardaki artışlarla karboksil gruplarının oluşumundan dolayı, selülozik materyallerin sarardığı gözlenir. CO₂ ve

CO selülozun 170 °C ısıtılmasıyla oluşur ve elde edilen sonuçlar, hava ortamında yapılan ısıtma nitrojen ortamında yapılarına göre daha fazla olmaktadır. 300 °C üzerinde piroliz olurken reaksiyon kinetiğinde bir değişim meydana getirir. Parçalanmış ürün formları diğer ağaç malzeme bileşenleriyle daha sonra ki zamanlarda reaksiyon verme kabiliyetinde olmalarına rağmen izole edilmiş selülozda bu durum kesin değildir. Levoglukozan, termal degradasyon boyunca selülozda oluşan ilk parçalanma ürünü olarak tanımlanabilir (Sanderman ve Augustin, 1964). Diğer oluşan ürünler anhidroglukozlar, furan ve furan bileşikleri Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Selülozun yapısı (Fengel ve Wegener, 1989).

1.2.2.3. Ligninde Meydana Gelen Kimyasal Değişimler

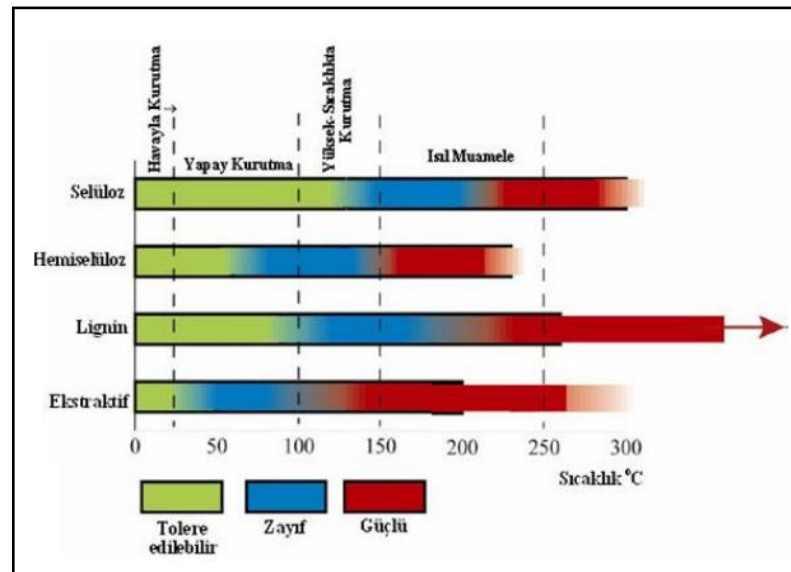
Hücre çeperi bileşeni olan lignin termal olarak en fazla stabil olan yapı taşıdır. Fakat ligninin termal bozunması düşük sıcaklıkta, değişik fenolik parçalanma ürünlerinin oluşmasıyla gerçekleşir (Sanderman ve Augustin, 1964). Isıtma boyunca polisakkarit materyallerin azalması malzemenin lignin içeriğinde artmaya yol açar.

Lignindeki önemli reaksiyonlar 280 °C’ ve daha yukarıdaki sıcaklıklarda meydana gelir (Haw ve Schultz, 1985). Lignin ağaç malzeme hücrelerini bir arada tutar. Ağaç malzeme hücrelerinin orta lamellerinin koyu materyali esas olarak lignin

materyalidir. Bundan başka lignin primer ve sekonder hücre çeperinde de bulunur. Isıl işlem sırasında fenil propan üniteleri arasındaki bağlar dağılarak ayrılır. Tüm ağaç malzeme bileşenlerinin yanında lignin sıcaklığa en iyi şekilde direnç gösterme özelliğine sahiptir. Lignin de kütle kaybı sıcaklık 200 °C'yi aştığı zaman düşmeye başlar ve aril-eter bağları kırılmaya başlar. Yüksek sıcaklıkta ligninin metoksil içeriği düşer ve ligninde bazı ünitelerin difenilmetan tipi ünitelere dönüştüğü göze çarpar. Bu reaksiyonun ağaç malzemenin renginin, reaktifitesinin ve bozunma gibi değişimlerin meydana gelmesinde önemli derecede etkisi vardır (Mayes ve Oksanen, 2002).

1.2.2.4. Ekstraktiflerde Meydana Gelen Kimyasal Değişimler

Yüksek sıcaklıklarda termal olarak muamele görmüş ağaç malzemenin asetik asit ve terpen emülsiyonu seviyeleri modifiye olmamış ağaç malzemeye karşılaştırıldığında emülsiyon seviyelerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir (Mayes ve Oksanen, 2002). Isıl işlem süresi boyunca ağaç malzeme yüzeyine ekstraktif maddelerin taşınması ile ağaç yüzeyinde hoş olmayan reçine lekelerine neden olabilir. Şekil 1.3'de ağaç malzemenin yapısı oluşturan ana bileşiklerin yüksek sıcaklıklardaki etkileşimi verilmiştir.



Şekil 1.3. Nemli şartlar altında ısıl işlem muamelesi ve kurumadan dolayı ağaç malzeme bileşiklerindeki genel değişim.

1.2.2.5. Isıl İşlem Süresince Ağaç Malzemenin Yapısında Asit Oluşumu

Doğal olarak, yeni kesilmiş bir ağaç malzeme genellikle 3–6 pH derecelerinde asidiktir. Bu durum yapısal bileşiklerdeki, yağ asitleri, asidik fenoller, düşük moleküllü asitler ve karbolik gruplar gibi ekstraktiflerle ifade edilir. (Ekman, 1979; Balaban ve Uçar, 2001). Bunun aksine İYA' da asidik asit oluşumu görülmez.(Risholm-Sundman v.d., 1998). Ağaç malzemenin ısıtılmasıyla başlayan asetik asitin tetiklenmesi hemiselülozun degradasyonunu başlatır. Asetik asit ve formik asit emülsiyonu 100°C'de Pinusradiatanın kurutulmasında belirlenmiştir. Ağaç malzemenin formik asit orijini net olmamakla birlikte analizde kolaylıkla yapılamaz. Bu bazı moleküllerin çok düşük ağırlıkta ve uçucu olmasından kaynaklanmaktadır. Yaklaşık olarak 150°C üzerindeki sıcaklıklarda, ağaç malzemede formik asidin oluşumu çok hızlıdır ve artan konsantrasyonlar da olduğu belirlenebilir. Asetik asit ısıl muamele süresince görülen belirgin asitler arasındadır (Aydemir, 2007).

1.2.3. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi

1.2.3.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Ağaç malzemenin ısıl işlemi; uygulanan metod, sıcaklığa maruz bırakılma süresine göre, ağaç malzemenin hacminde ve kütlede düşüğe sebep olur (Rusche, 1973; Fung v.d., 1974). Isıl işlem ile meydana gelen ağırlık kayıpları, mevcut hidroksil gruplarının azalmasıyla görülen ağaç malzemenin yapısındaki suyun kaybı, hücre çeperindeki maddesel kayıpların ve hemiselülozların parçalanmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir (Fengel ve Wegener, 1989; Viitanen v.d. 1994).

Isıl işlem uygulanmış ağaç malzeme, ısıl işlem uygulanmamış ağaç malzemeye göre daha az yoğunluğa sahiptir. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça ağaç malzemenin hacmi daralır, ağırlık kaybı artar dolayısıyla yoğunluk azalır. Isıl işlemden dolayı ağaç malzemenin hacimsel olarak daralmasının kütle kaybıyla arasında iyi bir ilişki bulunmuştur (Chang ve Keith, 1978).

Düşük sıcaklıkta ısı işlem uygulaması, uçucu ve bağlı suyun kaybıyla düşük kütle kaybına sebebiyet verir. Makro moleküler bileşiklerin kaybı 100°C sıcaklığın üzerinde gerçekleşir ve ilerleyen zaman ve sıcaklıklar kütle kaybını olumsuz etkilemektedir. Hücre çeperindeki materyallerin kaybı, eğer süreç optimum olmazsa fazla oranlarda büzülme oluşumu gerçekleştirebileceğinden ağaç malzemenin boyutsal değişiminde rol alabilir. (Millet ve Gerhards, 1972). Ayrıca boyuna yöndeki önemsiz artışın, radyal ve teğet daralmanın sebep olduğu strese katkısının bulunduğu ve ısı işleme maruz kalmış örneklerde teğet yönün, radyal yönle karşılaştırıldığında daha fazla daraldığı belirlenmiştir.

1.2.3.2. Boyutsal Değişim

Boyutsal stabilizasyondaki artış, termal olarak modifiye edilmiş ağaç malzemede elde dileyebilmektedir. Fakat gözlenen etkiler ısıtma işlemine bağlı olarak değişmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda boyutsal stabilizasyonun yalnızca kimyasal maddelerin kullanılmasıyla değil, ayrıca ısı muamelesiyle de sağlanabileceği sonucuna varılmıştır (Yıldız, 2007).

Isıl işlemin belirgin bir etkisi olarak; histerezin tipik sigmoid eğrileri korunurken higroskopitesinin azaltılmasıdır. Histerezin pozitif etkisi bağıl nemdeki düşük değişimin ısı işlem uygulanmış ağaç malzemenin rutubet içeriğinde bir değişim yapmamasıdır. Bu özellik ağaç malzemenin boyutsal stabilitesine katkı sağlamaktadır. Çünkü ağaç malzeme su adsorpsiyonu ve desorpsiyonu nedeniyle genişleme ve daralmaya uğramaktadır. Bundan başka su adsorpsiyonundaki azalma ağaç malzemenin tüm daralma ve genişlemesini azalttığından onun boyutsal stabilitesini arttırmaktadır. Genelde ısı işlem uygulanmış ağaç malzeme, düşük daralma ve genişleme değerleri ile oldukça hidrofobiktir (Boonstra, 2008).

1.2.3.3. Denge Rutubet Miktarı (DRM)

Isıl işlem, ağaç malzemenin denge rutubet miktarını (DRM) açık bir şekilde düşürür ve yüksek sıcaklık derecelerinde (220 °C) DRM ısı işlem uygulanmamış ağaç malzemeye göre yarı yarıya değişir. Isıl işlem uygulanan ağaç malzemenin hidroksil

grupları azaldığından dolayı ağaç malzemenin çeperi daha az su absorbe etmekte ve dolayısıyla ağaç malzemenin genişlemesi azalmaktadır. Radyal genişleme/teğet genişleme oranı sabit kalır teğet genişleme radyal genişlemenin iki katı kadardır (Mayes ve Oksanen, 2002).

1.2.3.4. Isı İletkenliği

Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin ısı iletkenliği düşmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin ısı iletkenliği değerleri kontrol numunelerine kıyasla % 20–25 azalır (Güller ve Korkut, 2007). Bundan dolayı ısıl işlem muamelesi ısı yalıtımının söz konusu olduğu kullanım alanlarında uygundur (Militz, 2002; Mayes ve Oksanen, 2002; Şahin Kol ve Sefil, 2011).

1.2.3.5. Renk Değişimi

Ağaç malzemede oluşan fiziksel değişim uygulanan metoda bağlıdır. Hava ortamında gerçekleşen kararma nitrojen ortamında yapılanlara göre daha fazla gerçekleşir. Isı etkisi ile ağaç malzemenin rengi koyulaşmaktadır. Ağaç malzeme kahverengi bir renk tonu ve karakteristik bir koku kazanır. Renk değişmesi işlem türüne ve özellikle işlemde uygulanan sıcaklık ve işlem süresine bağlıdır. Elde edilen renk tonu Ultraviyole (güneş ışını) ışınlarına karşı stabil değildir. Nispeten kısa bir süre açık hava ile temastan sonra yüzeyleri muamele görmemiş ağaç malzeme gibi grileşmektedir (Mayes ve Oksanen, 2002).

1.2.3.6. Koku Değişimi

Degradasyon ürünlerinin çoğu, ısıl işlem muamelesi süresince oluşur ve bunların bazıları hoş kokulu olmayabilir. Furfural gibi çoğu organik asitler ve aldehitlerin güçlü kokuya sahip olduğu bilinmektedir. Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin hoş olmayan kokusu muameleden 2-3 hafta sonra kaybolur (Mc Donald v.d., 2002).

1.2.4. Isıl İşlemin Ahşap Malzemenin Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi

Isıl işlem uygulaması esnasında, gerek ağaç malzemenin içinde gerekse de dışında meydana gelen yarıklar ve çatlaklar, ağaç malzemenin direncinde önemli derecede sorunlar açmakta buda mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Sıcaklık yükseldikçe olduğu bilinen formik ve asetik asit formasyonu öncelikle hemiselülozdan başlayarak birçok ağaç malzeme bileşenini tahrip eder.

1.2.4.1. Direnç ve Yüzey Pürüzlülüğü

Ağaç malzemenin direnci, sıcaklıkla birinci dereceden ilgilidir. Dirençteki lineer düşüşler 160 °C' den 200 °C' ye doğru değişen sıcaklıklardaki artışlarda daha net göze çarpar. Isının ağaç malzeme üzerinde etkileri 2 tipte toplanabilir. Artan sıcaklıkla oluşan ani etkiler ve ağaç malzeme polimerlerinin termal parçalanmasına neden olan kalıcı etkiler.

Isıyla oluşan ani etkiler düzeltilebilir. Fakat kalıcı etkiler düzeltilemez. Ani ve kalıcı etkilerin birleşimi daha fazla zarar meydana getirir. Sıcaklık 55-65 °C'de ilerleyen periyotlarda (2-3 ay) hemiselülozun depolimerizasyonu yavaşça baş gösterir (Feist v.d., 1973; L Van v.d., 1990). Bu süre ilerledikçe pirolizin 250 °C de hızlı gerçekleştiği görülmüş olan hücre çeperi polimerlerinin buharlaşması, havasız ortamdaki kömürleşme oluşumu ve hava varlığında gerçekleşen tutuşma artar. Yüksek sıcaklıkta ağaç malzemenin muamelesi, direnç, yüzey kabalığı ve aşınma direncinde bir düşüşe sebep olur (Chang ve Keith, 1978).

Yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerde düşüş göze çarpmaktadır. Direnç düşüşlerinin 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilerek minimize edilebileceği belirtilmiştir (Boonstra v.d., 1998). Dirençteki düşüş, yapılan ısıl işlemin tipinden ciddi oranda etkilenir. Ayrıca direnç kayıplarında hidro termal şartlarda ve hava ortamında, havasız ortamda karşılaştırıldığında, kapalı sistemlerde açık sistemlerde karşılaştırıldığında düşüş daha fazladır (Aydemir, 2007; Şahin Kol,

2010).

1.2.4.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü (MOE)

Ağaç malzemenin elastiki özellikleri üzerine, ısı işlem uygulamasının etkileri eğilme testi süresince elastikiyet modülündeki artmaya rağmen oldukça sınırlıdır. Isıl işlem uygulanmış ağaç malzeme, ısı işlem uygulanmamış ağaç malzemeye nazaran hücre çeperinde daha az bağlı suyun bulunması sonucu daha az higroskopik olması ve bu durumun ağaç malzemeyi daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilemektedir (Boonstra, 2008).

1.2.4.3. Eğilme Direnci (MOR)

Eğilme direncinde düşüş, genelde 220 °C'den sonra başlamaktadır. Sonuçlar, ısı işlem görmüş ağaç malzemenin, elastikiyet modülünün değişmesi üzerinde önemli olmadığını göstermiştir. Ağaç malzeme örnekleri % 45 ve % 65 nispi nemde kondisyonlanmaktadır. Ağaç malzemedeki budak bulunması ısı işlem görmüş ağaç malzemenin direnç değerlerini; ısı işlem uygulanmamış olana göre daha düşük olur (Aydemir, 2007).

1.2.4.4. Basınç Direnci

Basınç direnci, radyal yönde azalma ve teğet yönde az miktarda artma gösterirken, boyuna yönde açık miktarda artmaktadır. Boyuna yöndeki artma, ısı işlem uygulaması sonucu bağlı su miktarındaki azalmadan kaynaklanmaktadır (Şahin Kol, 2010).

Liflere dik basınç direnci, liflere paralel basınç direncinden çok daha düşüktür. Isıl işlem uygulamasında sonra, lignin hemiselüloz matriksi içindeki değişimler liflere dik yönde basınç direnci üzerine daha göze çarpan etkiye sahiptir. Lignin polimer ağının artan çapraz bağlanması, basınç direnci üzerine pozitif etkiye sahiptir. Isıl işlem uygulaması sonucu radyal yöndeki basınç direncindeki azalma ufak radyal çatlaklardan kaynaklanabilir (Boonstra, 2008).

1.2.4.5. Makaslama Direnci

Isıl işlem sonucu, makaslama direncindeki azalma orta lamelin % 20'sini oluşturan polyozların furfural polimerlerine kısmi olarak dönüşmesinden kaynaklanmaktadır (Stamm, 1946). Makro yapı düzeyinde, ısıl işlem, makaslama direnci üzerine etki etmektedir. İğne yapraklı ağaç türleri, dar yıllık halkalara sahip olmaları ve ilkbahar odunundan yaz odununa geçişin ani olması ile,yaz odununda teğet çatlaklara karşı hassastır. Kusurlar, ağaç malzemeye uygulanan dış kuvvetler, iç makaslama gerilmelerine sebep olduğu zaman daha hızlı veya artan bir kırılmaya yol açar (Korkut ve Kocaefe, 2009).

1.2.4.6. Çekme Direnci

Selüloz polimerinin depolimerizasyonu ve polimerizasyon derecesinin azalması, çekme direnci kayıplarının ana sebebidir. Isıl işlem uygulaması, selüloz polimerinin depolimerizasyonuna sebep olan, amorf selülozun az miktarda fakat dikkate değer bozunması gerçekleşmektedir. Bu durum ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin çekme direncinin azalmasında önemli bir sebeptir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

1.2.4.7. Şok Direnci

Isıl işlem görmüş ağaç malzemenin sok direnci değerlerinin normal kurutulmuş ağaç malzemedan daha az olduğu belirtilmektedir. Yüksek sıcaklıkta (220 °C ve 3 saat) test sonuçları ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin şok direncinin yaklaşık olarak % 25 kadar düştüğü belirlenmiştir (Mayes ve Oksanen 2002).

1.2.4.8. Renk

Isıl işlem uygulaması süresince, ağaç malzemenin de meydana gelen oksidatif ve hidrolitik renk değişim reaksiyonlarının sonucunda ahşabın rengi koyulaşır. Bu renk değişimi özellikle yapraklı ağaçlarda olumlu bir etki olarak görülür (Johansson,

2005).

1.2.5. Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi

Isıl işlem uygulanan çalışmalarda tahrip edici mikroorganizmalara karşı ağaç malzemenin biyolojik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebeplerinden ilki; ağaç malzemenin yapısında doğası gereği var olan suyun buharlaşması ikincisi; mevcut hidroksil gruplarının azalması ve son olarak bu grupların çürüklüğe daha dirençli olan gruplarla yer değiştirmesinden dolayı olduğu belirlenmiştir (Fengel ve Wegener, 1989). 180 °C' ye kadar olan uzun süreli ısıl işlem uygulamalarında, ağaç malzemenin genişleme ve daralmasını azaltmak mümkünken, çürüklüğe karşı dayanımı iyileştirmek mümkün değildir (Çaliova, 2011).

1.3. HIZLI YAŞLANDIRMANIN AĞAÇ MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ağaç malzeme için en sakıncalı olan etken açık hava koşullarıdır. Sıcaklık, nem, güneş ışığının değişik dalga boyları ve UV radyasyonu, bunların mevsimlere göre günün belli saatlerinde değişmesi ahşap malzeme üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Ahşap malzemenin bu olumsuz etkilerden kısmen de olsa korunabilmesi için, yüzeyleri boya ve vernik ile kaplanmalıdır (Özen ve Sönmez, 1996).

Genel bir kural olarak ağaç malzemede mikrobiyolojik bozunma diğer koşullar uygunsa, ağaç malzeme rutubetinin % 20'nin üstüne çıktığı durumda başlar. Ağaç malzemede meydana gelebilecek zararları önlemek ve kullanım ömrünü uzatmak için koruyucu kimyasal maddelerle muamele (emprenye) edilmesi ve ikincil bir işlem olarak iç ve dış koşullara göre korunması ve estetiğinin arttırılması (yüzey işlemleri) önem kazanmaktadır. Kullanılacağı yerde ulaşacağı denge rutubetine kadar kurutulan ağaç malzemenin boyutlarında önemli bir değişme olmamaktadır (Yalınkılıç, 1993).

Atmosferik koşullara bırakılan ağaç malzemede, havanın rutubet miktarındaki değişiklikler nedeni ile; çalısma ve bunun sonucu çatlama ve şekil değişikliği gibi

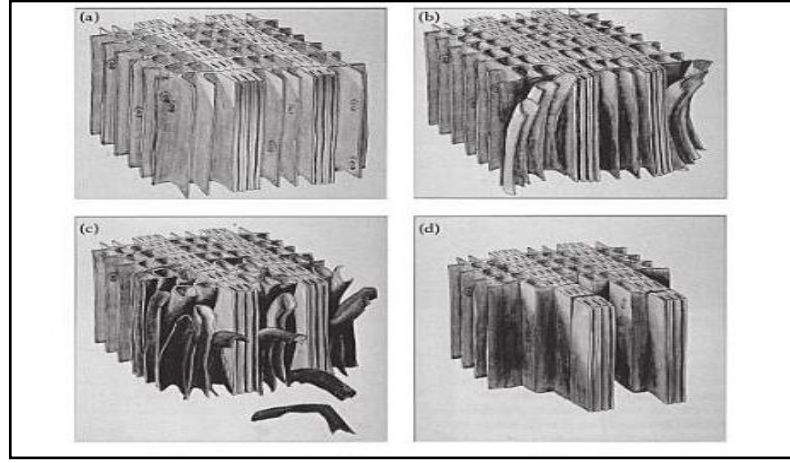
ıslanabilirliği etkileyen kusurlar oluşur. Ağaç malzemeyi değişik atmosferik şartlara karşı etkili şekilde korumak için, rutubeti engelleyici yüzey işlemi ile ağaç malzemenin bütün yzelerinin kaplanması gerekir (Bufkin ve Wildman, 1980).

Isıl işlem uygulanmış kerestenin yzeleri doğal olarak güneş işığı, yağmur ve rüzgar etkisi nedeniyle hava etkilerine (yaşlanma) uğramaya meyillidir. Bu durum kerestenin dayanıklılığını etkilemez fakat ağaç malzeme yzeleri belli bir süreden sonra grileşir. Bu renk değişimi ısıl işlem uygulanmış kerestede yaşlanma öncesi koyu kahverenginde olduğu için ısıl işlem uygulanmamış keresteye göre çok daha aşıkardır. Isıl işlem uygulanmış paneller direkt olarak gün işığına (ultraviyole radyasyonuna) maruz kalırsa yüzelerde ufak çatlaklar oluşur. Isıl işlem uygulanmış panellere pigment içeren yüzey işlemlerinin uygulanması yüzey çatlaklarını gidermek bakımından iyidir. Isıl işlem uygulanmış materyal doğal hava şartlarına maruz kaldığında yağmurla taşınan kirler veya havadaki mantarlar nedeniyle malzeme yüzeyinde küflenme görülmektedir. Pigmentsiz veya düşük organik uçucu bileşikleri içeren boya ve yağlar ısıl işlem uygulanmış malzemeyi dış hava şartlarına karşı korumaz. Bu kaplamalar zamanla aşınır. Paneller düşük organik uçucu bileşikleri içeren boya ile kaplanırsa şiddetli çatlama eğilimi gösterir. Isıl işlem uygulanmış malzeme çatlama, solma ve yüzey çalışmasını önlemek için mantar ve dış hava etkilerine karşı kaplanmalıdır. Kullanıcılar ahşabın koyu renk ve tekstürünün görülebilmesi için saydam veya yarisaydam kaplamaları tercih ederler. Maalesef bu kaplamalar opak kaplamalara göre daha düşük performansa sahiptir. Kaplı malzemedede küflenme ve mavi renklenme meydana gelmemektedir. Dış kaplama ve doğrama uygulamalarında iyi bir kaplamanın seçilmesi ve uygun ısıl işlem metodunun kullanılması yüksek performans elde dilmesini sağlar (Korkut ve Kocaeve 2009; Viitaniemi v.d. 2002).

1.3.1. Yaşlandırmanın Amacı

Özellikle bina dışı kullanımlarda olmak üzere güneş işığı, ısı ve nem, ağaç malzemenin yapılmış mobilya ve yapı elemanlarında her yıl oldukça büyük miktarlarda zararlara sebebiyet vermektedir. Bu zararlar ağaç malzemenin güneş işığı, ısı ve rutubete bağlı olarak çatlama, solma ve puslanma şeklinde olabilmektedir

(Anonim 2012). Ağaç malzemede UV ve rutubet etkisi sonucu meydana gelen deformasyon Şekil 1.4’de verilmiştir (Mc Donald vd., 1996).



Şekil 1.4. Ağaç malzeme yüzeyinde UV radyasyon ve rutubet etkisi ile meydana gelen bozunmanın şematik diyagramı (a: normal odun; b: yaşlandırmanın başlangıcında liflerin gevşemesi; c: lif kaybı; d: düşük yoğunluklu ilkbahar odununda oluklu görünüm) (Mc Donald v.d., 1996).

Aytin’e (2013) göre ağaç malzeme yaşlandırma testleri, doğal veya yapay yaşlandırma ortamları oluşturularak ağaç malzemede kullanım yerlerinde ortaya çıkabilecek deformasyonların seviyesini tespit etmek ve malzemenin başlangıçta sahip olduğu özellikleri daha uzun süre muhafaza edebilmesine yönelik çalışmalara destek sağlamak amacı ile uygulanmaktadır.

Doğal dış ortam yaşlandırma testleri özel olarak hazırlanmış olan yerlerde yapılmakta olup dış faktörlerin etki derecesi doğal olarak belirlenmektedir. Kullanım yerlerindeki sıcaklık farkları, çığ, kar, hava kirliliği, endüstri bacaları ve egzoz gazları ile oluşan asit yağmurları, rutubet, güneş ışığı (UV) vb. gibi faktörler ağaç malzemenin görünüşünü ve dayanıklılığını etkilemektedir. Yaşlandırma uygulamalarında mümkün olduğunca gerçeğine yakın test ortamı oluşturulmaya çalışılmakla birlikte ağaç malzemenin kullanım yerlerinde etkileşimde bulunduğu faktörlerin çeşitliliğinin elde edilecek sonuçların tam tamına gerçeği ile örtüşmesine engel teşkil edebileceği hususu mutlaka göz önünde tutulması gerekmektedir (Çakıcıer ve Sevim Korkut 2009).

Uzun yaşlandırma süresi ile kullanım yerlerindeki sıcaklık, nem, yağış ve UV gibi faktörlerin farklılığı doğal yaşlandırmanın olumsuz yönleri olarak dikkati çekmektedir. Bu nedenle ağaç malzeme üzerinde etki eden faktörlerin etki derecesi ve şeklinin test cihazları ile belli standartlar dâhilinde uygulanması güvenilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Aytin, 2013).

1.3.2. Dış Ortama Karşı Dirençle İlgili Testler

Yüzey işleme sistemi uygulanmış olan materyal yüzeylerin dış ortam direncini ölçmek amacıyla yapılan en güvenilir testler; doğal ortamda yürütülen testlerdir. Bu amaçla, dış ortam testleri, yüzey işleme sistemi katmanının kullanılacağı ortamlarda yapılabileceği gibi, tahrip edici etkilerin, yıllar genelinde kararlı ve şiddetli biçimde yaşandığı kimi bölgelerde kurulan test istasyonlarında da yapılabilmektedir (Anonim-Atlas, 2005).

1.3.2.1. Doğal Dış Ortamda Yaşlandırma Testleri

Doğal dış ortam yaşlandırma testlerinde kullanılan cihazlar yaklaşık 85 yıldır kullanılmaktadır. Bilim adamları tarafından yüzey işleme maddesi üreticileri ve kullanıcıları arasında ortak uygulamalar yapmak amacıyla bazı test bölgeleri standart olarak belirlenmektedir (Anonim-Atlas, 2005).

Bu konuda en yaygın çalışmalar, Florida'daki test istasyonlarında yapılan testlerdir. Yapılan çeşitli paralel çalışmalarda, Florida test istasyonlarında bir yılda oluşan yıpranma miktarının, Orta Avrupa'dakine göre iki yılda oluşan yıpranma miktarıyla benzer düzeyde olduğu görülmektedir (Anonim-Atlas, 2005).

1.3.2.2. Hızlandırılmış Doğal Dış Ortam Yaşlandırma Testleri

Yüzey işleme uygulanmış malzemelerin, dış ortam dirençlerinin belirlenmesi amacıyla hızlandırılmış laboratuvar testleri ve doğal ortam testleri uygulanır. Beklentinin, boya ve verniğin yıllar boyu sürecek dayanıklılığını ölçmek olduğu düşünülürse; doğal ortam testlerinin sonuçlarını beklemek çok uzun zaman

alacağından; hızlandırılmış dayanım testlerine başvurulur (Ketola ve Grossman, 1994).

Doğal test ortamlarındaki etkiyi artırarak test sürelerini kısaltmak amacıyla test istasyonlarına, bazı düzenekler yerleştirilmektedir. Bu yöndeki yaygın bir yöntem, doğal test ortamlarına aynalar yerleştirmek suretiyle, maruz kalınan ışık etkisini artırmayı hedefler. Bu yöntem, çoklu yansımanın artırdığı sıcaklık nedeniyle bağlı nemin düşmesine yol açtığı için, panellerin üzerine aralıklı olarak demineralize su püskürtülmek suretiyle nemin tahrip edici etkisinin artırılması da sağlanmaktadır (Jacques, 2000).

Hızlandırılmış doğal yaşlandırma testleri ile yapay yaşlandırma testleri ağaç malzeme de yaşlandırma etkisinin daha kısa sürede belirlenebilmesi için uygulanmaktadır.

1.3.2.3. Hızlandırılmış Laboratuvar Şartlarında Yaşlandırma Testleri

Dış ortam etkisini benzeştirme amaçlı hızlandırılmış laboratuvar testleri; güneş ışığının, sıcaklık farklılıklarının ve nem yoğunlaşması+yağmur etkisini taklit eden çevirimler içerir (Ketola ve Grossman, 1994).

Morötesi (UV), görünür ve kızılötesi (infrared) bölgeleri güneş ışınlarının zarar veren bölümü UV bölgesinde 295 nm'ye kadar olan kısa dalga boylarıdır. Atmosferin çözücü özelliği nedeniyle sadece % 5-7'ye kadar UV ışını yeryüzüne ulaşır. UV ışını üçe ayrılır: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) ve UV-C (200-280 nm)'dir. UV-C en çok zarar veren dalga boyu olmasına rağmen atmosfer tarafından emilir. UV-B, UV-A'dan daha fazla zarar vericidir (Koleske, 1995).

UV-A ve UV-B bölgeleri yüzey işleme sistemi katmanında bozunmaya neden olurlar. UV-B bölgesinde daha kısa dalga boylu enerji olan 91-102 kcal/mol en yüksek bozunmaya sebep olur. UV-B bölgesindeki enerji seviyesi polimer kaplamalarda karbon-nitrojen, karbon-karbon, nitrojen-hidrojen, karbon-oksijen, karbon-hidrojen

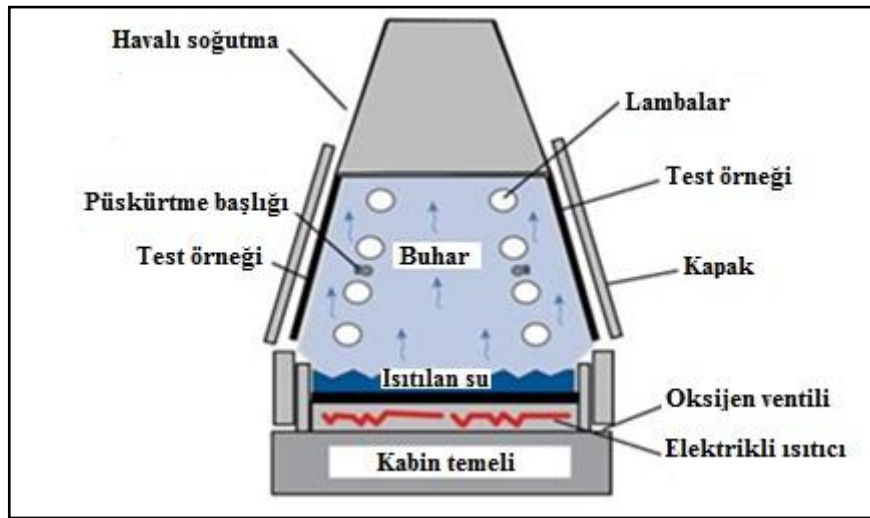
bağlarını kırarak düzeydedir. UV-A bölgesinde daha uzun dalga boyları olup, 71-91 kcal/mol'lük enerji karbon-nitrojen bağlarını kırarak güçte değildir (Koleske, 1995).

Hızlandırılmış testler ile doğal iklim koşulları karşılaştırıldığında benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Testlerde UV ışığına daha yakın ışımaya yaptıkları ve katmanlarda keskin değişiklikler meydana getirdikleri için genellikle, güneş ışığı karbon lambası, xenon lambası ve floresan lambaları tercih edilir (Koleske, 1995).

Işığın iklim etkisini hızlandırmak için civalı ışık kaynağı, açık ve kapalı karbon ışık kaynağı, floresan lamba ve güneş ışığının yoğunlaştırılıp yansıtılması yöntemleri kullanılır (Jacques, 2000).

(UV) Floresan Lamba ile Yaşlandırma

UV Testi, UV ışınları yayan lambalarla, yüzeyde yoğunlaşan nemin etkilerinin ardışık periyotlarla uygulandığı test kabinlerinde yapılır. Kullanılan ve UV ışını yayan floresan lambaların içerdikleri dalga boyları güneş ışığına göre daha yüksek enerji içerir (Şekil 1.5). Dolayısıyla, testin, doğal dış ortamda hiçbir zaman gündeme gelmeyecek tahribatlara yol açması söz konusu olabilmektedir. Ancak, tüm benzeşim sorunlarına rağmen UV testi yaygın olarak kullanılmaktadır (Tunçgenç, 2004).



Şekil 1.5. QUV yaşlandırma cihazı (Q-Panel).

UV ışınları ile yaşlandırma oldukça düşük başlangıç yatırım giderlerine sahip olup, sadece periyodik olarak değişmesi gereken floresan lambaları nedeniyle bakım harcamaları oldukça düşüktür (Çakıcıer ve Korkut 2009).

Borosilikat dahili ve harici filtrelerin kullanılması durumunda; ışınım spektrumu gibi doğal ışık kaynağını andırır. Veriler göstermiştir ki; xenon-ark lambasının kullanıldığı yaşlandırmadaki bozunum, UV-Florasana yaşlandırmadan daha yüksek aşınma göstermiştir (Çakıcıer 2007; Suits ve Hsuan 2003).

1.3.3. Hızlı Yaşlandırmanın Ağaç Malzemelerin Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

Deneysel çalışmalarda kullanılan örneklerin sıcaklıkları yükseltildiğinde; sıcaklık, oluşacak her çeşit kimyasal işlemi aynı derecede etkilemez. Aktivasyon enerjisi polimerlerin termal tahribatının ilk aşamasıdır. Sıcaklık yükseldiğinde termal tahribat boyunca oksidasyon ve hidroliz reaksiyonları aynı paralelde devam eder. Eğer aldıkları enerjiyle molekül bağları koparsa dönüşümsüz şekilde değiştirilirler. Örneğin, oksijen molekülden bir parça kopartır ve onu karbondioksit, su ve formaldehit gibi gaz haline dönüştürebilirse, dağılan orijinal moleküller kendilerini tekrar tamamlayamazlar. Sıcaklık özellikle ortamda rutubet olması halinde daha etkilidir. Saf sıcaklık etkisiyle oluşan tahribata termoliz, termolitik ya da pirolitik tahribat denir. Bu reaksiyon şartlarında oksijen işlem dışı tutulmuştur. Aslında termal tahribattan söz ederken bu tür reaksiyonlardan daha çok, termal-oksidatif tahribat akla gelir. Bu tür reaksiyonlar ise oksijenin katıldığı ya da bulunduğu termal destekli reaksiyonlardır. Aslında yüksek sıcaklıklarda birbirleriyle bağ kurarak sertleşmeye başlayan polimerlerde bile sıcaklık 32 °C’de sabit tutulursa önemli bir bağ kopması gözlenir (Feller, 1994).

1.3.4. Hızlı Yaşlandırmanın Ağaç Malzemelerin Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi

Isıl işlem uygulanmış kerestenin yüzeyleri doğal olarak güneş ışığı, yağmur ve rüzgar etkisi nedeniyle hava etkilerine (yaşlanma) uğramaya meyillidir. Bu durum

kerestenin dayanıklılığını etkilemez fakat ağaç malzeme yüzeyleri belli bir süreden sonra grileşir. Bu renk değişimi ısıtma işlemi uygulanmış kerestede yaşlanma öncesi koyu kahverenginde olduğu için ısıtma işlemi uygulanmamış keresteye göre çok daha aşikârdır. Isıtma işlemi uygulanmış paneller direkt olarak gün ışığına (ultraviyole radyasyonuna) maruz kalırsa yüzeylerde ufak çatlaklar oluşur. Isıtma işlemi uygulanmış panellere pigment içeren yüzey işlemlerinin uygulanması yüzey çatlaklarını gidermek bakımından iyidir. Isıtma işlemi uygulanmış malzeme doğal hava şartlarına maruz kaldığında yağmurla taşınan kirler veya havadaki mantarlar nedeniyle malzeme yüzeyinde küflenme görülmektedir. Pigmentsiz veya düşük organik uçucu bileşikler içeren boya ve yağlar ısıtma işlemi uygulanmış malzemeyi dış hava şartlarına karşı korumaz. Bu kaplamalar zamanla aşınır. Paneller düşük organik uçucu bileşikler içeren boya ile kaplanırsa şiddetli çatlama eğilimi gösterir. Isıtma işlemi uygulanmış malzeme çatlama, solma ve yüzey çatlaklarını önlemek için mantar ve dış hava etkilerine karşı kaplanmalıdır. Kullanıcılar ahşabın koyu renk ve tekstürünün görülebilmesi için saydam veya yarısaydam kaplamaları tercih ederler. Maalesef bu kaplamalar opak kaplamalara göre daha düşük performansa sahiptir. Kaplı malzemede küflenme ve mavi renklenme meydana gelmemektedir. Dış kaplama ve doğrama uygulamalarında iyi bir kaplamanın seçilmesi ve uygun ısıtma işlemi metodunun kullanılması yüksek performans elde edilmesini sağlar (Korkut ve Kocaefe 2009; Viitaniemi v.d. 2002).

Hızlı yaşlandırma işlemi süresince özgül ağırlığının düştüğünü, bu düşüşün mevcut hidroksil grubunun azalması sonucu odun bünyesinde tutulan su kaybının neden olduğunu belirlemiştir.

1.3.5. Hızlı Yaşlandırmanın Ağaç Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Odunun mekanik özellikleri rutubet içeriği ile yakından ilgilidir. Hücre çeperinin polimerik ana bileşenleri arasındaki hidrojen bağının azalması ve bağlı su miktarının artmasının engellenmesi nedeniyle kovalent bağ ve polimeriçi hidrojen bağları ile ilişkili olan odunun direnç özellikleri azalır. Isıtma işlemi uygulanmış odunun maksimum bağlı su miktarındaki azalma ve daha az higroskopik yapı kazanması

nedeniyle, ısıtma işlemi odunun mekanik özelliklerine pozitif katkı yapmaktadır. Ağaç malzemede ısıtma işlemi neticesinde liflere paralel basınç direncindeki değişimlerden ısıtma işlemi sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal oluşumlar sorumlu tutulmaktadır. Isıtma işlemi sonrasında odunun daha az higroskopik olması, bağlı su miktarındaki azalma, amorf selülozun kristalleşmesi ile kristal selüloz miktarının artması ve lignin polimer ağının çapraz bağlanmasındaki artış liflere paralel basınç direncinin artışına sebep olur (Boonstra 2008).

Hızlı yaşlandırma ile birlikte Mekanik dirençlerde önemli sayılabilecek azalmanın hemiselülozların bozunmasından ileri geldiği söylenebilir. Sonuç olarak başta hemiselülozlar olmak üzere hücre çeper bileşenlerinden kaynaklanan ağırlık kayıplarının mekanik dirençler üzerinde negatif yönlü etkisi olduğu kanatine varılabilir.

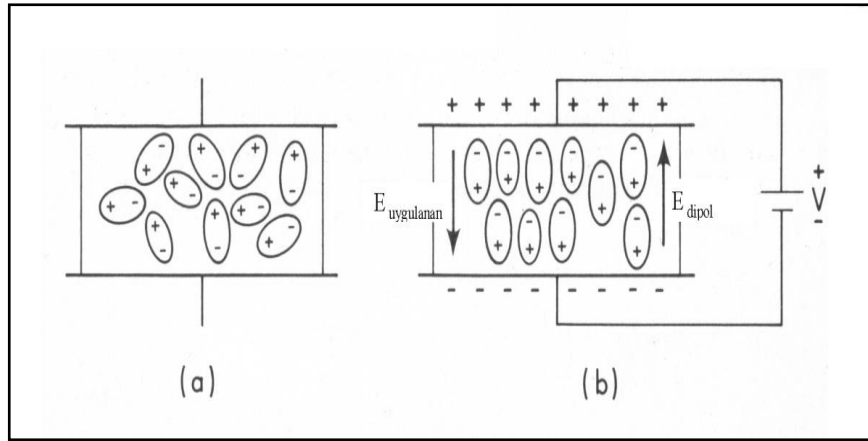
1.4. ELEKTROMANYETİK ALAN İLE AĞAÇ MALZEMENİN ETKİLEŞİMİ

Elektromanyetik alan, elektrik alanı ve manyetik alan olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin ağaç malzeme üzerindeki etkisi farklıdır. Ağaç malzeme üzerinde manyetik alanın etkisi önemsizdir ve pratik olarak dikkate alınmaz. Elektrik alanının etkisi ise çok güçlüdür ve ağaç malzeme içinde elektrik akımlarının oluşmasını sağlar (Şahin, 2002).

Ağaç malzeme çok sayıda, karmaşık ve elektriksel anlamda simetrik olmayan moleküllerden oluşmuştur. Elektriksel anlamda böyle moleküller pozitif ve negatif yüklerin toplamı olarak tanımlanabilir. Bir yüksek frekans elektrik alanında ağaç malzemenin davranışı dipoller ve iyonlarla belirlenir (Torgovnikov, 1993).

Tüm dielektrik olaylar uygulanan elektrik alanının etkisi altında bir malzemede meydana gelen polarizasyon yada kutuplaşma mekanizması ile ifade edilir. Dielektrik bir malzeme elektrik alanına yerleştirildiğinde eksi ve artı yüklerin kısmi bir ayrımı görülür ve bu dielektrik kutuplaşma (polarizasyon) olarak adlandırılır (Vermaas, 1971).

Böylece elektrik alanı uygulandığında, bir malzeme içinde zaten var olan rastgele yönelmiş dipoller ve elektrik alanı etkisiyle oluşan dipoller elektrik alanı yönüne zıt yönde olmak üzere kendilerini düzene sokarlar. Elektrik alanının pozitif yönden negatif yöne doğru yöneldiği kabul edildiğinden, malzemedeki dipoller uygulanan elektrik alanına zıt yönde yönelmeye zorlanır. Bu durumda, dipol moleküllerinin pozitif kısmı alan yönünde ve negatif kısmı alana zıt yönde olmak üzere yeniden düzene girer. Böylece yalıtkanın artı elektroda dokunan yüzünde eksi, eksi elektroda toplanan yüzünde artı yükler toplanır (Şekil 1.6). Bu şekilde, kutuplanmış bir dielektrikte dış alana ters yönde ve onu zayıflatan bir iç alan E_{dipol} oluşur. Bu zayıflamanın derecesi dielektriğin türüne bağlıdır yani onun dielektrik sabiti ϵ' katsayısı ile ilişkilidir (Şahin, 2002).



Şekil 1.6. Dipollerin elektrik alan şiddetine göre yönelmesi, a) Elektrik alanı yokken bir dielektrik kondansatörde rastgele dipol yönelişi, b) Sabit bir elektrik alanının, uygulanan etkisi altında dipollerin yer değişimi (Tinga ve Nelson, 1973).

Ağaç malzemenin toplam kutuplanması rutubetli heterojen dielektriklerde meydana gelen Elektron kutuplaşması, İyon (atom) kutuplaşması, dipol relaksasyon kutuplaşması, Kendiliğinden (ara yüzey) kutuplaşma, Elektroliz kutuplaşma olmak üzere 5 tip kutuplanmayı içermektedir. Bununla beraber, elektrik alan frekansına bağlı olarak genel kutuplaşma işlemi üzerinde her bir tür kutuplaşmanın etkisi farklıdır ve ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri de değişir (Vermaas, 1971; Torgovnikov, 1993). Bu frekansa bağlı olarak belirli şartlarda bazı tip kutuplaşmaların dikkate alınmamasına neden olur. Bu nedenle yüksek frekans ve mikrodalga frekansla kurutmanın gerçekleştirildiği 10^5 - 10^{10} Hz frekans sınırlarında

elektroliz (kendiliğinden) kutuplaşma (zaman sabiti 10^{-4} - 10^2) ve elektron ve iyon kutuplaşmanın (10^{-12} - 10^{-16}) etkisi önemsenmez. dipol relaksasyon ve iyon relaksasyon kutuplaşması ağaç malzemenin kutuplaşmasında ana rolü oynar (Torgovnikov, 1993).

1.4.1. Dielektrik Parametreler

Ağaç malzeme gibi yalıtkan bir malzemenin dielektrik özellikleri, malzemenin elektrik alanı ile etkileşimi sonucu, malzeme içinde meydana gelen kutuplaşma aracılığıyla elektriksel potansiyel enerjisinin soğrulması (yutulması) ve depolanması ve ayrıca elektrik alanı kaldırıldığında bu enerjinin bir kısmının yayılımı veya kaybı olarak ifade edilir. Bir materyalin enerji depolama ve soğrulma yeteneği sayısal olarak dielektrik sabiti ile tanımlanır (Şahin, 2002).

Bir dielektrik tarafından absorbe edilen bu enerji, kapasite vasıtasıyla çok kolay bir şekilde ölçülebilir. Bu yüzden bir malzemenin dielektrik sabiti, genellikle belirli bir kondansatörün iki elektrodu arasına yalıtıcı olarak bu malzemenin yerleştirilmesi durumunda elde edilen kapasitesinin, aynı kondansatörde malzeme olmaksızın yalıtıcı olarak vakum (pratik olarak hava) bulunması durumunda elde edilen kapasiteye oranıdır. Dielektrikteki enerji kaybı oranı genellikle kayıp tanjantı ile ifade edilir (Şahin 2002). Bir malzemenin dielektrik özellikleri, bir kondansatörle ilgili kavramlara benzer olarak, kompleks dielektrik sabiti ile tanımlanabilir.

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1.1)$$

veya

$$\varepsilon = \varepsilon' (1 - j \tan \delta) \quad (1.2)$$

yazılır.

$$\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon' \quad (1.3)$$

ise yalıtkanın kayıp açısı olarak tanımlanır.

Burada, gerçel kısım ε' , dielektrik sabiti olup elektrik alanı şeklinde bir malzeme depolanabilen enerjinin miktarını doğrudan belirtirken, sanal kısım ε'' kayıp faktörü olarak adlandırılır ve malzeme içinde ısı şeklinde yayılan enerjinin ölçüsüdür. Böylece dielektrik sabiti belirli bir elektrik şiddeti ile bir dielektrikte oluşturulan

elektrik yer değişimin veya elektrik alanı şeklinde malzemede depolanabilen enerji miktarının ölçüsüdür. Kayıp faktörü ise malzeme içinde ısı şeklinde yayılan enerjinin ölçüsüdür. Dielektrikteki enerji kaybı oranı ayrıca kayıp tanjantı ile de ifade edilir ve elektrik şiddeti E ve E nin oluşturduğu elektrik yer değişim E_{dipol} arasındaki faz farkı (δ) dır. Elektriksel anolojide, saf kapasite devresinde, akım ile uygulanan voltaj arasında açı 90° dir ve harcanan ortalama enerjinin sıfır olduğu kabul edilir. Böyle bir dielektrikte, elektrik yerdeğişim ve elektrik şiddeti arasında faz farkı yoktur ve ısı meydana gelmez. Isınma olmaksızın dielektrik olarak fonksiyonlarını yerine getiren böyle malzemeler, mükemmel dielektriklerdir ve mükemmel bir dielektrikte elektromanyetik dalgalar zayıflamadan yayılırlar. Ancak gerçek dielektriklerde, elektrik alan şiddeti ile yer değiştiren akım arasında bir faz farkı vardır ve bu dielektrikte ısı oluşmasına neden olur. Bu kayıp açısının tanjantı, kayıp tanjantı olarak tanımlanır ve elektriksel yer değişim ve elektrik alan şiddeti arasındaki faz farkı ve böylece oluşan ısının göstergesini ifade eder (Şahin 2002).

1.4.2. Dielektrik Bakış Açısından Ağaç Malzemenin Yapısı

Rutubetli ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerinde etkili olan faktörler, hücre ve yapısı, tam kuru ağaç malzeme maddesinin kimyasal bileşimi ve rutubetli ağaç malzemedeki su miktarıdır (Şahin, 2002; Torgovnikov, 1993). Tam kuru ağaç malzemenin hücre çeperi maddesi ve havadan oluştuğu kabul edilir. LDN rutubet miktarının altında rutubete sahip ağaç malzemede bu karışıma 3. bir bileşen, yani hücre çeperi içerisinde tutulan bağlı su, eklenir. LDN rutubet miktarını aşan rutubet miktarlarında bu karışıma 4. bir bileşen olarak serbest su eklenir. Negatif sıcaklıklarda serbest su ve bağlı suyun yerini buz alır (Şahin, 2002).

1.4.2.1. Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri

İlkbahar ve yaz odunu traheidlerin hücre çeperlerinin dielektrik sabiti birbirinden farksızdır. Ancak özışını hücre çeperlerinin dielektrik sabiti traheidlerin dielektrik sabitinden % 4-12 daha düşüktür. Liflere paralel yöndeki hücre çeperi maddesinin dielektrik sabiti liflere dik yönden % 2-5 daha yüksektir (Norimoto, 1976).

Ağaç malzeme yapısı bir ağaçtan diğerine değişim göstermekle birlikte hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerinin ağaç türünden bağımsız olduğu kabul edilir (Şahin, 2002). Çizelge 1.1’de mikrodalga frekanslarda hücre çeperinin dielektrik özelliklerinin sıcaklığa göre değişimi verilmektedir.

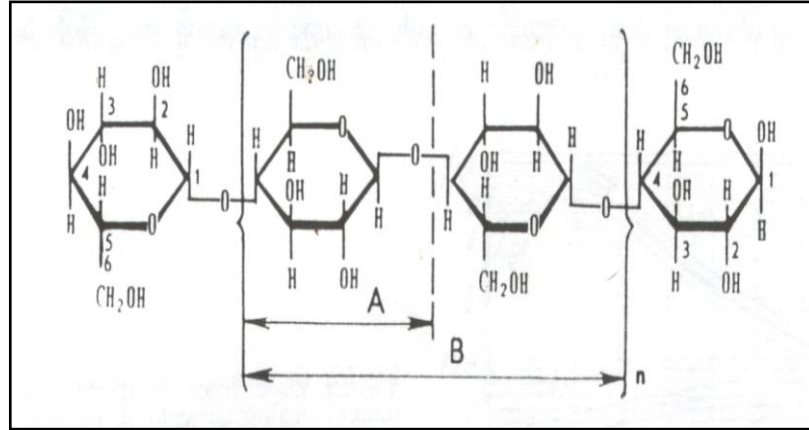
Çizelge 1.1. Mikrodalga frekanslarında hücre çeperinin dielektrik özellikleri (Torgovnikov, 1993).

Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri												
F (Hz)	Sıcaklık (°C)											
	-40		-20		20		40		60		100	
	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\perp}'	$\tan\delta_{\perp}$
10^9	3.3	0.028	3.4	0.030	3.5	0.049	3.6	0.053	3.7	0.057	3.8	0.065
0.043	3.1	-	3.2	-	3.3	-	3.4	0.048	3.5	0.053	3.6	0.064

Selüloz, hemiselülozlar ve lignin hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerini belirleyen polar polimerlerdir. Bunların ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri kendilerine has özelliklerine ve ağaç malzemedeki miktarlarına bağlıdır (Şahin, 2002; Torgovnikov, 1993; Norimoto, 1976; Norimoto ve Yamada, 1972). Bir seri polar gruba sahip yüksek moleküler ağırlıklı bu maddeler elektrik alanının etkisi altında dipolrelaksasyon kutuplaşmasına maruz kalırlar. Bu tip kutuplaşma makro moleküllerin hareketsiz kısımlarına bağlı polar grupların yer değişiminden kaynaklanır (Şahin, 2002).

Selüloz hücre çeperinin büyük bir kısmını oluşturduğundan (% 40 – 50), hücre çeperinin dielektrik özelliklerini büyük ölçüde selülozun dielektrik özellikleri belirler. Selüloz uzun zincir molekülü, anhidrid glikoz moleküllerinin boyuna primer molekül bağları ile birbirine bağlanmasından $(C_6H_{10}O_5)_n$ oluşur. Polimerizasyon denilen bu olayda (n) selüloz zincirindeki anhidrid glikoz birimlerinin sayısını (polimerizasyon derecesi) gösterir. Bir selüloz zincir molekülünde bulunan anhidrid glikoz birimlerinin sayısı değişik olup 5000-30000 arasındadır (Şekil 1.7). Selüloz β -D-glukozidik bağlarını içerir ve selülozun dielektrik özelliklerini β -D-glukozun özellikleri belirler. Selülozdaki her bir glukoz ünitesi 3 hidroksil grubu içerir (Şahin, 2002).

Mikrofibriller selüloz zincir moleküllerinin yan yana gelmesi ile oluşmuştur. Mikrofibriller içerisindeki selüloz zincir molekülleri her yerde birbirine paralel değildir. Birbirine paralel olarak uzandıkları bölgelerde selüloz kristalitleri meydana gelmekte ve bu kısımlara kristal bölge denmektedir. Kristal bölgeler arasında selüloz zincir molekülleri kısmen paralel veya düzensiz bir hal almaktadır. Bu kısımlara ise amorf bölge denir (Berkel, 1970; Hafızoğlu, 1982).



Şekil 1.7. Selülozun formülü: A β -D glukoz ünitesi; B sellobioz.

Selülozun dielektrik özellikleri, kristal ve amorf bölgelerin oranlarına bağlıdır. Kristalite derecesinin artışıyla dielektrik sabiti azalır. Bir elektrik alanının etkisi altında selülozun kutuplaşma işlemine amorf bölgedeki selüloz moleküllerindeki hidroksil grupları (-OH) ve metilol gruplarının (-CH₂OH) yöneysel kutuplaşması katkıda bulunur yani selülozun kutuplaşmasından bu gruplar sorumludur. Bu işlem dipolrelaksasyon kutuplaşmasının etkisinden kaynaklanır (Şahin, 2002).

Ağaç malzeme hücre çeperinin % 20 – 35'ini hemiselülozlar oluşturur. Hemiselülozların ana türlerinden biri olan glukomannanın dielektrik özellikleri selülozun dielektrik özelliklerine yakındır. Bu hem glukomanan hem de selülozdaki metilol gruplarının olmasına bağlanır. Ksilanmetilol grubu içermez ve bu nedenle dielektrik özellikleri düşüktür (Norimoto, 1976; Norimoto and Yamada, 1972).

Ağaç malzeme hücre çeperinde lignin oranı % 15 – 25 kadardır. Lignin üç boyutlu fenilpropan birimlerinden oluşmuş, yüksek molekül ağırlıklı karmaşık bir polimerdir. Ligninin dielektrik özellikleri selüloz ve mannanın dielektrik özelliklerine kıyasla

oldukça küçüktür. Ligninde -OH ve -CH₂OH olmak üzere iki grubun dipol hareketi dielektrik kaybına neden olmaktadır (Torgovnikov, 1993; Norimotoand Yamada, 1972).

Hücre çeperinde ayrıca inorganik bileşikler de bulunmaktadır. Ancak ağaç malzeme içinde çok az miktarda buldukları için (yaklaşık % 0,3) bu maddelerin ağaç malzemenindielektrik parametreleri üzerindeki etkisi çok küçüktür (Torgovnikov, 1993; Vermaas, 1974).

1.4.2.2. Hava, Serbest Su ve Bağlı Suyun Dielektrik Özellikleri

Hava mükemmel bir dielektriktir ve kayıp tanjantı sifıra eşittir. Normal şartlar altında havanın dielektrik sabiti 1'e eşittir ve frekanstan bağımsız olduğu kabul edilir (Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002).

Suyun dielektrik özellikleri frekans ve sıcaklıkla birlikte büyük ölçüde değişir. Mikrodalga frekanslarında suyun dielektrik özellikleri çizelge1.2'de verilmektedir

Ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerinde bu maddelerin kendi dielektrik parametrelerinin etkisi, her bileşenin kendine has özellikleri, nispi miktarları ve karşılıklı etkileşimlerinin büyüklüğü ile belirlenir (Şahin, 2002).

Çizelge 1.2. Mikrodalga frekanslarda suyun dielektrik özellikleri (Torgovnikov, 1993).

Suyun Dielektrik Özellikleri									
Frekans (Hz)		Sıcaklık (°C)							
		-30	-20	-10	0	20-25	40-45	65	85
10 ⁹	ϵ'	-	-	-	86	77	71	64	57
	$\tan\delta$	-	-	-	0.102	0.06	0.034	0.025	0.019
2.4x10 ⁹	ϵ'	49	69	79	82	77	71	64	57
	$\tan\delta$	0.92	0.62	0.40	0.25	0.13	0.09	0.06	0.04
5.8x10 ⁹	ϵ'	21	37	54	65	68	66	62	55
	$\tan\delta$	1.62	1.2	0.80	0.59	0.31	0.22	0.17	0.13
10 ¹⁰	ϵ'	10.6	17.6	29	38	55	59	59	54
	$\tan\delta$	2.03	1.75	1.33	1.03	0.54	0.40	0.32	0.26
3x10 ¹⁰	ϵ'	6.1	7.0	8.9	12.3	23.2	35.6	-	-
	$\tan\delta$	1.2	1.66	1.89	1.84	1.37	0.94	-	-
10 ¹¹	ϵ'	5.55	5.64	5.82	6.16	7.5	10.1	-	-
	$\tan\delta$	0.41	0.63	0.90	1.19	1.61	1.7	-	-

1.4.3. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler

1.4.3.1. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi

Bir elektrik alanının uygulanmasından sonra moleküllerin alanı takip etmesi için gereken süre relaksasyon süresi olarak tanımlanır (Şahin, 2002). Mikrodalga frekanslarda bir maddenin molekülleri ile elektromanyetik alan arasındaki etkileşim karakteri düşük frekanslardakinden daha farklıdır ve mikrodalga frekanslarda elektrik alan titreşim periyodu moleküllerin relaksasyon süresinden daha yüksektir. Bu yüzden alan şiddeti vektörü ile yer değişim vektörü arasında bir faz farkı meydana gelir. Bu frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabitinde azalmaya neden olurken, kayıp tanjantı değerinde artışa neden olur (Şahin, 2002).

1.4.3.2. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık ağaç malzemenin dielektrik özelliklerini oldukça büyük oranda etkiler. Çünkü sıcaklıktaki artışla birlikte relaksasyon süresi azalır. Sıcaklıkla birlikte dielektrik sabitindeki artış, ağaç malzemeye bağlı bulunan dipol gruplarının yani amorf bölgedeki metilol gruplarının varlığından kaynaklanır (Yokoyama ve Norimoto, 1996). Ağaç malzemenin kutuplanabilirliği sıcaklığın artışıyla sürekli bir şekilde artar (James, 1975). Sıcaklık yükseldikçe maddenin iyonları arasındaki bağlar zayıflar ve iyonlar kolay yer değiştirir. Böylece sıcaklığın etkisiyle dipoller enerji kazanırlar ve böylece yeniden yönelmelerine katkıda bulunulur ve sonuçta dielektrik sabiti artar. Ayrıca frekansla birlikte güçlü bir ilişki içindedirler (James, 1977).

Mikrodalga frekanslarda (1- 18 GHz), tam kuru ağaç malzemenin dielektrik sabiti ve kayıp faktörü sıcaklıkla lineer bir şekilde artar (Kabir v.d., 2001). Mikrodalga frekanslarda sıcaklığın artışıyla birlikte rutubetli ağaç malzemenin dielektrik sabitinin arttığı ve bunun rutubet miktarı arttıkça daha belirginleştiği belirlenmiştir.

Rutubetli ağaç malzemenin kayıp faktörü ve kayıp tanjantının sıcaklık bağımlılığı ise komplike bir durum gösterir. Kayıp faktörü ve kayıp tanjantı ise sıcaklığın artışıyla düşük rutubet miktarlarında artış göstermekte ancak daha sonra birden azalmaktadır (Tinga, 1969).

1.4.3.3. Ağaç malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi

Rutubet, ağaç malzemede dielektrik özellikler üzerinde en etkili olan ve birçok durumda dielektrik özellikleri belirleyen maddedir (Şahin, 2002).

Ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerinde rutubet miktarının etkisi bütün frekans sınırlarında oldukça belirgindir. Bunu ifade etmek için olayın temelini oluşturan 2 faktörün kombinasyonu dikkate alınır. Bir yandan ağaç malzemenin rutubet miktarının artışıyla ağaç malzeme içindeki su miktarı artar ve su ağaç malzeme maddesinden yüksek dielektrik özelliğine sahip olduğundan dolayısıyla dielektrik özellikler artar. Diğer yandan, su miktarının artışıyla hücre çeperinin ve selülozun polar bileşikleri daha yüksek rutubet miktarında daha yüksek hareket serbestliği elde ederler. Rutubetlendirme işlemi, selülozun molekülleri arasında su moleküllerinin penetrasyonuna neden olur ve böylece enine bağların zayıflamasına yol açar (Şekil 1.8). Bu durum dipollerin hareket yeteneğinin artmasına neden olur (Şahin, 2002). Rutubetlenmenin başlangıç aşamalarında bu iki faktörün kombinasyonu dielektrik özelliklerde hızlı bir artışa neden olurken, LDN'a yaklaşırken polar grupların önemi artık kalmaz çünkü onların devir serbestliği maksimuma ulaşır. LDN'dan sonra esas rolü serbest suyun dielektrik davranışı ve ağaç malzeme içindeki hacmi belirler (Şahin, 2002).

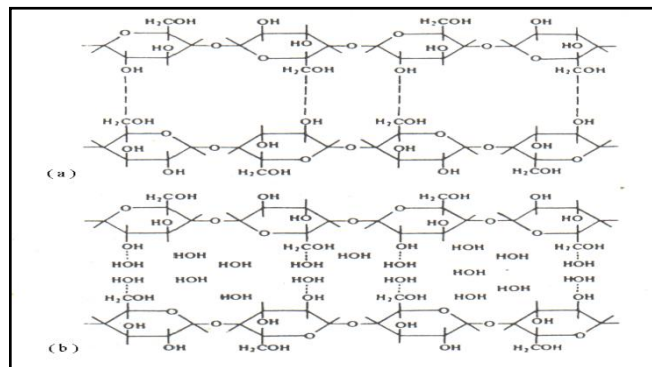
Şekil 1.8. Selülozun moleküler bağları üzerine rutubet miktarının etkisi, a) İkincil kuvvetlerle bağlı selüloz makromolekülleri, b) Su molekülleri tarafından zincirler arası bağların kırılması (Torgovnikov, 1993).

LDN üzerinde ağaç malzemenin dielektrik sabiti ve kayıp faktöründeki değişim karakterini esas olarak serbest suyun dielektrik özellikleri ve nisbi hacmi belirler. Rutubet miktarının artışıyla ağaç malzeme içindeki su miktarı artar ve bu da yüksek dielektrik davranışa yol açar (Şahin, 2002).

1.4.3.4. Ağaç Malzeme Lif Yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi

Tam kuru ve rutubetli ağaç malzemenin liflere paralel yöndeki dielektrik özellikleri liflere dik yönden genellikle daha büyüktür. Teğet ve radyal yön arasındaki fark ise daha az belirgin olup ağaç malzeme türüne, rutubet miktarına göre değişmektedir. Ayrıca frekans arttıkça aradaki fark azalmaktadır (Şahin, 2002).

Liflere paralel yönde dielektrik özelliklerin daha yüksek olması Norimoto ve Yamada (1971) tarafından dipolun bitişik kesime geçiş olasılığının, elektrik alanı liflere paralel yönde olması durumunda dik yönlerle kıyasla daha büyük olması ve liflere paralel yönde bitişik kesimler arasındaki potansiyel bariyerlerin yüksekliğinin dik yönlerdekinden daha büyük olması ile açıklanır. Norimoto ve Yamada (1972),



ayrıca dielektrik heterojenliğe kimyasal bileşiklerinin dielektrik özelliklerin neden olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmaya göre, ağaç malzemenin dielektrik özelliklerinin liflere paralel yönde büyük ölçüde selüloz ve mananın dielektrik özellikleri ve enine yöndeki dielektrik özelliklerinin ise önemli ölçüde ligninin

dielektrik özelliklerinin etkilediğini belirtmişlerdir. Selülozun hidroksil grupları liflere paralel yönde daha yüksek devir serbestliğine sahiptir (Kabir v.d. 1998).

Norimoto vd. (1978), ayrıca bu üç yöndeki farklılığın yaz odunu yüzdesi, hücre çeperi alanının hücre alanına oranı ve hücre düzenine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Teğet yönle kıyaslandığında radyal yönde dielektrik parametrelerin daha büyük olması radyal yönde uzanmış özışınları ile açıklanmıştır ve özışınlarının etkisinin hacimleriyle orantılı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ağaç malzeme örneğinde yaz odunu oranı arttıkça dielektrik özellikler yükselir ki bu ağaç malzeme yoğunluğundaki artışa bağlıdır (Norimoto v.d., 1978). Ağaç malzemenin yoğunluğunun artışıyla birlikte polar grupların sayısı artacağından doğrudan dielektrik özelliklerde artış gözlenir (Şahin, 2002).

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOT

2.1. MATERYAL

2.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada ülkemizde ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Sarıçam [*Pinus sylvestris* L.], Doğu Kayını [*Fagus orientalis* Lipsky], Sakallı Kızılağaç [*Alnus glutinosa* subsp. *Barbata* (C.A.Mey.) Yalt] ve Uludağ Gökarnarı [*Abies bornmülleriana* Mattf] deneme materyali olarak kullanılmıştır. Aşağıda çalışmaya konu olan odun türleri hakkında genel bilgiler verilmektedir.

2.1.1.1. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)

Çamlar, Pinaceae familyasının en önemli cinslerinden biridir. Ülkemizde 5 tür ile temsil edilmektedir. Sarıçam 30-45 m boy, 0,6-1,0 m çap yapmakta, gövde şekli düzgün ve dolgun olup, kullanılabilir gövde uzunluğu 18-20 m'dir. Diri odun 5-10 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı sarı ve kırmızımsı kahverengindedir. Kesimden sonra daha da koyulaşır. Yıllık halka sayıları belirgin ve hafif dalgalıdır. Yaz odunu koyu renkli olup, açık renkli ilkbahar odunu ile kontrast renk yapar. Taze halde iken reçine kokuludur. Dekoratif bir görünüşü vardır. Odunu oldukça sert ve orta ağırlıktadır (Bozkurt ve Erdin 2000).

Sarıçam odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 67, tam kuru yoğunluğu 0,49 g/cm³ ve hava kurusu yoğunluğu 0,52 g/cm³'tür. Elastikiyet modülü 11700 N/mm², eğilme direnci 98 N/mm², liflere paralel çekme direnci 102 N/mm², liflere paralel basınç direnci 54 N/mm²'dir (Bozkurt ve Erdin 2000).

Traheidler 1800-4500 µm uzunlukta, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş oldukça ani, ilkbahar odununda radyal çeperler üzerinde kenarlı geçitler büyük ve tek sıralıdır. Boyuna paranzim bulunmaz. Öz ışınları heterojen tek sıralı olup reçine kanalı ihtiva eder öz ışınları kısmen 2-5 sıralıdır. Karşılaşma yerlerindeki geçitler pencere tipindedir (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Sarıçam odunu % 74,3 holoselüloz, % 52,2 selüloz, % 26,3 lignin ve % 8,2 pentozan ihtiva etmektedir (Fengel ve Wegener, 1984). Ayrıca alkol-benzen çözünürlüğü % 3,7, % 1'lik NaOH çözünürlüğü % 19,4, sıcak su çözünürlüğü % 4,3 ve soğuk su çözünürlüğü de % 2,8'dir (Serin vd, 2003). Sarıçamın selüloz oranını öz odunda % 52,8, diri odunda % 56,5, α-selüloz oranını öz odunda % 45,2, diri odunda % 50 ve lignin oranını öz odunda % 26,6, diri odunda % 28,3 olarak bulmuşlardır. Ayrıca soğuk su, sıcak su, alkol-benzen ve % 1'lik NaOH çözünürlüğü değerlerini sırasıyla öz odun ve diri odun için % 2,8-2, % 4,4-3,2, % 4,7-2,5 ve % 13,2-19,4 olarak tespit etmişlerdir (Hafizoğlu ve Usta, 2005).

2.1.1.2. Doğu Kayını [*Fagus orientalis* Lipsky]

Doğu Kayını'nın genel coğrafi yayılışı, Bulgaristan, Türkiye, Kafkasya ve İran'dır. Ülkemizde en geniş yayılışı ve en iyi gelişimini Karadeniz Bölgelerinde yapar. Doğu Kayını 30-40 m'ye kadar boy ve 1 m'ye kadar çap yapabilen dolgun ve düzgün gövdeli birinci sınıf bir orman ağacıdır (Malkoçoğlu, 1994).

Odunu kırmızımsı beyaz renktedir. 80 yaşın üzerindeki ağaçlarda kırmızımsı kahverenginde gayri muntazam şekilli, iç kısımda dalgalı şeritli ve kırmızı yürek oluşumu adı verilen bir öz odun mevcuttur. Doğu Kayını odunu genellikle dağınık traheli olması nedeniyle ilkbahar ve yaz odunu arasında kesin bir sınır görülmez. Özışınları radyal yüzeylerde koyu renkli geniş aynacıklar, teğet kesitte kırmızımsı iğ şeklinde lekeler halindedirler. Sert ve ağır bir odunu vardır (Malkoçoğlu, 1994)

İlkbahar odunu traheleri (teğet çap: 64,9 µm) yaz odunu trahelerine (teğet çap: 55,1 µm) kıyasla belirgin şekilde büyük çaplı değildir. Traheler çoğunlukla normal trahe hücrelerinden (544,6 µm) meydana gelmiştir. Lif şeklindeki trahe hücrelerine (936

µm) az da olsa rastlanmaktadır. Perforasyon tablası basit ve merdiven şeklindedir. Trahelerde gruplaşma ilkbahar odununda daha yüksek orandadır. Lif dokusu traheit lifleri, libriform lifleri ve traheidlerden oluşur. Özışınları üniseri ve mültiseridir. Mültiseri özışınları çok geniştir ve yıllık halkaların sınırında genişleyerek yayçizerler. Doğu Kayını odununu oluşturan elemanların diri odundaki oranları ortalama olarak; trahe % 33,9, libriform lifi % 45,78, özışını % 20,20 ve boyuna paranzim % 5'tir (Malkoçoğlu, 1994).

Doğu Kayını odununun tam kuru yoğunluğu $0,645 \text{ g/cm}^3$ ve hava kurusu yoğunluğu $0,669 \text{ g/cm}^3$ tür (Bozkurt, 1992). Doğu Kayını odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 56,1, hacim yoğunluk değerine ($0,538 \text{ g/cm}^3$) göre alabileceği en yüksek su miktarı % 119,2 ve tam kuru özgül ağırlık değerine ($0,645 \text{ g/cm}^3$) göre alabileceği en yüksek su miktarı % 118,5'tir (Malkoçoğlu, 1994).

Kayın odununun % 34 - 46'sını selüloz, % 12 - 23' ünü lignin, % 18 - 26' sını pentozan ve % 1,9' u alkol-benzolde çözünen ekstraktif maddeler oluşturur (Bozkurt ve Erdin, 1989).

2.1.1.3. Sakallı Kızılağaç [*Alnus glutinosa subsp. Barbata* (C.A. Mey.) Yalt]

Kızılağaç'ın çok geniş bir coğrafi yayılımı vardır. Tüm Avrupa, Kuzey Afrika, Kafkasya, Türkiye, İran, Sibirya ve Japonya'da yayılım göstermektedir. Ülkemizde, Trakya, Marmara çevresi, Batı Karadeniz ve kısmen de Doğu Karadeniz Bölgeleri ile Muş, Bitlis gibi Doğu ve Güney Doğu Anadolu'da doğal olarak yetişmektedir (Güller, 1998).

Kızılağaç odunu, yeni kesildiğinde koyu kirli sarı renktedir. Yıllık halkalar düzenlidir. Enine kesitte traheler çıplak gözle zorlukla görülürler. Radyal kesitte özışınları, koyu zemin üzerinde gümüş renğinde ve parlaktır. Teğet kesitte yalancı özışınları uzun kahverengi çizgiler şeklinde görülürler (Merev, 1984).

Trahelerin oduna katılım oranı % 28,05'dir. Traheler yıllık halka içinde dağınık dizilişindedir. Geniş yıllık halkalarda ilkbahar ve yaz odununu ayırmak oldukça

kolaydır. Yıllık halka sınırında trahelerin teğet çapları ilk oluşan trahelerden sonra giderek artmaktadır. Traheler tek bulunabilir, fakat çoğunlukla gruplar oluştururlar. Ortalama trahe uzunluğu 0,819 mm'dir. Ortalama trahe çapı ilkbahar odununda 59,4-66,7 mikron, yaz odununda 42,1-29,5 mikrondur. Perforasyon merdiven şeklindedir. Boyuna paranzim hücreleri dağınık biçimde tek tek veya ikili gruplar halinde görülürler. Boyuna paranzimin oduna katılım oranı % 8,29'dur. Özışınları homojen ve üniseridir. Özışınlarının oduna katılım oranı % 13,97'dir. Odun lifi, traheid ve traheid lifi bulunur. Kızılağaç odununda % 49,67 oranında lif dokusu yer almaktadır. Yalancı özışınlarına oldukça sık rastlanır (Merev, 1983; Güller, 1998).

Kızılağaç odununun tam kuru yoğunluk değeri 0,454-0,502 g/cm³ ve hava kuru yoğunluk değeri 0,482-0,511 g/cm³ arasında değişmektedir. Sakallı Kızılağaç odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 68,3'tür. Kızılağaç odununun içerisine alabileceği en yüksek su miktarı tam kuru özgül ağırlığa (0,454 g/cm³) göre % 186,46, hacim yoğunluk değerine (0,399 g/cm³) göre ise % 183,96'dır (Güller, 1998).

Kızılağaç odununda selüloz miktarı % 43,64, lignin miktarı % 24,57, pentozanlar % 22,94 ve kül miktarı % 0,49'dur (Hafizoğlu, 1982).

2.1.1.4. Uludağ Göknaarı [*Abies bornmülleriana* Mattf]

Uludağ Göknaarı türü Türkiye'ye özgü bir endemik takson olup, ünlü botanikçi Bommuelller'in adını almıştır. Uludağ Göknaarı, çoğunlukla 40 metreye kadar boylanabilen birinci sınıf orman ağacı durumundadır. Piramidal gelişme gösterir, tepeden tabana kadar çok sık dallıdır. Gövde kabuğu gridir. Ortalama 15-16 cm boyunda ve çapında kırmızı –kahverengi kozalakları vardır (Bozkurt, 1992).

Genel yayılışı alanı Kızıl ırmağın denize döküldüğü yer ile Uludağ arasında kalan Batı Karadeniz Bölgesi ile Kocaeli havzasıdır. Bu kesimdeki dağlar, Doğu Karadeniz Dağlarında olduğu gibi sıra dağlar karakterinde olmadığından, bu Göknaar taksonunun yayılışı da sürekli olmayıp kesintili bir durum gösterir (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Uludağ göknarı odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 73, tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak 0,4 g/cm³; hava kurusu yoğunluk 0,429 g/cm³; hacim yoğunluk değeri 0,35 g/cm³; radyal daralma % 4,3; teğet daralma % 8,6; hacmen daralma % 13'tür (Merey, 1984).

Mekaniksel özelliklerinden liflere paralel basınç direnci ortalama olarak 37 N/mm²; eğilme direnci 73 N/mm²; elastikiyet modülü 8300 N/mm²; çekme direnci 62 N/mm² ve makaslama direnci 5 N/mm²dir (Merey, 1984).

2.2. METOT

2.2.1. Örnek Ağaçların Seçilmesi ve Dene Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan ağaç malzeme seçiminde TS 4176 esaslarına göre hareket edilmiştir (TS 4176, 1984). Gövde oluşumu bakımından fazla dallı, budaklı, lif kıvrıklığı, anormal tepe formu göstermemesine, gövdelerin normal ve çürüksüz olmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca, iklim özellikleri bakımından çok rutubetli veya çok kurak, devamlı rüzgar etkilerine açık ekstrem yetiştirme ortamlarından kaçınılmıştır. Böylece çalışmada yararlanılan ağaçların, bulunduğu alanı en iyi temsil edebilecek ve iyi gövde yapısına sahip düzgün ağaçlardan olmasına özen gösterilmiştir. Böylece, türlere ait yetiştirme yerlerinden örnek ağaçlar seçilmiştir. Seçilen ağaçlar üzerine numaraları yazılmış ve kuzey yönleri işaretlenmiştir. Çalışmada yararlanılan örnek ağaçların alındığı yerler ve ağaç türlerine ait genel özellikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri.

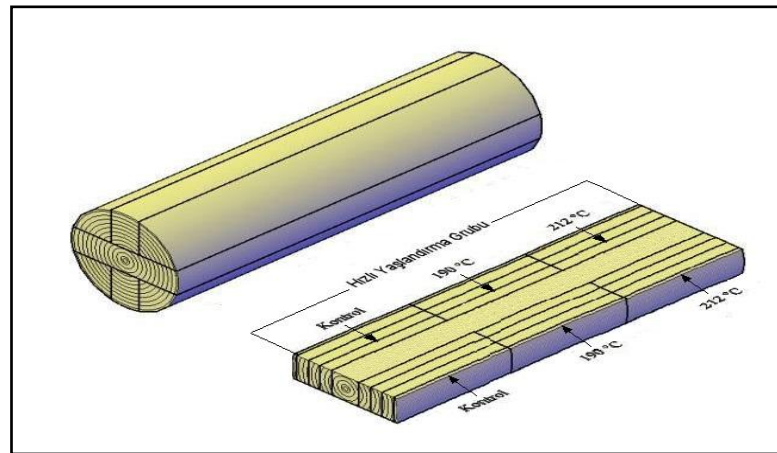
Ağaç Türü	Bölge Adı		Yaş (Yıl)	1.30 m'de Çap (cm)	Yetiştirme Yeri Yüksekliği (m)
Sarıçam	Bolu	Düzce	78	45	870
Doğu Kayını	Bolu	Düzce	83	47	870
Sakallı Kızılağaç	Giresun	Tirebolu	77	34	6
Uludağ Göknarı	Bolu	Düzce	72	43	870

Deneme alanlarında, seçilen her ağacın dipten itibaren 1,30 m yükseklikten sonra 3 m' lik gövde kısımları çıkartılarak her parça üzerine gerekli bilgiler işaretlenmiştir. Bu aşamadan sonra örnek ağaçlardan elde edilen 3 m'lik tomruklar Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü atölyesinde TS 2470 esaslarına uygun olarak kesilmiştir (TS 2470, 1976).

Bu çalışma 2 temel konuyu inceleme altına almaktadır: Bunlardan biri ısı işleminin odunun dielektrik özellikleri üzerine etkisi, bir diğeri de hızlı yaşlandırmanın normal ve ısı işlem görmüş odunun dielektrik özellikleri üzerine etkisini belirlemektir.

Tomruklardan kerestelerin elde edilmesi sırasında yukarıda belirtilen iki esas çalışma aşamaları dikkate alınarak gruplandırma yapılarak kesim gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.1'de test örneklerinin elde edildiği taslakların tomruktan alınış şekli verilmektedir.

Bu bağlamda tomruklar kesilirken ısı işleme tabi tutulacakları test fırınının ölçülerine uygun boyda ve yapılacak deneylerin örnek boyutları hesaplanarak en az fire verecek şekilde 5x10x100 cm boyutlarında kesilmiştir. Gruplar arasındaki farklılıkları en aza indirmek amacıyla, bu işlem yapılırken kontrol, 190 °C ve 212 °C de ısı işlem görecektir örnekler aynı kereste üzerinden birbirini takip edecek şekilde elde edilmiştir. Daha sonra tüm taslak keresteler teknik kurutma yapılarak rutubetleri % 9-13 seviyesine getirilmiştir.



Şekil 2.1. Kontrol ve test örneklerinin elde edildiği taslakların tomruktan alınışı

Teknik kurutmaya tabi tutulan kerestelerden ısıtım işlem uygulamasına tabi tutulacak taslak keresteler, Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş' nin Gerede' de bulunan Thermowood Kereste Üretim Fabrikasına götürülmüştür. Burada kerestelerin fırına konmadan önceki rutubetleri ölçülmüş ortalama olarak % 12 rutubet içerdikleri tespit edilmiştir.

2.2.2. Örneklere Isıtım İşlem Uygulanması

Bu çalışmada, örnekler Thermowood ısıtım işlem metodu ile çalışan Gerede Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş'de ısıtım işleme tabi tutulmuşlardır. Burada bulunan bilgisayar kontrollü test fırınında 190 °C'de 1,5 saat ve 212 °C'de 2 saat süreyle her dört odun türü ve her sıcaklık için ise, ayrı ayrı olmak üzere ısıtım işleme tabi tutulmuştur. Isıtım işlem Thermowood Handbook'ta tanımlanan metod esas alınarak uygulanmıştır ve bu ısıtım işlem uygulaması 3 aşamada gerçekleştirilmiştir: Birinci aşamada, test fırınının sıcaklığı 100 °C'ye yükseltilmiştir. Odunun iç ısısı aynı sıcaklığa yaklaştığında, fırının sıcaklığı dikkatli bir şekilde hedeflenen ısıtım işlem sıcaklığına yükseltilmiştir. Hedeflenen ısıtım işlem sıcaklıkları 190 °C ve 212 °C dir. Her bir tür için hedeflenen sıcaklığa ulaştıktan sonra sıcaklık, 190 °C için 1,5 ve 212 °C için 2 saat süre ile sabit tutulmuştur. Isıtım işlem boyunca test fırınına otomasyon sistemi ile fırındaki odunun yapısına ve fırın sıcaklığına bağlı olarak koruyucu buhar verilmiştir. Isıtım işlemden sonra odunu kontrollü olarak soğutmak için kondisyonlama (denkleştirme) periyodu uygulanmıştır. Bu aşamada sıcaklık 80-90 °C düşürülmüştür. İlâveten odunun nihai rutubet içeriğinin % 4-7 olması için nemlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Isıtım işlem görmüş keresteler daha sonra Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Ana Bilim Dalı Atölyesine getirilmiş ve burada 2 ay bekletilmiştir. Sonra yapılacak olan deneylerin örnek boyutlarına göre kontrol ve ısıtım işlem görmüş kerestelerden kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir test için 30 örnek hazırlanmıştır. Örneklerin budaksız, reçinesiz, büyüme kusurları bulunmayan, sağlam, düzgün lifli ve diri odun kısmı olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra tüm örnekler % 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ± 3 bağıl neme sahip iklimlendirme dolabında 1 ay bekletilmişlerdir.

2.2.3. Örneklere Hızlı Yaşlandırma Uygulanması

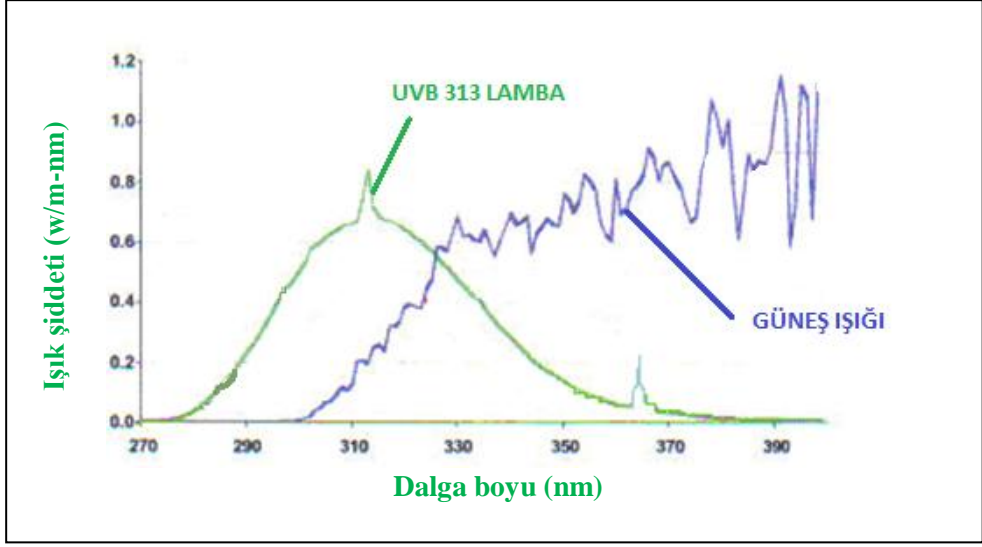
Hızlı yaşlandırma işlemi, Gerede Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş'nin, AR-GE laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Her bir odun türünün kontrol ve ısıl işlem varyasyonlarından 3'er adet olmak üzere 10X75X150 mm ölçülerinde toplamda 48 adet deney numunesi hızlı yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur.

Yaşlandırma işlemi, Q-LAB firmasının ürettiği QUV Hızlandırılmış Yapay Test (Accelerated Weathering Tester-Model QUV/Spray) cihazında 288 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Yıldız (2002) ve Aydin (2003), yaptıkları çalışmalarda iklim koşullarına bağlı olarak 288 saati kullanmışlardır. Bu çalışmada da bu standart esas alınmıştır. Yaşlandırmada ASTM G154 standardı esas alınmak sureti ile Q-Lab firmasının Türkiye distribütörü Feza Kimya A.Ş. tarafından QUV hızlandırılmış yaşlandırma cihazı için modifiye edilmiş program kullanılmıştır. Modifiye program birbirini takip eden 3 bölümden oluşmakta olup Çizelge 2.2'de yaşlandırma uygulamasında kullanılan program ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hızlandırılmış yaşlandırma programı.

İşlem Türü	Süre (Dakika)	Sıcaklık (°C)	Işık Şiddeti (W/m ²)	Dalga Boyu(nm)
UV	60	60	0.67	310
Yağmurlama	10			
Kondisyonlama	240	50		

Yaşlandırma testlerinde Q-LAB firmasının ürettiği UV-B 313 EL tipi lambalar kullanılmıştır. UV-B 313 lambaları 0,67 W/m² ile 1,23 W/m² arasında ışık şiddetine sahip ve 310 nm dalga boyunda yaşlandırmanın en yüksek hızda gerçekleştirilmesine uygun kısa dalga UV üretirler. Bu özellikleri ağaç malzeme üzerindeki deformasyonu oldukça hızlandırır. UVB 313 EL lambalarının güneş ışığı ile karşılaştırmalı dalga boyu analizi Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2. Güneş ışığı ve UVB 313 EL ışığı dalga boyu analizi (Anonim 2012).

UVB 313 EL lambaları ortalama 1200 saatlik kullanım ömrüne sahiptirler. Her bir yaşlandırma döngüsünün 1.basamağında 60 dakika UV uygulaması yapılmıştır. UV-B 313 EL lambaları ile test örnekleri arasında 45 mm mesafe bulunmaktadır. Hızlandırılmış yapay yaşlandırma test cihazında UVB 313 EL lambaları yerleşim ve yerine montajı Şekil 2.3’de görülmektedir.

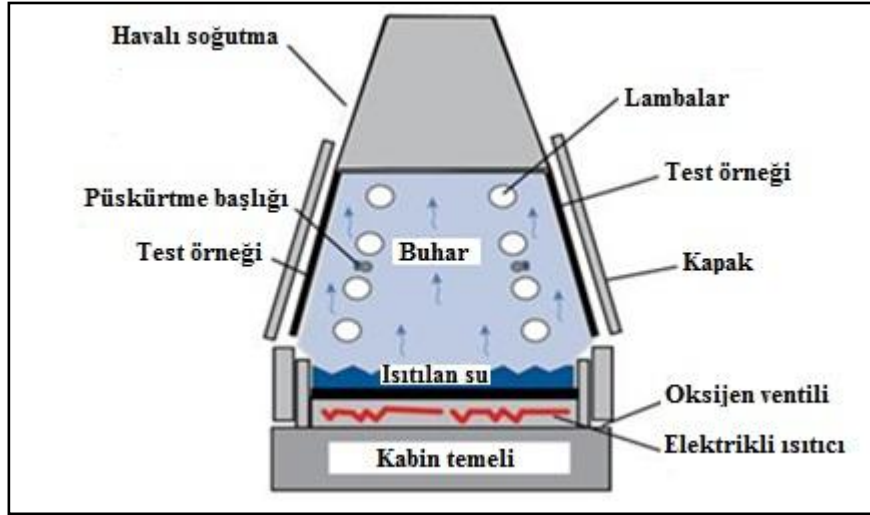


Şekil 2.3. UV-B 313 Lambaların montajı (Anonim 2013).

Yaşlandırma uygulamasında her bir döngüde 10 dakika süre ile ağaç malzeme üzerinde termal şok ve tahribata yol açan yağmurlama yapılmıştır. Yağmurlama

sistemi 12 adet su püskürtme başlığından(her bir yüzde 6'şar adet) oluşur. Püskürtme başlıkları UVB 313 EL arasına yerleştirilmiştir. Yağmurlama sistemi çalıştığında UV kapatılır.

Yaşlandırma uygulamasında 3.adım 4 saat süre ile kondisyonlama olarak uygulanmıştır. Kondisyonlama ortamında 50 °C sıcaklık ve %100 oranında bağıl neme ulaşılır. Kabin içerisindeki buhar cihazın tabanındaki suyun elektrikli ısıtıcılar yolu ile elde edilir. QUV yaşlandırma cihazında kondisyonlama işleminde buhar oluşumu ve elemanlar Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Hızlandırılmış yaşlandırma test cihazı kondisyonlama (Anonim 2012).

Yaşlandırma işlemi tamamlanan her bir yaşlandırma varyasyonuna ait 10X75X150 mm ölçülerindeki test örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklık ve 65 ± 5 bağıl neme sahip iklimlendirme odasında 3 ay bekletildikten sonra yaşlandırma sonrası dielektrik özelliklerin belirlenmesi için uygun boyutlara getirilmiştir.

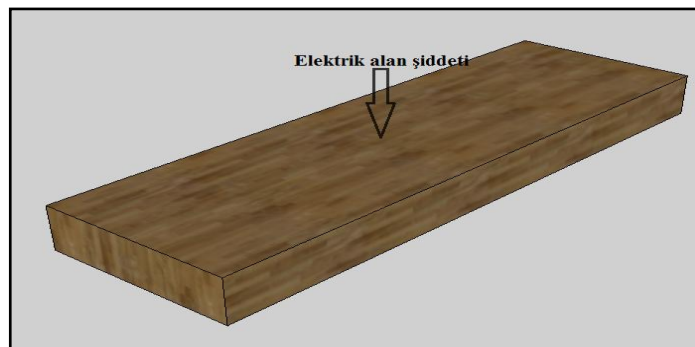
2.2.4. Dielektrik Ölçümler için Deney Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmanın birinci aşamasını kapsayan, ısı işleminin odunun dielektrik özellikleri üzerine etkisi 9,8 GHz ve 2,45 GHz frekansında belirlenmiştir.

Ayrıca çalışmanın ikinci aşamasını kapsayan hızlı yaşlandırmanın doğal ve ısı işlem görmüş ağaç malzemenin dielektrik özelliklerine etkisi 9,8 GHz frekansında belirlenmiştir. Hızlı yaşlandırma sisteminin örnek boyutlarının, 2,45 GHz frekansı için gerekli olan örnek boyutlarına elverişli olmaması nedeniyle hızlı yaşlandırmanın etkisi belirlenirken, bu frekansın etkisi göz ardı edilmiştir.

Her iki çalışma kapsamı için hazırlanan örnekler, 20 ± 2 °C ve $\% 65 \pm 3$ bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında denge rutubetine ulaşmaları için 1 ay bekletildikten sonra her bir grup için 30'ar örnek olmak üzere kesin ölçülerde örnek kesimleri gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin boyutları dalga kılavuzunun enine kesitine uygun olacak şekilde dikdörtgen kesitli olup, ölçüm elektrik alan şiddeti ağaç malzemenin teğet yönünde olacak şekilde hazırlanmıştır. Dalga kılavuzunun enine kesit boyutları 9.8 GHz'de $2,28 \times 1,02$ cm ve 2.45 GHz'de $8,55 \times 4,25$ cm' dir. Kalınlık olan üçüncü boyut frekanstaki çeyrek boru dalga boyuna uygun olup 9.8 GHz için 1,03 cm ve 2.45 için 4,385 cm'dir. Böylece, kesin örnek boyutları 9.8 GHz frekansı için $2,28 \times 1,02 \times 1,03$ cm ve 2.45 GHz frekansı için $8,55 \times 4,25 \times 4,385$ mm olacak şekilde teğet örnek kesim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerinin elektrik alan şiddetine göre pozisyonları Şekil 2.5 verilmiştir.



Şekil 2.5. Örneklerinin elektrik alan şiddetine göre pozisyonu.

Bu işlemi takiben uygun boyutlarda kesilen tam ölçülerdeki örnekler homojen denge rutubetine sahip olmaları amacıyla ölçüm anına kadar tekrar $\% 65 \pm 3$ bağıl nem ve 20 ± 2 °C sıcaklıkta bekletilmişlerdir.

2.2.5. Hava Kurusu Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Her grup için gerçekleştirilen ölçümlerden hemen önce test örneklerinin ağırlıkları (M_r) hassas terazi ile ± 0.001 gr duyarlılıkta tartılmış ve boyutları mikrometre ve kumpas yardımıyla ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra örneklerin yoğunluk değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\delta_r = \frac{M_r}{V_r} \quad (2.1)$$

2.2.6. Rutubet Miktarının Belirlenmesi

Ölçümden hemen önce test örneklerinin ağırlıkları (M_r) hassas terazi ile ± 0.001 g duyarlılıkta tartılmış ve boyutları mikrometre ve kumpas yardımıyla ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Daha sonra dielektrik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri takiben test örnekleri $103 \pm 2^\circ\text{C}$ de değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuştur. Daha sonra örneklerin ağırlıkları ± 0.001 g ve boyutları ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Daha sonra örneklerin yoğunluk değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$r = \frac{M_r - M_o}{M_o} \times 100 \quad (2.2)$$

2.2.7. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi

2.2.7.1. Ölçüm Frekansları

Elektromanyetik dalgaların gittikçe yaygın kullanılmaları karşısında, frekans karışıklığını önlemek için ISM adı verilen belirli frekanslar endüstriyel, bilimsel, tıbbi uygulamalar için kullanılmak üzere ayrılmıştır (Oktay, 1978; Barnes v.d., 1976). Günümüzde 0.9 -18 GHz arasındaki frekanslar odun endüstrisinde gerek ısıtma gerekse odun özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır (Thostenson ve Chou, 1999). Bu çalışmada test örneklerinin

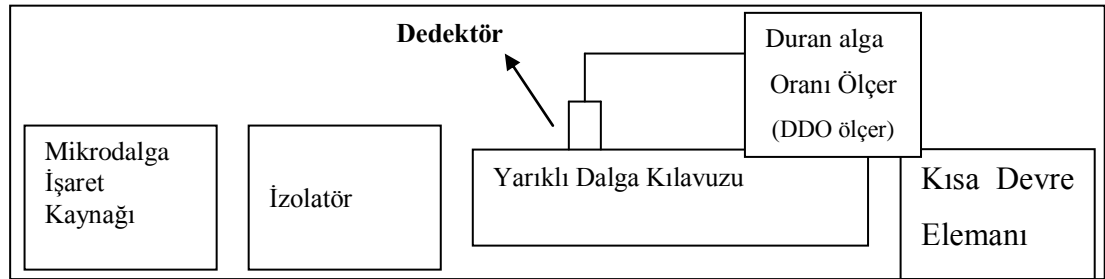
dielektrik özellikleri 2.45 GHz ve 9.8 GHz ISM frekanslarında incelenmiştir. Bu frekansların seçilmesinin nedeni 2.45 GHz frekansının mikrodalga işlemlerinde en fazla kullanılan frekans olması, 9.8 GHz ise hem bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılması hem de dielektrik özelliklerinin frekansa göre değişiminin belirlenebilmesi amacıyla yüksek bir frekansın seçilmesinin daha yararlı olacağını düşünülmesidir (Şahin, 2002).

2.2.7.2. Sıcaklık

Tüm dielektrik ölçümler 20-24°C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

2.2.7.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deney Düzenegi

Bu çalışmada, test örneklerinin dielektrik özellikleri (dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı) A.Von HIPPEL Dalga Kılavuzu Yöntemi (Chatterjee, 1988) kullanılarak belirlenmiştir. Deney düzenegi Şekil 2.6' de verilmektedir.



Şekil 2.6. Dielektrik özellikleri ölçmede kullanılan deney düzenegi.

Dielektrik sabiti bir yarıklı dalga kılavuzu ve duran dalga oranı ölçer yardımıyla ölçülmüştür. 9.8 GHz frekansı için X-bandında 8-12 GHz'de çalışan bir işaret kaynağı ve 2.45 GHz frekansı için 10 kHz – 2.7 GHz bandında çalışan bir işaret kaynağı kullanılmıştır. İzolatör yansıyan dalganın işaret kaynağına zarar vermesini önlemek amacıyla kullanılmıştır (Şahin, 2002).

Bu yöntemde dikdörtgen kesitli dalga kılavuzu içerisine test örneği yerleştirilmektedir. Uygun boyutlarda yukarıda anlatıldığı şekilde hazırlanan

örneklerin ölçümler öncesi kalınlıkları (t) ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu dikdörtgen kesitli örnekler kısa devre tablasının temas ettiği yer olan dalga kılavuzunun uç kısmına yerleştirilir (Şahin, 2002). İlk aşamada hat sonu kısa devre iken, dalga kılavuzunun üst kısmındaki prob hareket ettirilerek gerilimin minimum olduğu değer kaydedilmiştir. İkinci aşamada, örnek dalga kılavuzuna yerleştirilmiş ve bu durumda da gerilimin minimum olduğu değer belirlenmiş ve duran dalga oranı ölçülmüştür. Sonra dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü ve dielektrik kayıp tanjantı aşağıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır (Chatterjee, 1988).

$$Z_d \tan [\beta_d d_{1min}] = -Z_0 \tan [\beta_d d_{2min}] \quad (2.3)$$

Buradan,

$$\beta \tan [\beta_d t] = \beta_d \tan [\beta (\Delta + t)] \quad (2.4)$$

$$\Delta = d_{1min} - d_{2min} \quad (2.5)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_b} \quad (2.6)$$

$$\beta_d = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon' - (\lambda_0/\lambda_c)^2} \quad (2.7)$$

Baskın modda çalışıldığı için $\lambda_c = 2a$ dır. (2.45 GHz için $a = 8.55$ cm ve 9.8 GHz için $a = 2.286$ cm) olduğundan (Olmi et al, 2000) denklemden dielektrik sabiti,

$$\epsilon' = \left(\frac{\beta_d \lambda_0}{2\pi} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0}{2a} \right)^2 \quad (2.8)$$

Kayıp tanjantı,

$$\tan\delta = \frac{4}{S} \left[\frac{\varepsilon' - (\lambda_0/2a)^2}{\varepsilon'} \right] \frac{\operatorname{Cosec} \left[\frac{4\pi}{\lambda_b} (\Delta + t) \right]}{\frac{4\pi t}{\lambda_0} \left[\varepsilon' - (\lambda_0/2a)^2 \right] \operatorname{Cosec} \frac{4\pi t}{\lambda_0} - 1} \quad (2.9)$$

Kayıp faktörü,

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta \quad (2.10)$$

formülleriyle hesaplanmıştır.

Bu metod düşük kayıplı dielektrik materyaller için uygulanır. (Kuroda ve Tsutsumi, 1981) denklemi yeniden düzenlenerek:

$$\beta_d t = \frac{\beta t}{\tan[\beta(\Delta + t)]} \tan(\beta_d t) \quad (2.11)$$

$$\frac{\beta t}{\tan[\beta(\Delta + t)]} = A \quad (2.12)$$

tanımını yapılarak, bu durumda,

$$\beta_d t = A \tan(\beta_d t) \quad (2.13)$$

denklemi elde edilmiştir. Bu denklemden β_d ' nin analitik yoldan hesabı zor olduğundan β_d belirlendikten sonra örneklerin dielektrik parametreleri (ε' , ε'' , $\tan\delta$), sayısal çözümlene yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Şahin, 2002).

2.2.8. İstatistik Yöntemler

Isıl işlemin ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla Microsoft Excel ve SPSS programları kullanılarak irdelenmiştir.

Dielektrik parametreler üzerine ısıl işlemin etkisi Microsoft Excel ve SPSS programları kullanılarak irdelenmiştir.

Ayrıca ısıl işlemlili ve doğal ağaç malzemelerin dielektirik özellikleri üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisi Microsoft Excel ve SPSS programları kullanılarak irdelenmiştir.

BÖLÜM 3

BULGULAR

3.1. AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ

3.1.1. 2.45 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler

Isıl işlem uygulanmış Uludağ Göknaarı, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını ağaç malzemelerinin, ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarındaki denge rutubet miktarları, yoğunlukları ve 2,45 GHz frekansındaki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ağaç malzemelerin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak 2.45 GHz frekansındaki dielektrik özellikleri.

Ağaç Malzeme	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	RutubetMiktarı (%)	Hava Kurusu Yoğunluk (gr/cm ³)	Dielektrik Sabiti (ε')		Kayıp Faktörü (ε'')		Kayıp Tanjantı (tanδ)	
				x	s	x	s	x	s
Göknaar	190 °C	4,8	0,416	1,765	0,033	0,116	0,008	0,066	0,004
	212 °C	3,7	0,408	1,647	0,032	0,093	0,006	0,057	0,003
	Kontrol	8,9	0,427	1,828	0,046	0,138	0,011	0,075	0,005
Sarıçam	190 °C	5,3	0,575	1,788	0,034	0,125	0,018	0,071	0,009
	212 °C	5,0	0,585	1,737	0,048	0,116	0,013	0,067	0,005
	Kontrol	10,1	0,602	2,012	0,083	0,216	0,032	0,107	0,011
Kızılağaç	190 °C	4,9	0,486	1,656	0,021	0,097	0,006	0,059	0,003
	212 °C	3,5	0,435	1,624	0,038	0,090	0,003	0,055	0,002
	Kontrol	8,7	0,527	2,021	0,064	0,220	0,024	0,109	0,008
Kayın	190 °C	6,2	0,570	1,892	0,039	0,158	0,012	0,083	0,005
	212 °C	4,1	0,552	1,809	0,029	0,130	0,005	0,072	0,002
	Kontrol	10,2	0,603	2,103	0,073	0,237	0,025	0,112	0,008

x: 10 örneğin aritmetik ortalaması s: örneklerin standart sapması

Çizelge 3.1'e göre 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında denge rutubet miktarlarının en yüksek kontrol örneklerinde ve en düşük 212 °C de ısıtılmış örneklerde bulunduğu görülmektedir. Her 4 ağaç malzeme türü için kontrol örneklerinin denge rutubet miktarı, 190 °C de ısıtılmış örneklerle oranla Uludağ Göknarında % 46, Sarıçamda % 47, Sakallı Kızılağaçta % 44 ve Doğu Kayınında % 39, 212 °C de ısıtılmış örneklerle oranla ise Uludağ Göknarında % 58, Sarıçamda % 50, Sakallı Kızılağaçta % 60 ve Doğu Kayınında % 60 daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Ayrıca 190 °C de ısıtılmış örneklerin rutubet miktarındaki azalışın 212 °C de işlem görmüş olanlardan bir miktar daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Buna göre ısıtılmış sonucunda denge rutubet miktarının 190 °C de yaklaşık % 44, 212 °C de % 57 oranında düştüğü söylenebilir.

Örneklerin yoğunlukları dikkate alındığında ısıtılmış örneklerin yoğunluklarının kontrol örneklerinden daha düşük olduğu ve ısıtılmış sıcaklığı arttıkça da genel olarak yoğunlukta düşüş meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 3.1).

Dielektrik parametrelerin ağaç türüne göre değişimine dikkat edildiğinde, Çizelge 3.1'de görüldüğü üzere, ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri ağaç malzeme türüne göre farklılık göstermekte ve bu farklılığın yoğunluk ile doğru orantılı olduğu gözle çarpılmaktadır. Kontrol örnekleri ile ısıtılmış örneklerinin dielektrik parametreleri karşılaştırıldığında; ısıtılmış örneklerin daha düşük değerleri verdiği görülmektedir (Çizelge 3.1). Isıtılmış sıcaklığının ve ağaç malzeme türünün dielektrik özellikler üzerine etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.2), 2.45 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türünün, ısıtılmış sıcaklığının ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisinin 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. 2.45 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.3'de, ve ısıtılmış

sıcaklığının etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları izelge 3.4'de verilmiştir.

Ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan testi sonuçlarına göre (izelge 3.3.), ağaç malzeme türüne bağlı olarak dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı, küçükten büyüğe doğru Uludağ Göknarı, Sakallı Kızılağaç, Sarıçam ve Doğu Kayını sıralamasını takip etmekte ve genel olarak gruplar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu tesbit edilmiştir.

Tüm ağaç türleri birlikte ele alınarak, ısıl işlem sıcaklıklarının dielektrik parametreler üzerine etkisini karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (izelge 3.4), ısıl işlem sıcaklığı arttıka, dielektrik parametrelerin önemli oranda düştüğü belirlenmiştir. En yüksek dielektrik parametre dėerleri, kontrol örneklerinde en düşük değerler ise 212 C de ısıl işlem görmüş olanlarda rastlanmıştır. Her üç grup arasındaki farklarda istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 3.2 de ağaç türü ve ısıl işlem sıcaklıklarının birlikteki etkileşimlerinin de istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edildiğinden; ısıl işlem sıcaklığının etkisi ayrıca ağaç türü bazında irdelenmiş ve varyans analizi sonuçları dielektrik sabiti için izelge 3.5, dielektrik kayıp faktörü için izelge 3.6 da ve kayıp tanjantı için izelge 3.7 de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine ağaç malzeme türü ve ısıtım sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F oranı	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	Dielektrik Sabiti	2,687 ^a	11	0,244	103,113	0,000
	Kayıp Faktörü	0,294 ^b	11	0,027	102,812	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,047 ^c	11	0,004	106,437	0,000
Sabit Terim	Dielektrik Sabiti	399,069	1	399,069	168483,526	0,000
	Kayıp Faktörü	2,511	1	2,511	9640,940	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,725	1	0,725	18090,445	0,000
Ağaç Malzeme Türü	Dielektrik Sabiti	0,658	3	0,219	92,630	0,000
	Kayıp Faktörü	0,056	3	0,019	71,944	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,009	3	0,003	73,432	0,000
Isıtım Sıcaklığı	Dielektrik Sabiti	1,700	2	0,850	358,765	0,000
	Kayıp Faktörü	0,202	2	0,101	388,517	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,032	2	0,016	403,019	0,000
Ağaç Malzeme Türü*Isıtım Sıcaklığı	Dielektrik Sabiti	0,329	6	0,055	23,137	0,000
	Kayıp Faktörü	0,036	6	0,006	23,011	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,006	6	0,001	24,079	0,000
Hata	Dielektrik Sabiti	0,256	108	0,002		
	Kayıp Faktörü	0,028	108	0,000		
	Kayıp Tanjantı	0,004	108	4,007E-5		
Toplam	Dielektrik Sabiti	402,011	120			
	Kayıp Faktörü	2,833	120			
	Kayıp Tanjantı	0,776	120			
Düzeltilmiş Toplam	Dielektrik Sabiti	2,942	119			
	Kayıp Faktörü	0,323	119			
	Kayıp Tanjantı	0,051	119			

^a. R²=0,913 ^b. R²=0,91 ^c. R²=0,916

Çizelge 3.3. 2.45 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme	Örnek Sayısı	Alt Gruplar			
			1	2	3	4
Dielektrik Sabiti	Gök nar	30	1,7468	1,8459	1,9347	
	Kızı lağ aç	30	1,7671			
	Ç am	30				
	K ayın	30				
Kayıp Faktörü	Gök nar	30	0,11587	0,13560	0,15240	0,17470
	Kızı lağ aç	30				
	Ç am	30				
	K ayın	30				
Kayıp Tanjantı	Gök nar	30	0,06603	0,07417	0,8157	0,08913
	Kızı lağ aç	30				
	Ç am	30				
	K ayın	30				

Çizelge 3.4. 2.45 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ısıl işlem sıcaklığının etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Isıl işlem Sıcaklığı	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
			1	2	3
Dielektrik Sabiti	Isıl işlem $-212\text{ }^{\circ}\text{C}$	40	1,7250	1,7548	1,9910
	Isıl işlem $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$	40			
	Kontrol	40			
Kayıp Faktörü	Isıl işlem $-212\text{ }^{\circ}\text{C}$	40	0,11140	0,12003	0,20250
	Isıl işlem $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$	40			
	Kontrol	40			
Kayıp Tanjantı	Isıl işlem $-212\text{ }^{\circ}\text{C}$	40	0,06453	0,06780	0,10085
	Isıl işlem $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$	40			
	Kontrol	40			

Çizelge 3.5. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında dielektrik sabiti üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Ağam Malzeme Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F Oranı	Önem Düzeyi
Çam	Düzeltilmiş Model	0,425 ^a	2	0,213	61,681	0,000
	Sabit Terim	102,218	1	102,218	29635,680	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,425	2	0,213	61,681	0,000
	Hata	0,093	27	0,003		
	Toplam	102,736	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,519	29			
Gökmar	Düzeltilmiş Model	0,169 ^b	2	0,085	60,348	0,000
	Sabit Terim	91,540	1	91,540	65278,280	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,169	2	0,085	60,348	0,000
	Hata	0,038	27	0,001		
	Toplam	91,747	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,207	29			
Kayın	Düzeltilmiş Model	0,461 ^c	2	0,231	88,818	0,000
	Sabit Terim	112,295	1	112,295	43246,554	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,461	2	0,231	88,818	0,000
	Hata	0,070	27	0,003		
	Toplam	112,826	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,531	29			
Kızılağaç	Düzeltilmiş Model	0,972 ^d	2	0,486	239,932	0,000
	Sabit Terim	93,675	1	93,675	46229,330	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,972	2	0,486	239,932	0,000
	Hata	0,055	27	0,002		
	Toplam	94,702	30			
	Düzeltilmiş Toplam	1,027	29			

a. $R^2=0,913$ b. $R^2=0,91$ c. $R^2=0,916$

Çizelge 3.6. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında kayıp faktörü üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Aşam Malzeme Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F Oranı	Önem Düzeyi
Çam	Düzeltilmiş Model	0,060 ^a	2	0,030	59,688	0,000
	Sabit Terim	0,697	1	0,697	1378,979	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,060	2	0,030	59,688	0,000
	Hata	0,014	27	0,001		
	Toplam	0,771	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,074	29			
Gök nar	Düzeltilmiş Model	0,010 ^b	2	0,005	65,357	0,000
	Sabit Terim	0,403	1	0,403	5268,055	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,010	2	0,005	65,357	0,000
	Hata	0,002	27	7,645E-5		
	Toplam	0,415	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,012	29			
Kayın	Düzeltilmiş Model	0,061 ^c	2	0,031	118,347	0,000
	Sabit Terim	0,916	1	0,916	3531,560	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,061	2	0,031	118,347	0,000
	Hata	0,007	27	0,000		
	Toplam	0,984	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,068	29			
Kızılağaç	Düzeltilmiş Model	0,107 ^d	2	0,053	265,719	0,000
	Sabit Terim	0,552	1	0,552	2749,550	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,107	2	0,053	265,719	0,000
	Hata	0,005	27	0,000		
	Toplam	0,664	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,112	29			

a. $R^2=0,913$ b. $R^2=0,91$ c. $R^2=0,916$

Çizelge 3.7. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında kayıp tanjantı üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Aşam Malzeme Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F Oranı	Önem Düzeyi
Çam	Düzeltilmiş Model	0,010 ^a	2	0,005	56,466	0,000
	Sabit Terim	0,200	1	0,200	2322,156	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,010	2	0,005	56,466	0,000
	Hata	0,002	27	8,595E-5		
	Toplam	0,212	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,012	29			
Gökmar	Düzeltilmiş Model	0,002 ^b	2	0,001	60,331	0,000
	Sabit Terim	0,131	1	0,131	8930,278	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,002	2	0,001	60,331	0,000
	Hata	0,000	27	1,465E-5		
	Toplam	0,133	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,002	29			
Kayın	Düzeltilmiş Model	0,009 ^c	2	0,004	140,343	0,000
	Sabit Terim	0,238	1	0,238	7628,317	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,009	2	0,004	140,343	0,000
	Hata	0,001	27	3,124E-5		
	Toplam	0,248	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,010	29			
Kızılağaç	Düzeltilmiş Model	0,018 ^d	2	0,009	313,660	0,000
	Sabit Terim	0,165	1	0,165	5800,758	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,018	2	0,009	313,660	0,000
	Hata	0,001	27	2,845E-5		
	Toplam	0,184	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,019	29			

a. $R^2=0,913$ b. $R^2=0,91$ c. $R^2=0,916$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.5-7.), çalışılan tüm ağaç malzemelerde 2,45 GHz frekansında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisinin 0,001 düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.

2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik sabiti değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik sabiti değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme Türü	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
				1	2	3
Dielektrik Sabiti (ϵ')	Kızılağaç	212 °C	10	1,6258		
		190 °C	10	1,6543		
		Kontrol	10		2,0210	
	Göknar	212 °C	10	1,6469		
		190 °C	10		1,7654	
		Kontrol	10			1,8281
	Kayın	212 °C	10	1,8087		
		190 °C	10		1,8921	
		Kontrol	10			2,1033
	Çam	212 °C	10	1,7385		
		190 °C	10	1,7874		
		Kontrol	10		2,0117	

Dielektrik sabiti değerlerini ısı işlem sıcaklığına göre karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.8), tüm ağaç türlerinde kontrol örneklerinin ısı işlem görmüş örneklere göre dielektrik sabiti değerlerinin daha yüksek olduğu ve aradaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Genel olarak ısı işlemin dielektrik sabitini düşürdüğü ve ısı işlem sıcaklığı arttıkça dielektrik sabitindeki düşüşün arttığı ancak düşüş oranlarının ağaç türlerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığına göre değişime bakıldığında, Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamda ısı işlem sıcaklığına göre dielektrik sabitinin değişmediği, ancak Uludağ Göknarı ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik kayıp faktörü değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik kayıp faktörü değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme Türü	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
				1	2	3
Kayıp Faktörü (ϵ'')	Kızılağaç	212 °C	10	0,08720		
		190 °C	10	0,09980		
		Kontrol	10		0,21980	
	Gök nar	212 °C	10	0,10330		
		190 °C	10		0,11630	
		Kontrol	10			1,3800
	Kayın	212 °C	10	0,12980		
		190 °C	10		0,15770	
		Kontrol	10			0,23660
	Çam	212 °C	10	0,11530		
		190 °C	10	0,12630		
		Kontrol	10		0,21560	

Kayıp faktörü değerlerinin ağaç türü bazında, ısıl işlem sıcaklığına göre karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.9), tüm ağaç türlerinde kontrol örneklerinin ısıl işlem görmüş örneklere göre kayıp faktörü değerlerinin daha yüksek olduğu ve aradaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığına göre değişime dikkate edildiğinde, Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamda ısıl işlem sıcaklığına göre kayıp faktörünün değişmediği, ancak Uludağ Gök narı ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak ısıl işlemin kayıp faktörünü düşürdüğü belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığı arttıkça kayıp faktöründeki düşüşün arttığı ancak ağaç türlerine göre düşüş oranlarının farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik kayıp tanjantı değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. 2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik kayıp tanjantı değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme Türü	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
				1	2	3
Kayıp Tanjantı ($\tan\delta$)	Kızılağaç	212 °C	10	0,05520		
		190 °C	10	0,05870		
		Kontrol	10		0,10860	
	Göknar	212 °C	10	0,05670		
		190 °C	10		0,06590	
		Kontrol	10			0,07550
	Kayın	212 °C	10	0,07180		
		190 °C	10		0,08320	
		Kontrol	10			0,11240
	Çam	212 °C	10	0,06690		
		190 °C	10	0,07090		
		Kontrol	10		0,10690	

Ağaç türü bazında kayıp tanjantı değerlerini ısı işlem sıcaklığına göre karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.10) tüm ağaç türlerinde kontrol örneklerinin ısı işlem görmüş örneklere göre kayıp tanjantı değerlerinin daha yüksek olduğu ve aradaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığına göre değişime dikkate edildiğinde, Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamda ısı işlem sıcaklığına göre kayıp tanjantının değişmediği, ancak Uludağ Göknarı ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Genel olarak ısı işlemin kayıp tanjantını düşürdüğü belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığı arttıkça kayıp tanjantındaki düşüşün arttığı ancak bu düşüş oranlarının ağaç türlerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

3.1.2. 9.8 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler

Isıl işlem uygulanmış Uludağ Göknarı, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını ağaç malzemelerinin, ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl

nem şartlarındaki denge rutubet miktarları, yoğunlukları ve 9,8 GHz frekansındaki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Ağaç malzemelerin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak 9,8 GHz frekansındaki dielektrik özellikleri.

Ağaç Malzeme	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Rutubet Miktarı (%)	Hava Kurusu Yoğunluk (gr/cm ³)	Dielektrik Sabiti (ε')		Kayıp Faktörü (ε'')		Kayıp Tanjantı (tanδ)	
				x	s	x	s	x	s
Gök nar	190 °C	5,8	0,440	1,477	0,018	0,116	0,005	0,078	0,004
	212 °C	4,8	0,439	1,483	0,017	0,108	0,019	0,073	0,013
	Kontrol	9,3	0,452	1,581	0,019	0,175	0,011	0,111	0,007
Sarıçam	190 °C	5,7	0,657	1,590	0,026	0,119	0,007	0,077	0,009
	212 °C	4,2	0,636	1,707	0,018	0,133	0,006	0,075	0,005
	Kontrol	11,4	0,689	1,975	0,070	0,260	0,018	0,132	0,014
Kızılağaç	190 °C	5,2	0,442	1,419	0,016	0,113	0,006	0,079	0,005
	212 °C	4,2	0,426	1,426	0,007	0,111	0,004	0,078	0,003
	Kontrol	9,1	0,485	1,628	0,029	0,156	0,011	0,096	0,007
Kayın	190 °C	5,1	0,579	1,708	0,019	0,133	0,006	0,079	0,005
	212 °C	4,1	0,569	1,591	0,027	0,119	0,007	0,073	0,009
	Kontrol	9,6	0,581	1,890	0,025	0,216	0,013	0,114	0,006

x: 10 örneğin aritmetik ortalaması s: örneklerin standart sapması

Çizelge 3.11’e göre, her 4 ağaç malzeme türü için, kontrol örneklerinin 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında rutubet miktarlarının 190 °C ısı işlem görmüş örneklere oranla yaklaşık % 44 ve 212 °C de ısı işlem görmüş örneklere oranla yaklaşık % 55 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 212 °C de ısı işlem görmüş örneklerin rutubet miktarının 190 °C de işlem görmüş olanlardan bir miktar daha düşük olduğu gözlenmiştir. Yoğunluk dikkate alındığında, ısı işlemin örneklerin yoğunluğunu bir miktar düşürdüğü gözlenmektedir.

Çizelge 3.11’de, ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin ağaç malzeme türüne göre değişiklik gösterdiği gözlenmektedir. Bu farklılığın yoğunluk ile doğru orantılı olduğu göze çarpmaktadır.

Isıl işlemlenmiş örneklerle ısı işlem görmemiş örnekler kıyaslandığında, ısı işlemlenmiş örneklerin daha düşük dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerini verdiği tespit edilmiştir (Çizelge 3.11). Isıl işlem sıcaklığının ve ağaç malzeme

türünün dielektrik özellikler üzerine etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine ağaç malzeme türü ve ısıl işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F oranı	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	Dielektrik Sabiti	3,346 ^a	11	0,304	378,435	0,000
	Kayıp Faktörü	0,254 ^b	11	0,023	153,801	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,043 ^c	11	0,004	65,577	0,000
Sabit Terim	Dielektrik Sabiti	316,058	1	316,058	393257,901	0,000
	Kayıp Faktörü	2,578	1	2,578	17150,328	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,945	1	0,945	15833,698	0,000
Ağaç Malzeme Türü	Dielektrik Sabiti	1,763	3	0,588	731,168	0,000
	Kayıp Faktörü	0,037	3	0,012	81,781	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,002	3	0,001	8,471	0,000
Isıl İşlem Sıcaklığı	Dielektrik Sabiti	1,272	2	0,636	791,576	0,000
	Kayıp Faktörü	0,184	2	0,092	613,064	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,036	2	0,018	301,708	0,000
Ağaç Malzeme Türü*Isıl İşlem Sıcaklığı	Dielektrik Sabiti	0,310	6	0,052	64,355	0,000
	Kayıp Faktörü	0,033	6	0,006	36,724	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,006	6	0,001	15,420	0,000
Hata	Dielektrik Sabiti	0,087	108	0,001		
	Kayıp Faktörü	0,016	108	0,000		
	Kayıp Tanjantı	0,006	108	5,971E-5		
Toplam	Dielektrik Sabiti	319,491	120			
	Kayıp Faktörü	2,849	120			
	Kayıp Tanjantı	0,995	120			
Düzeltilmiş Toplam	Dielektrik Sabiti	3,432	119			
	Kayıp Faktörü	0,271	119			
	Kayıp Tanjantı	0,050	119			

a. $R^2=0,913$ b. $R^2=0,91$ c. $R^2=0,916$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.12.), 9,8 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türünün, ısıl işlem sıcaklığının ve bunların birlikteki etkileşimlerinin etkisinin 0,001 düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.

9,8 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaç türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.13 de verilmiştir.

Çizelge 3.13. 9,8 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ağaç türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme	Örnek Sayısı	Alt Gruplar			
			1	2	3	4
Dielektrik Sabiti	Kızılağaç	30	1,4910	1,5137	1,7296	1,7573
	Göknar	30				
	Kayın	30				
	Çam	30				
Kayıp Faktörü	Kızılağaç	30	0,12691 0,13307	0,15579	0,17057	
	Göknar	30				
	Kayın	30				
	Çam	30				
Kayıp Tanjantı	Kızılağaç	30	0,08461 0,08741 0,08864	0,09437		
	Göknar	30				
	Kayın	30				
	Çam	30				

Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.13.), ağaç malzeme türüne bağlı olarak dielektrik sabiti değerleri, küçükten büyüğe doğru kızılalğaç, göknar, kayın ve çam sıralamasını takip etmekte ve gruplar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Dielektrik kayıp faktörü için küçükten büyüğe doğru kızılalğaç, göknar, kayın ve çam sıralamasını takip etmekte ancak kızılalğaç ile göknar arasında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. Kayıp tanjantı için yine aynı sırayı takip etmekte ancak kızılalğaç, göknar ve kayın arasında istatistiksel olarak fark bulunmamakta ve çam en yüksek değerleri vermektedir. Tüm bu sonuçlar irdelendiğinde ve Çizelge 3.11'e dikkat edildiğinde, örneklerin dielektrik özelliklerindeki seyrininörneklerin yoğunluklarıyla lineer olarak bağlantılı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.14 de tüm ağaç malzemeler birlikte ele alınarak, 9.8 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3.14. 9.8 GHz frekansında dielektrik özellikler üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Isıl İşlem Sıcaklığı	Örnek Sayısı	Alt Gruplar	
			1	2
Dielektrik Sabiti	Isıl İşlem - 212 °C	40	1,5485	1,7685
	Isıl İşlem - 190 °C	40	1,5517	
	Kontrol	40		
Kayıp Faktörü	Isıl İşlem - 212 °C	40	0,11776	0,20200
	Isıl İşlem - 190 °C	40	0,12000	
	Kontrol	40		
Kayıp Tanjantı	Isıl İşlem - 212 °C	40	0,7566	0,11324
	Isıl İşlem - 190 °C	40	0,7738	
	Kontrol	40		

Tüm ağaç türleri birlikte alınarak, ısıl işlem sıcaklıklarının dielektrik özellikler üzerine etkisini karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.14) , ısıl işlemin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Isıl işlem görmemiş kontrol örneklerinin en yüksek dielektrik değerleri verdiği ve ısıl işlemlili örnekler ile kontrol örnekleri arasındaki farklarının istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Ancak ısıl işlem sıcaklığının dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Ağaç türü ve ısıl işlem sıcaklığının birlikteki etkileşimlerinin istatistiksel olarak önemli olması nedeniyle (Çizelge 3.12), ısıl işlem sıcaklığının etkisi ağaç türü bazında irdelenmiş ve yapılan varyans analizi sonuçları dielektrik sabiti için Çizelge 3.15 te, kayıp faktörü için Çizelge 3.16 da, kayıp tanjantı için Çizelge 3.17 de verilmiştir.

Çizelge 3.15. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında dielektrik sabiti üzerine ısıl işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Ağaç Malzeme Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F Oranı	Önem Düzeyi
	Düzeltilmiş Model	0,780 ^a	2	0,390	200,294	0,000

Çam	Sabit Terim	92,646	1	92,646	47606,546	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,780	2	0,390	200,294	0,000
	Hata	0,053	27	0,002		
	Toplam	93,478	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,832	29			
Gökmar	Düzeltilmiş Model	0,069 ^b	2	0,035	107,235	0,000
	Sabit Terim	68,736	1	68,736	213247,794	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,069	2	0,035	107,235	0,000
	Hata	0,009	27	0,000		
	Toplam	68,814	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,078	29			
Kayın	Düzeltilmiş Model	0,453 ^c	2	0,227	404,003	0,000
	Sabit Terim	89,742	1	89,742	160051,358	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,453	2	0,227	404,003	0,000
	Hata	0,015	27	0,001		
	Toplam	90,210	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,468	29			
Kızılağaç	Düzeltilmiş Model	0,281 ^d	2	0,140	364,241	0,000
	Sabit Terim	66,697	1	66,697	172947,137	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,281	2	0,140	364,241	0,000
	Hata	0,010	27	0,000		
	Toplam	66,988	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,291	29			

a. $R^2=0,913$ b. $R^2=0,91$ c. $R^2=0,916$

Çizelge 3.16. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında faktörü üzerine ısıl işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Ağaç Malzeme Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F Oranı	Önem Düzeyi
	Düzeltilmiş Model	0,122 ^a	2	0,061	204,053	0,000

Çam	Sabit Terim	0,873	1	0,873	2915,209	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,122	2	0,061	204,053	0,000
	Hata	0,008	27	0,000		
	Toplam	1,003	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,130	29			
Gökmar	Düzeltilmiş Model	0,027 ^b	2	0,013	81,880	0,000
	Sabit Terim	0,531	1	0,531	3254,101	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,027	2	0,013	81,880	0,000
	Hata	0,004	27	0,000		
	Toplam	0,562	30			
Kayın	Düzeltilmiş Model	0,056 ^c	2	0,028	338,426	0,000
	Sabit Terim	0,728	1	0,728	8878,332	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,056	2	0,028	338,426	0,000
	Hata	0,002	27	8,201E-5		
	Toplam	0,786	30			
Kızılağaç	Düzeltilmiş Model	0,013 ^d	2	0,007	114,954	0,000
	Sabit Terim	0,483	1	0,483	8517,623	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,013	2	0,007	114,954	0,000
	Hata	0,002	27	5,673E-5		
	Toplam	0,498	30			
Kızılağaç	Düzeltilmiş Model	0,015	2			
	Sabit Terim	0,483	1			
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,013	2			
	Hata	0,002	27			
	Toplam	0,498	30			

Çizelge 3.17. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında tanjantı üzerine ısıl işlem sıcaklığının etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Ağaç Malzeme Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F Oranı	Önem Düzeyi
Çam	Düzeltilmiş Model	0,021 ^a	2	0,011	111,489	0,000
	Sabit Terim	0,267	1	0,267	2808,228	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,021	2	0,011	111,489	0,000

	Hata	0,003	27	9,515E-5		
	Toplam	0,291	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,024	29			
Gök nar	Düzeltilmiş Model	0,008 ^b	2	0,004	56,635	0,000
	Sabit Terim	0,229	1	0,229	3134,940	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,008	2	0,004	56,635	0,000
	Hata	0,002	27	7,311E-5		
	Toplam	0,239	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,010	29			
Kayın	Düzeltilmiş Model	0,010 ^c	2	0,005	110,429	0,000
	Sabit Terim	0,236	1	0,236	5172,521	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,010	2	0,005	110,429	0,000
	Hata	0,001	27	4,557E-5		
	Toplam	0,247	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,011	29			
Kızılağaç	Düzeltilmiş Model	0,002 ^d	2	0,001	39,803	0,000
	Sabit Terim	0,215	1	0,215	8592,647	0,000
	Isıl İşlem Sıcaklığı	0,002	2	0,001	39,803	0,000
	Hata	0,001	27	2,499E-5		
	Toplam	0,217	30			
	Düzeltilmiş Toplam	0,003	29			

a. $R^2=0,913$ b. $R^2=0,91$ c. $R^2=0,916$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.15-17), 9,8 GHz frekansında tüm ağaç malzeme türlerinde dielektrik parametreler üzerine ısı işlem sıcaklığının etkisinin 0,001 düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.

9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında dielektrik sabiti değerlerinin ısı işlem sıcaklığına göre Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.18 de verilmiştir.

Çizelge 3.18. 9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik sabiti değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme Türü	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
				1	2	3
	Kızılağaç	212 °C	10	1,4193		
		190 °C	10	1,4260		
		Kontrol	10		1,6278	

Dielektrik Sabiti (ϵ')	Göknar	212 °C	10	1,4716		
		190 °C	10	1,4830		
		Kontrol	10		1,5815	
	Kayın	212 °C	10	1,5910		
		190 °C	10		1,7080	
		Kontrol	10			1,8897
	Çam	212 °C	10	1,5070		
		190 °C	10		1,7900	
		Kontrol	10			1,9751

Dielektrik sabiti değerlerini ısı işlem sıcaklığına göre karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.18), tüm ağaç türlerinde kontrol örneklerinin ısı işlem görmüş örneklere göre dielektrik sabiti değerlerinin daha yüksek olduğu ve aradaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığına göre değişime bakıldığında, Sakallı Kızılağaç ve Uludağ Göknaarının ısı işlem sıcaklığına göre dielektrik sabitinin değişmediği, ancak Sarıçam ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

2.45 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik kayıp faktörü değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19. 9.8 GHz frekansında ağaç türü dikkate alındığında kayıp faktörü değerlerinin Duncan analiz sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme Türü	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
				1	2	3
Kızılağaç	Kızılağaç	212 °C	10	0,10148		
		190 °C	10	0,11287		
		Kontrol	10		0,15639	
Göknar	Göknar	212 °C	10	0,10337		

Kayıp Faktörü (ϵ'')		190 °C	10	0,11577		
		Kontrol	10		0,17507	
	Kayın	212 °C	10	0,11860		
		190 °C	10		0,13270	
		Kontrol	10			0,21608
	Çam	212 °C	10	0,11865		
		190 °C	10	0,13259		
		Kontrol	10		0,26046	

Ağaç türü bazında kayıp faktörü değerlerini, ısı işlem sıcaklığına göre karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.19), tüm ağaç türlerinde kontrol örneklerinin ısı işlem görmüş örneklere göre kayıp faktörü değerlerinin daha yüksek olduğu ve aradaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklığına göre değişime dikkate edildiğinde, Sakallı Kızılağaç, Uludağ Göknaarı ve Sarıçamda ısı işlem sıcaklığına göre kayıp faktörünün değişmediği, ancak Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

9.8 GHz frekansında ağaç türü bazında sıcaklığa bağlı olarak dielektrik kayıp tanjantı değerlerinin Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.20. 9.8 GHz frekansında ağaç türü dikkate alındığında kayıp tanjantı değerlerinin Duncan analiz sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme Türü	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
				1	2	3
Kayıp Tanjantı	Kızılağaç	212 °C	10	0,07718		
		190 °C	10	0,07955		
		Kontrol	10		0,09610	
	Göknaar	212 °C	10	0,07309		
		190 °C	10	0,07843		
		Kontrol	10		0,11070	

(tanδ)	Kayın	212 °C	10	0,07290		
		190 °C	10	0,07870		
		Kontrol	10		0,11433	
	Çam	212 °C	10	0,07282		
		190 °C	10	0,07846		
		Kontrol	10		0,13184	

Ağaç türü bazında kayıp tanjantı değerlerini ısıtma sıcaklığına göre karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.20) tüm ağaç türlerinde kontrol örneklerinin ısıtma görmüş örneklerle göre kayıp tanjantı değerlerinin daha yüksek olduğu ve aradaki farkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Isıtma sıcaklığına göre değişime dikkate edildiğinde ise, tüm ağaç malzeme türlerinde ısıtma sıcaklığına göre kayıp tanjantı değerlerinin değişmediği belirlenmiştir.

3.2. AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE HIZLI YAŞLANDIRMANIN ETKİSİ

Kontrol (doğal halde), 190 °C ve 212 °C de ısıtma uygulanmış örneklerin hızlı yaşlandırma öncesi ve hızlı yaşlandırma sonrası ölçülen hava kurusu rutubet miktarları, yoğunlukları ve 9.8 GHz frekansındaki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri Çizelge 3.21 de verilmiştir.

Çizelge 3.21. Ağaç malzemelerin hızlı yaşlandırma sonrası 9.8 GHz frekansındaki dielektrik özellikleri.

Ağaç Malzeme	İşlem	Rutubet Miktarı (%)	Hava Kurusu Yoğunluk (gr/cm ³)	Dielektrik Sabiti (ε')		Kayıp Faktörü (ε'')		Kayıp Tanjantı (tanδ)	
				x	s	x	s	x	s
Gökmar	Kontrol	9,300	0,452	1,582	0,016	0,175	0,010	0,110	0,006
	190 °C	5,800	0,450	1,477	0,018	0,115	0,005	0,078	0,003
	212 °C	4,800	0,440	1,482	0,016	0,108	0,018	0,073	0,012
	H.Y.Kontrol	12,226	0,465	1,259	0,304	0,039	0,013	0,031	0,006
	H.Y 190 °C	11,023	0,447	1,140	0,182	0,034	0,003	0,030	0,004
	H.Y 212 °C	10,302	0,440	1,107	0,085	0,035	0,002	0,032	0,002
Sarıçam	Kontrol	11,400	0,683	1,975	0,071	0,260	0,028	0,131	0,013
	190 °C	5,700	0,546	1,577	0,034	0,114	0,013	0,072	0,008
	212 °C	4,200	0,615	1,715	0,019	0,134	0,008	0,078	0,004
	H.Y.Kontrol	13,727	0,636	1,207	0,202	0,028	0,001	0,024	0,003
	H.Y 190 °C	12,084	0,563	1,110	0,087	0,030	0,001	0,027	0,002

	H.Y 212 °C	11,044	0,556	1,128	0,470	0,027	0,001	0,021	0,005
Kızıl ağaç	Kontrol	8,700	0,485	1,628	0,028	0,156	0,010	0,096	0,006
	190 °C	5,100	0,424	1,420	0,016	0,112	0,006	0,079	0,004
	212 °C	4,100	0,421	1,428	0,007	0,111	0,004	0,078	0,002
	H.Y.Kontrol	12,326	0,519	1,320	0,301	0,028	0,002	0,022	0,003
	H.Y 190 °C	11,005	0,437	1,465	0,585	0,035	0,005	0,025	0,005
	H.Y 212 °C	9,558	0,422	1,128	0,183	0,037	0,005	0,032	0,001
Kayın	Kontrol	9,600	0,542	1,889	0,027	0,216	0,012	0,114	0,006
	190 °C	5,100	0,625	1,708	0,018	0,132	0,005	0,078	0,004
	212 °C	4,100	0,516	1,591	0,026	0,118	0,007	0,072	0,008
	H.Y.Kontrol	13,092	0,634	1,379	0,237	0,028	0,001	0,021	0,003
	H.Y 190 °C	11,403	0,620	1,306	0,351	0,026	0,000	0,021	0,004
	H.Y 212 °C	8,173	0,543	1,364	0,361	0,026	0,001	0,020	0,004

H.Y.: Hızlı Yaşlandırma görmüş örnekler x: 10 örneğin aritmetik ortalaması s: örneklerin standart sapması

Hızlı yaşlandırmanın dielektrik özellikler üzerine etkisini belirlemek amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve varyans analizi sonuçları Çizelge 3.22 de verilmiştir.

Çizelge 3.22. Dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisini belirten çoğul varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Bağımlı Değişken	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F oranı	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	Dielektrik Sabiti	12,722 ^a	23	0,553	11,142	0,000
	Kayıp Faktörü	1,049 ^a	23	0,046	488,337	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,283 ^a	23	0,012	318,866	0,000
Sabit Terim	Dielektrik Sabiti	501,271	1	501,271	10097,448	0,000
	Kayıp Faktörü	1,904	1	1,904	20389,089	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,790	1	0,790	20476,775	0,000
Ağaç Malzeme Türü	Dielektrik Sabiti	1,509	3	0,503	10,134	0,000
	Kayıp Faktörü	0,013	3	0,004	44,939	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,001	3	0,000	8,949	0,000
İşlem	Dielektrik Sabiti	8,869	5	1,774	35,729	0,000
	Kayıp Faktörü	0,975	5	0,195	2089,144	0,000

	Kayıp Tanjantı	0,273	5	0,055	1417,881	0,000
Ağaç Malzeme Türü* İşlem	Dielektrik Sabiti	2,344	15	0,156	3,148	0,000
	Kayıp Faktörü	0,061	15	0,004	43,414	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,008	15	0,001	14,512	0,000
Hata	Dielektrik Sabiti	10,723	216	0,050		
	Kayıp Faktörü	0,020	216	9,339E-5		
	Kayıp Tanjantı	0,008	216	3,858E-5		
Toplam	Dielektrik Sabiti	524,715	240			
	Kayıp Faktörü	2,973	240			
	Kayıp Tanjantı	1,081	240			
Düzeltilmiş Toplam	Dielektrik Sabiti	23,445	239			
	Kayıp Faktörü	1,069	239			
	Kayıp Tanjantı	0,291	239			

a. $R^2=0,913$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine ağaç türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisinin 0,001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Doğal haldeki ve ısıtılmış örneklerin dielektrik özellikleri üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.23 de verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre Dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri küçükten büyüğe doğru Uludağ Göknaarı, Sakallı Kızılağaç, Sarıçam ve Doğu Kayını sıralamasını takip etmektedir.

Çizelge 3.23. Dielektrik özellikler üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0,05$).

Dielektrik Özellik	Ağaç Malzeme	Örnek Sayısı	Alt Gruplar			
			1	2	3	4
Dielektrik Sabiti	Göknar	60	1,341			
	Kızılağaç	60	1,398			
	Çam	60		1,502		
	Kayın	60		1,539		
Kayıp Faktörü	Göknar	60	0,080			
	Kızılağaç	60		0,084		
	Çam	60			0,091	
	Kayın	60				0,099

Kayıp Tanjantı	Göknar	60	0,054		
	Kızılağaç	60	0,055		
	Çam	60		0,059	
	Kayın	60		0,059	

Doğal haldeki ve ısıtma işlemi uygulanmış örneklerin dielektrik özellikleri üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.24 de verilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre, hızlı yaşlandırma sonucunda hem kontrol (doğal halde) hem de ısıtma işlemi görmüş örneklerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantının önemli oranda düştüğü görülmektedir. Ancak hızlı yaşlandırılmış doğal haldeki kontrol örnekleri ile 190 °C ve 212 °C de ısıtma işlemi görmüş örneklerin dielektrik özellikleri arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca 190 °C ve 212 °C de ısıtma işlemi uygulanmış ve hızlı yaşlandırmaya bırakılmış örneklerin dielektrik özellikleri arasında da fark bulunmamıştır.

Çizelge 3.24. Dielektrik özellikler üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları (P< 0,05).

Dielektrik Özellik	Isıtma işlemi sıcaklığı	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
			1	2	3
Dielektrik Sabiti	H.Y. 190 °C	40	1,255		
	H.Y. 212 °C	40	1,256		
	H.Y. Kontrol	40	1,291		
	190 °C	40		1,545	
	212 °C	40		1,554	
	Kontrol	40			1,768
Kayıp Faktörü	H.Y. 190 °C	40	0,031		
	H.Y. 212 °C	40	0,031		
	H.Y. Kontrol	40	0,031		
	190 °C	40		0,118	
	212 °C	40		0,119	
	Kontrol	40			0,202

Kayıp Tanjantı	H.Y. 190 °C	40	0,024		0,113
	H.Y. 212 °C	40	0,026		
	H.Y. Kontrol	40	0,026		
	190 °C	40		0,075	
	212 °C	40		0,077	
	Kontrol	40			

Hızlı yaşlandırma sonucunda dielektrik özelliklerin azalışının nedenlerini belirlemek amacıyla örneklerin yoğunluk değerleri ve rutubet miktarları üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisi çoğul varyans analizi ile irdelenmiş ve sonuçlar Çizelge 3.25 de verilmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre yoğunluğun ağaç türü ve hızlı yaşlandırmadan 0,001 anlam düzeyinde etkilendiği belirlenmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.26) yoğunluk değerleri ağaç türüne göre küçükten büyüğe doğru Uludağ Göknarı, Sakallı Kızılağaç, Doğu Kayını, Sarıçam sıralamasını takip etmektedir. İşlemin etkisini araştıran Duncan testi sonuçlarına göre ise (Çizelge 3.27) gerek hızlı yaşlandırma uygulanmış gerekse hızlı yaşlandırma uygulanmamış ısıllı işlemlerle örneklerin yoğunluk değerlerinin birbirine benzer ve kontrol örneklerinden düşük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.25. Yoğunluk üzerine ağaç türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisini araştıran çoğul varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F oranı	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	1,551 ^a	23	0,067	19,532	0,000
Sabit Terim	65,804	1	65,804	19056,476	0,000
Ağaç Malzeme Türü	1,236	3	0,412	119,303	0,000
İşlem	0,109	5	0,022	6,319	0,000
Ağaç Malzeme Türü*İşlem	0,206	15	0,014	3,983	0,000
Hata	0,746	216	0,003		
Toplam	68,101	240			
Düzeltilmiş Toplam	2,297	239			

a. R²=0,913

Çizelge 3.26. Yoğunluk üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$).

Ağaç Malzeme	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
		1	2	3
Gök nar	60	0,452		
Kızılağaç	60	0,452		
Kayın	60		0,583	
Çam	60			0,606

Çizelge 3.27. Yoğunluk üzerine işlemin etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$).

İşlem	Örnek Sayısı	Alt Gruplar	
		1	2
H.Y. 212 °C	40	0,505	
212 °C	40	0,507	
H.Y. 190 °C	40	0,511	
190 °C	40	0,513	
Kontrol	40		0,540
H.Y. Kontrol	40		0,563

Örneklerin rutubet miktarları üzerine ağaç türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisini irdeleyen çoğul varyans analizi sonuçları Çizelge 3.28 de verilmiştir. Buna göre, rutubet miktarları ağaç türü ve uygulana işleme göre değişmekte ve bu değişimler istatistiksel olarak 0,001 düzeyinde anlamlıdır.

Çizelge 3.28. Örneklerin rutubet miktarları üzerine ağaç türü ve hızlı yaşlandırmanın etkisini araştıran çoğul varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Standart Sapma	Ortalama Kareler	F oranı	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	2371,845 ^a	23	103,124	886,770	0,000
Sabit Terim	19057,243	1	19057,243	163874,992	0,000
Ağaç Malzeme Türü	55,242	3	18,414	158,344	0,000
Isıl İşlem Sıcaklığı	2256,099	5	451,220	3880,081	0,000
Ağaç Malzeme Türü* Isıl İşlem Sıcaklığı	60,504	15	4,034	34,685	0,000
Hata	25,119	216	0,116		
Toplam	21454,207	240			
Düzeltilmiş Toplam	2396,964	239			

a. $R^2=0,913$

Rutubet miktarları ağaç türüne göre değişiklik göstermekte ve Doğu Kayını ve Sakallı Kızılağacın rutubet miktarı birbirine benzer ve en düşük olup, Sarıçam en yüksek rutubet değerlerini vermektedir (Çizelge 3.29).

Çizelge 3.29. Rutubet miktarı üzerine ağaç malzeme türünün etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$).

Ağaç Malzeme	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
		1	2	3
Kızılağaç	60	8,464		
Kayın	60	8,578		
Gök nar	60		8,908	
Çam	60			9,692

Hızlı yaşlandırılmış örnek gruplarının rutubet miktarı hızlı yaşlandırılmaya tabi tutulmamış örnek gruplarıyla karşılaştırıldığında; hızlı yaşlandırma sonucunda örneklerin denge rutubet miktarlarının yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca hızlı yaşlandırılmamış örneklerle benzer bir davranış olarak, hızlı yaşlandırma sonucunda 212 °C de ısı işleme tabi tutulmuş örnekler 190 °C ve kontrol örneklerinden daha düşük denge rutubet miktarına sahiptirler.

Çizelge 3.30. Rutubet miktarı üzerine uygulanan işlemin etkisini araştıran Duncan karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$).

İşlem	Örnek Sayısı	Alt Gruplar				
		1	2	3	4	5
212 °C	40	4,300				
190 °C	40		5,425			
Kontrol	40			9,750		
H.Y. 212 °C	40			9,769		
H.Y. 190 °C	40				11,378	
H.Y. Kontrol	40					12,842

BÖLÜM 4

İRDELEME

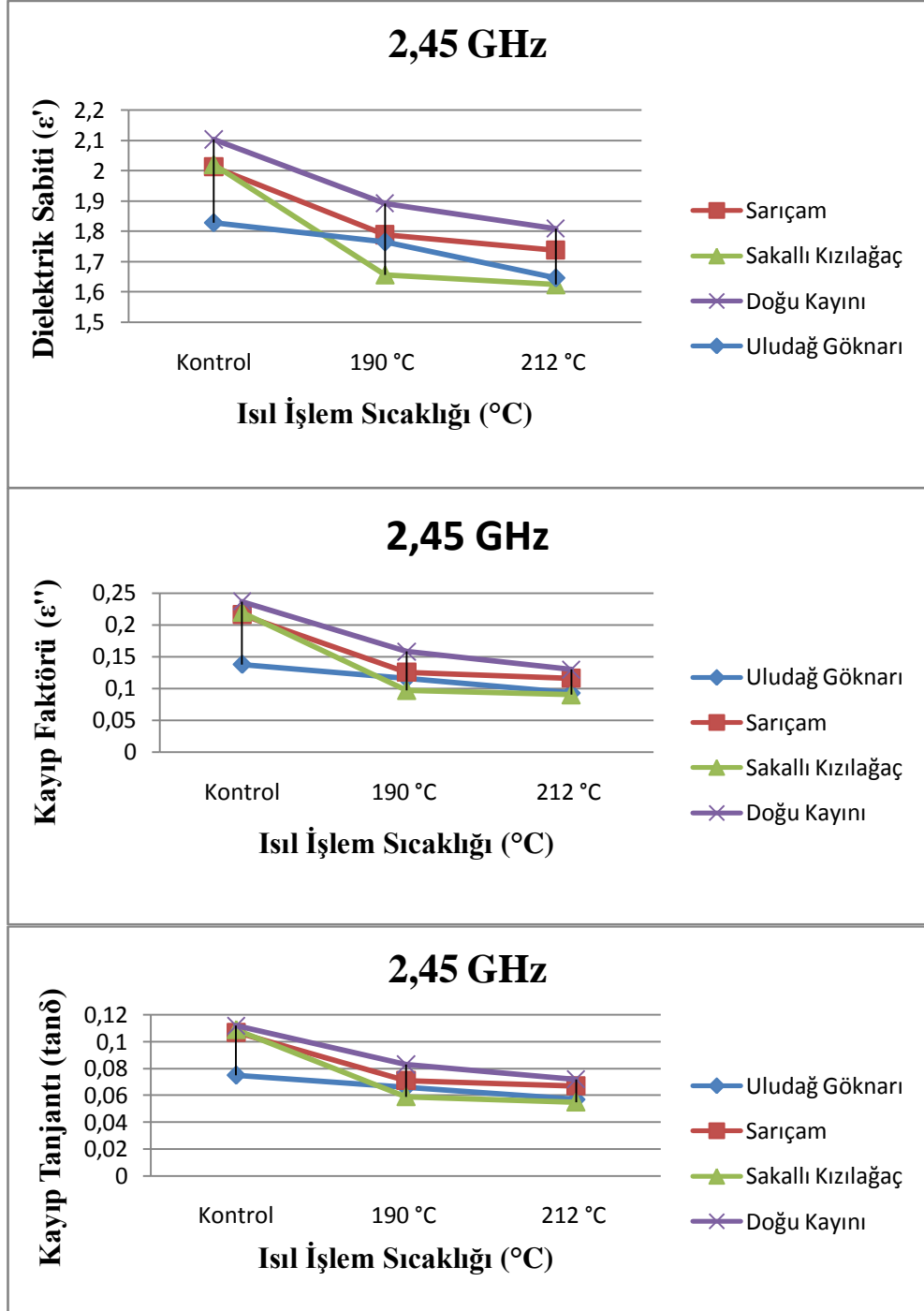
4.1. AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ISIL İŞLEMİN ETKİSİ

4.1.1. 2.45 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler

Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış Uludağ Göknarı, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını ağaç malzemelerinin, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında ve 2.45 GHz frekansındaki verileri değerlendirildiğinde; ısıtılmanın ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir (Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.4). Çalışılan tüm ağaç malzeme türlerinde ısıtılmanın etkisinin benzer olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.5).

Dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin ağaç türüne göre değişimi büyükten küçüğe doğru, Doğu Kayını, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Uludağ Göknarı sıralamasını takip ettiği (Çizelge 3.3) ve bunun da örnek yoğunluklarıyla doğru orantılı olduğu bulunmuştur.

Şekil 4.1’de dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantının ısıtılma sıcaklığına göre değişimi verilmiştir. Buna göre, ısıtılma görmüş örneklerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin ısıtılmamış kontrol örneklerine nazaran oldukça düşük olduğu görülmekte ve yapılan istatistiksel analizler sonucunda ısıtılma sonucunda oluşan bu düşüşlerin tüm ağaç malzemeler için istatistiksel olarak önemli olduğu elde edilmiştir (Çizelge 3.8).



Şekil 4.1. 2.45 GHz frekansında ağaç malzemelerin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin değişimi.

Kontrol örneklerine kıyasla ısı işleme tabi tutulan ağaç malzemelerin 2.45 GHz frekansındaki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinde meydana gelen azalma yüzdeleri Çizelge 4.1. de verilmiştir.

Buna göre, ısıl işlem dielektrik sabiti değerlerini düşürmekte ve ısıl işlem sıcaklığı arttıkça düşüş yüzdeleri de artmaktadır. Dielektrik sabiti değerinde kontrol örneklerine kıyasla azalma oranı en yüksek kızılâğaçta ve kayında ve en az ise Uludağ göknarında meydana gelmiştir. 212 °C de dielektrik sabitindeki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sakallı Kızıkağaçta % 19, Doğu Kayınında % 14, Sarıçamda % 13 ve Uludağ Gökmarında % 9 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Ağaç malzemelerde kontrol örneklerinin yani ısıl işlem görmemiş örneklerin kayıp faktörü değerlerinin ısıl işlem görmüş örneklerden oldukça yüksek olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. 212 °C de kayıp faktöründeki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Uludağ Gökmarında % 92, Sakallı Kızıkağaçta % 61, Doğu Kayınında % 48 ve Sarıçamda % 46 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1.). Buna göre, ısıl işlem kayıp faktörü değerlerini düşürmektedir.

Ağaç malzemelerde kontrol örneklerinin yani ısıl işlem görmemiş örneklerin kayıp tanjantı değerlerinin ısıl işlem görmüş örneklerden oldukça yüksek olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. 212 °C de kayıp tanjantındaki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sakallı Kızıkağaçta % 49, Sarıçamda % 37, Doğu Kayınında % 36 ve Uludağ Gökmarında % 24 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Buna göre, ısıl işlem kayıp tanjantı değerlerini düşürmektedir.

Isıl işlem sıcaklığının dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine etkisi irdelendiğinde, ısıl işlem sıcaklığının artışının genel olarak dielektrik parametreleri düşürdüğü ancak bazı ağaç türleri için bu düşüşlerin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Isıl işlem sıcaklığına göre dielektrik sabitinin değişimine bakıldığında, Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamda dielektrik sabitinin ısıl işlem sıcaklığının artışıyla değişmediği, ancak Uludağ Gökmarı ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Kayıp faktörünün ısıl işlem sıcaklığına göre değişimine bakıldığında, Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamda ısıl işlem sıcaklığının artışıyla kayıp faktörünün

değişmediği, ancak Uludağ Göknarı ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Kayıp tanjantının ısı işlem sıcaklığına göre değişime dikkate edildiğinde, Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamda ısı işlem sıcaklığının artışıyla kayıp tanjantının değişmediği, ancak Uludağ Göknarı ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Isıl işlem sonucunda 2,45 GHz frekansında dielektrik özelliklerdeki kontrole göre değişim yüzdeleri.

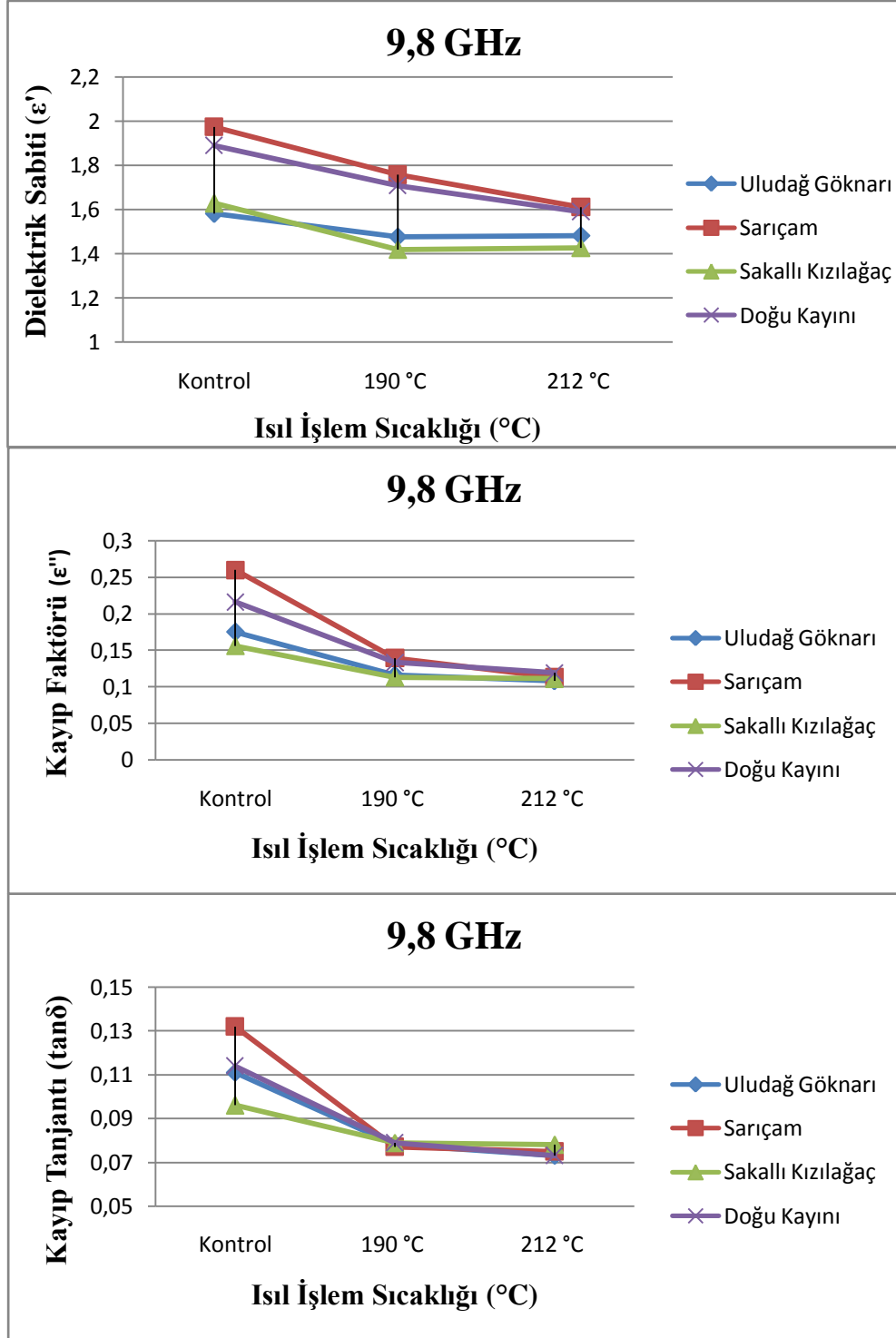
Dielektrik Özellikler	AğaçMalzeme	Değişim yüzdeleri (%)	
		190 °C	212 °C
Dielektrik Sabiti	SakallıKızılağaç	18	19
	UludağGöknarı	3	9
	DoğuKayını	10	14
	Sarıçam	11	13
Kayıp Faktörü	SakallıKızılağaç	57	61
	UludağGöknarı	91	92
	DoğuKayını	33	48
	Sarıçam	41	46
Kayıp Tanjantı	SakallıKızılağaç	45	49
	UludağGöknarı	12	24
	DoğuKayını	26	36
	Sarıçam	33	37

4.1.2. 9.8 GHz Frekansındaki Dielektrik Özellikler

Isıl işlem uygulanmış Uludağ Göknarı, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını ağaç malzemelerinin, ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında 9,8 GHz frekansındaki verileri değerlendirildiğinde; ısı işlem ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir (Şekil 4.5, 4.6, 4.7). Çalışılan tüm ağaç malzeme türlerinde ısı işlemin etkisinin benzer karaktere sahip olduğu belirlenmiştir.

Dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin ağaç türüne göre değişimi küçükten büyüğe doğru, Sakallı Kızılağaç, Uludağ Gökarnı, Doğu Kayını ve Sarıçam sıralamasını takip etmekte ve bunun da örnek yoğunluklarıyla doğru orantılı olduğu saptanmıştır. Şekil 4.2’de dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantının ısıtım işlem sıcaklığına göre değişimi verilmiştir. Buna göre, ısıtım işlem görmüş örneklerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin ısıtım işlem görmemiş kontrol örneklerine nazaran oldukça düşük olduğu görülmekte ve yapılan istatistiksel analizler sonucunda ısıtım işlem sonucunda oluşan bu düşüşlerin tüm ağaç malzemeler için istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır. Kontrol örneklerine kıyasla ısıtım işleme tabi tutulan ağaç malzemelerin 9.8 GHz frekansındaki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinde meydana gelen azalma yüzdeleri Çizelge 4.2. de verilmiştir.

Buna göre, ısıtım işlem dielektrik sabiti değerlerini düşürmekte ve ısıtım işlem sıcaklığı arttıkça düşüş yüzdeleri de artmaktadır. 212 °C de dielektrik sabitindeki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sarıçamda % 23, Doğu Kayınında % 15, Sakallı Kızıkağaçta % 13 ve Uludağ Gökarnında % 7 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). Ağaç malzemelerde kontrol örneklerinin yani ısıtım işlem görmemiş örneklerin kayıp faktörü değerlerinin ısıtım işlem görmüş örneklerden oldukça yüksek olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. 212 °C de kayıp faktöründeki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sarıçamda % 54, Doğu Kayınında % 45, Uludağ Gökarnında % 40 ve Sakallı Kızıkağaçta % 35 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.).



Şekil 4.2. 9.8 GHz frekansında ağaç malzemelerin ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin değişimi.

Ağaç malzemelerde kontrol örneklerinin yani ısıl işlem görmemiş örneklerin kayıp tanjantı değerlerinin ısıl işlem görmüş örneklerden oldukça yüksek olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. 212 °C de kayıp tanjantındaki

değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sarıçamda % 44, Doğu Kayınında % 36, Uludağ Gökarnında % 33 ve Sakallı Kızılağaçta % 19 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2.). Buna göre, ısı işlem kayıp tanjantı değerlerini düşürmektedir.

Çizelge 4.2. Isıl işlem sonucunda 9.8 GHz frekansında dielektrik özelliklerdeki kontrole göre değişim yüzdeleri.

Dielektrik Özellikler	Ağaç Malzeme	Değişim yüzdeleri (%)	
		190 °C	212 °C
Dielektrik Sabiti	Sakallı Kızılağaç	12	13
	Uludağ Gökarnarı	6	7
	Doğu Kayını	9	15
	Sarıçam	9	23
Kayıp Faktörü	Sakallı Kızılağaç	27	35
	Uludağ Gökarnarı	33	40
	Doğu Kayını	38	45
	Sarıçam	49	54
Kayıp Tanjantı	Sakallı Kızılağaç	17	19
	Uludağ Gökarnarı	29	33
	Doğu Kayını	31	36
	Sarıçam	40	44

Isıl işlem sıcaklığının artışının 9.8 GHz frekansındaki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine etkisi irdelendiğinde, ısı işlem sıcaklığının artışının genel olarak dielektrik parametreleri düşürdüğü ancak bazı ağaç türleri için bu düşüşlerin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Isıl işlem sıcaklığına göre dielektrik sabitinin değişimine bakıldığında, Sakallı Kızılağaç ve Uludağ Gökarnında ısı işlem sıcaklığının artışının dielektrik sabitini değiştirmedığı, ancak Sarıçam ve Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Kayıp faktörünün ısı işlem sıcaklığına göre değişimine bakıldığında, ısı işlem sıcaklığının artışıyla, Sakallı Kızılağaç, Uludağ Gökarnarı ve Sarıçamda kayıp faktörünün değişmediği, ancak Doğu Kayınında 212 °C deki değerlerin istatistiksel olarak 190 °C dekilerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Kayıp tanjantının ısı işlem sıcaklığına göre değişime dikkate edildiğinde, tüm ağaç malzeme türlerinde ısı işlem sıcaklığının artışıyla kayıp tanjantı değerlerinin değişmediği belirlenmiştir.

4.1.3. Isıl İşlemin Ağaç Malzemelerin Dielektrik Özellikleri Üzerine Etkisinin Genel Olarak Değerlendirilmesi

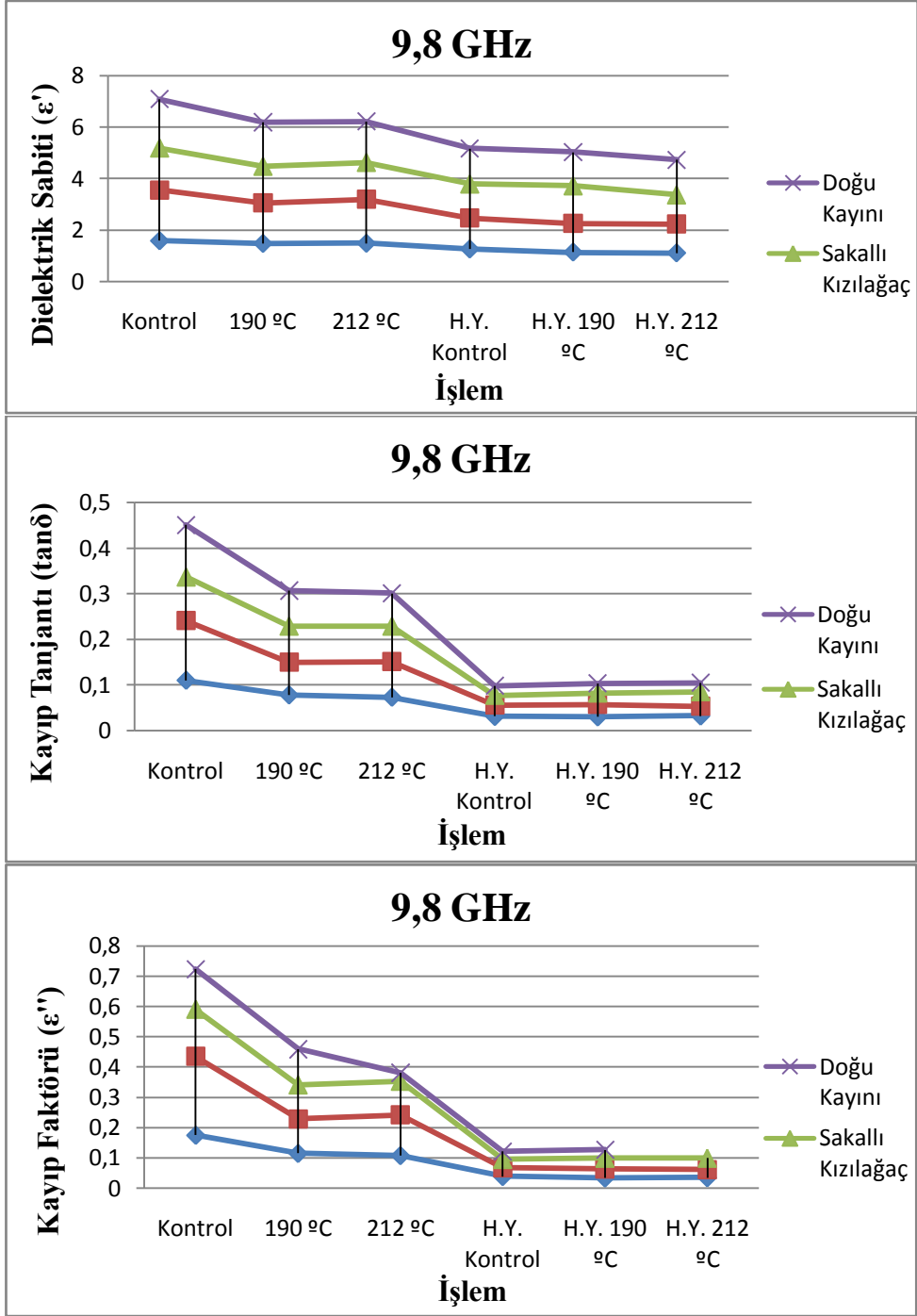
Çalışılan her iki frekansta ağaç malzemelerin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak dielektrik özelliklerindeki değişimin benzer karaktere sahip olması nedeniyle birlikte değerlendirilmiştir. Her iki frekansta da dielektrik sabiti kayıp faktörü ve kayıp tanjantının ısı işlem görmüş örneklerde kontrol örneklerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Yani ısı işlem dielektrik özellikleri düşürmektedir.

Literatürde ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin ağaç türü, yoğunluk, rutubet miktarı, anatomik yöne ve kimyasal yapıya bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir (Şahin 2002). Isıl işlem sonucunda ağaç malzemedeki kimyasal değişimler meydana gelmekte, özellikle ılımlı ısı işlem şartlarında hemiselülozların degradasyona uğradığı, lignin ve selülozdaki degradasyonun daha az olduğu belirtilmektedir. Isıl işlem sonucunda özellikle hidroksil gruplarında azalma meydana gelmektedir. Hemiselülozlar ısı işlem süresince hidroliz reaksiyonları tarafından oligomer ve monomerlere depolimerize olur. Isıl işlem süresi ve sıcaklığı hemiselüloz bozulmasını etkileyen iki önemli faktördür. Sıcaklık ve suredeki artmaya bağlı olarak arabinoz ve galaktoz gibi yan zincir bileşenleri ayrılır ve bunu mannoz glikoz ve ksiloz gibi ana bileşenlerin bozulması izler. Pentoz ve heksozlar sırasıyla furfural ($C_5H_4O_2$) ve hidroksimetil furfural ($C_6H_6O_3$)'a dehidrate olur. Ayrıca formaldehid (CH_2O) gibi diğer aldehydler ($O=CH-$) ligninde $C\gamma$ 'den bölünmede olduğu gibi karbonhidratların C_6 'danbolunmesi sebebiyle bulunur. Bundan başka hemiselülozun asetil yan zincirlerinden asetik asit ayrılır ve odunun asetil ($COCH_3$) içeriği azalır. Hemiselülozun daha az higroskopikolan furfural polimerlerine hidrolize olması boyutsal stabiliteyi arttırmakta ve denge rutubet miktarını azaltmaktadır (Korkut vd., 2009; Hill, 2006).

Bir elektrik alanının etkisi altında ağaç malzemenin kutuplaşma işlemine yani dielektrik özelliklerinden hidroksil grupları (-OH) ve metilol gruplarının (-CH₂OH) yöneysel kutuplaşması sorumludur (Şahin, 2002). Yani hidroksil gruplarının azalması dielektrik özelliklerde düşüğe neden olmaktadır. Bu durumda ısı işlemli örneklerin dielektrik özelliklerindeki düşüşün nedeni ısı işlem sonucunda hidroksil gruplarındaki azalma buna bağlı olarak denge rutubet miktarının düşüşü ile açıklanabilir. Isıl işlem sıcaklığının dielektrik özellikler üzerine etkisi değerlendirildiğinde ise sıcaklık arttıkça dielektrik özelliklerde düşüş olduğu ve özellikle dielektrik sabitinde aradaki farkların bütün ağaç türlerinde önemli olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni yine ısı işlem sıcaklığının artışına bağlı olarak meydana gelen kimyasal degradasyonun artması özellikle hidroksil gruplarında önemli oranda azalışın meydana gelmesi ve selülozun kristalite oranının artmasıdır (Hill, 2006). Kristalite derecesinin artışıyla dielektrik sabiti azalır. (Torgovnikov, 1993; Şahin, 2002).

4.2. AĞAÇ MALZEMELERİN DIELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE HIZLI YAŞLANDIRMANIN ETKİSİ

288 saat hızlı yaşlandırmaya tabi tutulmuş doğal haldeki ve ısı işlem uygulanmış örneklerin, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında ve 9,8 GHz frekansında belirlenen dielektrik verileri değerlendirildiğinde; hızlı yaşlandırmanın doğal haldeki ve ısı işlemli ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Çalışılan tüm ağaç malzeme türlerinde hızlı yaşlandırma etkisinin benzer karaktere sahip olduğu belirlenmiştir. Hızlı yaşlandırılmış doğal haldeki kontrol örnekleri ile 190 °C ve 212 °C de ısı işlem görmüş örneklerin dielektrik özellikleri karşılaştırıldığında ise gruplar arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Bu durumda hızlı yaşlandırılma sonucunda dielektrik özelliklerde düşüş meydana geldiği ancak bu düşüşün kontrol örneklerinde daha fazla meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.3. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisi.

Hızlı yaşlandırma sonucunda dielektrik özelliklerin azalışının nedenlerini belirlemek amacıyla örneklerin yoğunluk değerleri ve rutubet miktarları üzerine hızlı yaşlandırmanın etkisi çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir.

En yüksek yoğunluk değerleri doğal haldeki kontrol örneklerinde ve en düşük değerler 212 °C de ısıll işlemli örneklerde bulunmuştur. Isıll işlemli örneklerde hızlı yaşlandırma sonucu yoğunluğun bir miktar düştüğü ancak aradaki farkların istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Doğal haldeki örneklerde de hızlı yaşlandırmanın etkisinin ısıll işlemli örneklerle aynı karakterde olduğu belirlenmiştir.

Hızlı yaşlandırılmış örnek gruplarının rutubet miktarı hızlı yaşlandırılmaya tabi tutulmamış örnek gruplarıyla karşılaştırıldığında; hızlı yaşlandırma sonucunda örneklerin denge rutubet miktarlarının yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca hızlı yaşlandırılmamış örneklerle benzer bir davranış olarak, hızlı yaşlandırma sonucunda 212 °C de ısıll işleme tabi tutulmuş örnekler 190 °C ve kontrol örneklerinden daha düşük denge rutubet miktarına sahiptirler.

Hızlı yaşlandırma sonucunda dielektrik özelliklerde düşüş olduğu belirlenmiştir. Dielektrik özellikler rutubet miktarı, yoğunluk ve kimyasal yapıdan etkilenmektedir (Göker vd., 2004; Şahin, Ay, 2004; Şahin, 2002). Bu çalışmada hızlı yaşlandırma sonucunda rutubet miktarında artış olduğu ancak yoğunluk değerlerinin değişmediği belirlenmiştir. Bu durumda dielektrik özelliklerde yükselme olması beklenir. Çünkü rutubet miktarı arttıkça dielektrik özelliklerde artış olduğu bilinmektedir (Ay, Şahin, 2004). Bu durumda dielektrik özelliklerdeki meydana gelen bu düşüş miktarı hızlı yaşlandırma sonucunda odunda meydana gelen kimyasal değişimlere atfedilebilir.

Yaşlandırma sonucunda odunda yüzeysel bozunma olduğu, kimyasal bağların zayıfladığı ve lignin ve hemiselüloz degradasyonu meydana geldiği belirtilmektedir (Özgenç vd., 2012). Hemiselülozların ana türlerinden biri olan glukomannanın dielektrik özellikleri selülozun dielektrik özelliklerine yakındır. Ligninin dielektrik özellikleri ise selüloz ve mannanın dielektrik özelliklerine kıyasla oldukça küçüktür. Ligninde -OH ve -CH₂OH olmak üzere iki grubun dipol hareketi dielektrik kaybına neden olmaktadır (Şahin 2002; Torgovnikov, 1993; Norimoto ve Yamada, 1972). Bu durumda dielektrik özelliklerdeki düşüş odunun kimyasal bileşiklerinden hemiselüloz ve ligninin degradasyonuna atfedilebilir.

Hızlı yaşlandırma sonucunda ısıtıl işlem görmüş ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri kontrol örneklerinkine benzemektedir. Ancak çalışmanın birinci bölümünde ısıtıl işlem sonucunda ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinde düşüş olduğu belirlenmiş ve bu durum hemiselülozların degradasyonu ve buna bağlı olarak denge rutubet miktarındaki düşüşle açıklanmıştır. Hızlı yaşlandırma sonucunda da ısıtıl işlemli örneklerin denge rutubet miktarları kontrol örneklerinden düşük çıkmakla beraber dielektrik özelliklerin aynı olması, kontrol örneklerinde hızlı yaşlandırma sonucunda meydana gelen lignin ve hemiselülozlardaki degradasyonun daha fazla olması ile açıklanabilir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada iki aşamada çalışılmış, birinci aşamada 190 °C ve 212 °C de ısıl işlem görmüş Uludağ Göknaarı, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını ağaç malzemelerinin, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında 2.45 ve 9.8 GHz frekanslarındakidielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri kontrol örnekleriyleve ısıl işlem sıcaklığına bağılı olarak karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada hem ısıl işlem görmüş ağaç malzemeler hemde ısıl işlem görmemiş örnekler hızlı yaşlandırmaya tabi tutulmuş ve hızlı yaşlandırmanın etkisi irdelenmiştir. Çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

1. Kontrol örnekleri ile ısıl işlem görmüş örneklerinin dielektrik parametreleri karşılaştırıldığında ısıl işlemlili örneklerin daha düşük değerleri verdiği belirlenmiştir.
2. Isıl işlem sıcaklığının etkisi dikkate alındığında, çalışılan tüm ağaç malzemelerde ısıl işlem sıcaklığı arttıkça dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca ısıl işlem sıcaklığı arttıkça dielektrik özelliklerde meydana gelen düşüş oranlarının ağaç türlerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.
3. En yüksek dielektrik parametreler, kontrol örneklerinde en düşük değerler ise 212 °C de ısıl işlem görmüş olan ağaç malzemelerde rastlanmıştır.
4. 2.45 GHz frekansında kontrol örneklerine kıyasla 212 °C de dielektrik sabitindeki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sakallı Kızıkağaçta %

5. 19, Doğu Kayınında % 14, Sarıçamda % 13 ve Uludağ Gökmarında % 9 olduğu tespit edilmiştir. 2.45 GHz frekansında ağaç malzemelerin kontrol örneklerine kıyasla 212 °C de kayıp faktörü değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Uludağ Gökmarında % 92, Sakallı Kızıkağaçta % 61, Doğu Kayınında % 48 ve Sarıçamda % 46 olduğu tespit edilmiştir.
6. 2.45 GHz frekansında ağaç malzemelerin kontrol örneklerine kıyasla 212 °C de kayıp tanjantındaki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sakallı Kızıkağaçta % 49, Sarıçamda % 37, Doğu Kayınında % 36 ve Uludağ Gökmarında % 24 olduğu tespit edilmiştir.
7. 2.45 GHz frekansında Isıl işlem sıcaklığının dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine etkisi, ısıl işlem sıcaklığının artışının dielektrik parametreleri düşürdüğu ancak bazı ağaç türleri için bu düşüşlerin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.
8. 9.8 GHz frekansında ağaç malzemelerin kontrol örneklerine kıyasla 212 °C de dielektrik sabitindeki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sarıçamda % 23, Doğu Kayınında % 15, Sakallı Kızıkağaçta % 13 ve Uludağ Gökmarında % 7 olduğu tespit edilmiştir.
9. 9.8 GHz frekansında ağaç malzemelerin kontrol örneklerine kıyasla 212 °C de kayıp faktöründeki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sarıçamda % 54, Doğu Kayınında % 45, Uludağ Gökmarında % 40 ve Sakallı Kızıkağaçta % 35 olduğu tespit edilmiştir.
10. 9.8 GHz frekansında ağaç malzemelerin kontrol örneklerine kıyasla 212 °C de kayıp tanjantındaki değişim yüzdeleri büyükten küçüğe doğru Sarıçamda % 44, Doğu Kayınında % 36, Uludağ Gökmarında % 33 ve Sakallı Kızıkağaçta % 19 olduğu tespit edilmiştir.
11. Isıl işlem sıcaklığının artışının 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine etkisi, ısıl işlem sıcaklığının artışının

dielektrik parametreleri düşürdüğü ancak bazı ağaç türleri için bu düşüşlerin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

12. Ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri ağaç malzeme türüne göre değişiklik göstermesi nedeninin yoğunluk ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir.
13. Hızlı yaşlandırmanın doğal haldeki kontrol ve ısıtılmış ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Çalışılan tüm ağaç malzeme türlerinde hızlı yaşlandırmanın etkisinin benzer karaktere sahip olduğu belirlenmiştir.
14. Hızlı yaşlandırılmış doğal haldeki kontrol örnekleri ile 190 °C ve 212 °C de ısıtılmış örneklerin dielektrik özellikleri karşılaştırıldığında ise gruplar arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Bu durumda hızlı yaşlandırılma sonucunda dielektrik özelliklerde düşüş meydana geldiği ancak bu düşüşün kontrol örneklerinde daha fazla meydana geldiği saptanmıştır.

5.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar; ısıtılmış ve aynı zamanda hızlı yaşlandırılmış ağaç malzemelerinin kalitelerinin, rutubetlerinin vb. özelliklerinin belirlenmesi için mikrodalga cihazlar tercih edildiğinde, ısıtılmış ağaç malzeme için tasarlanmış cihazların doğru sonuçlar veremeyeceğini işaret etmektedir. Bu nedenle daha güvenli sonuçlara ulaşmak için, bu cihazların tasarımının ısıtılmış ve aynı zamanda hızlı yaşlandırılmış ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerini kullanarak geliştirilmesi uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Atlas Electronic Devices Company, “Weathering Testing Guidebook”, *Atlas Electronic Devices Company*, USA (2005).

Ay, N. ve Sahin, H., “Dielectric Constant of Turkish Timbers in longitudinal direction at 9.8 GHz frequency”, *Forest Products Journal (ISI)* , 54 (10): 65-68 (2004).

Aydemir, D., “Göknar (*Abies Bornmülleriana* mattf.) ve gürgen (*Carpinus Betulus*L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısı işleminin etkisi”, *ZKÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın, 7-68 (2007).

Aytin, A., “Yabani Kiraz (*Cerasus avium* (L.) Monench) odunun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine yüksek sıcaklık uygulanmasının etkisi”, Doktora Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce, 44-45 (2013).

Balaban, M. ve Ucar, G., “The correlation of wood acidity to its solubility by hot water and alkali”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 59: 67-70 (2001).

Barnes, D., Admiraal, L., Pike, R. L. and Mathur, V. N. P., “Continuous system for the drying of lumber with microwave energy”, *Forest Products Journal*, 26 (5): 31-42 (1976).

Berkel, A., “Ağaç Malzeme Teknolojisi, 1. Cilt”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 147: 174-190 (1970).

Boonstra, M. J., “Two stage thermal modification of wood”, Ph. D. Thesis, *Ghent University and Université Henry Poincaré-Nancy*, Gent, Belçika, 20-90 (2008).

Bourgois, J., Bartholin, M. C. and Guyonnet, R., “Thermal treatment of wood analysis of the obtained product”, *Wood Science and Technology*, 23 (4): 303–310 (1989).

Bozkurt, Y. ve Erdin, N., “Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar”, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları*, İstanbul, 162-164 (1989).

Bozkurt, Y. A., “Odun Anatomisi”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 207-210 (1992).

Bozkurt, Y. ve Erdin, N., “Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar”, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları*, İstanbul, 4: 153-155 (1989).

Bozkurt, Y., ve Erdin, N., “Odun Anatomisi”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul (2000).

Bufkin, B. G. and Wildman, G. C., “Environmentally acceptable coatings for the wood industry”, *Forest Product Journal*, 30: 37-44 (1980).

Chang, C. I. and Keith, C. T., “Properties of heat-darkened wood. II. Mechanical properties and gluability”, *FPL Report OPX214E*, Canada, 1-19 (1978).

Chatterjee, R., “Advanced Microwave Engineering Special Advanced Topics”, *Ellis Horwood Limited*, England, 493-495 (1988).

Çakıcıer, N. ve Sevim Korkut, D., “Ahşap yüzeylere uygulanan kaplama katmanlarında yaşlandırma testleri”, *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5 (1): 75-90 (2009).

Çakıcıer, N., “Ağaç malzeme yüzey işleme katmanlarında yaşlanma sonucu belirlenen değişiklikler”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul (2007).

Çaliova, Z., “Kızılağaç ve doğu ladini odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri zerine ısı işleminin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2011).

Ekman, R., “Analysis of the nonvolatile extractives in Norway spruce sapwood and heartwood”, *Acta Academiae Aboensis*, 39: 1-20 (1979).

Feist, W. C., Hajny, G. J. and Springer, E. L., “Effect of storing green wood chips at elevated temperatures”, *TAPPI*, 56 (8): 91–95 (1973).

Feller, R. L. “Accelerated Aging, Photochemical and Thermal Aspects”, *Getty Conservation Institute*, USA (1994).

Fengel, D and Wegener, G., “Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions”, *Walter De Gruyter*, New York, 121 (1984).

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

Finnish ThermoWood Association, “ThermoWood Handbook”, *Finnish ThermoWood Association*, Helsinki, Finland, (2003).

Garrote, G., Domínguez, H. and Parajó, J. C., “Hydrothermal processing of lignocellulosic materials”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57 (3): 191–202 (1999).

Göker, Y., Şahin, H. ve Ay, N., “Odunun dielektrik özelliklerini etkileyen faktörler”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 54 (1): 21-36 (2004).

Güller, B., ve Korkut, D. S., “The effects of heat treatment on some physical properties and surface roughness in red-bud maple (*Acer trautvetteri* Medw.) wood”, *Bioresource Technology*, 38-48 (2007).

Hafizoğlu, H., “Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Basımevi*, Trabzon, 52: 22-29 (1982).

Hafizoğlu, H., ve Usta, M., “Chemical composition of coniferous wood species occurring in Turkey”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63: 83–85 (2005).

Haw, J. F. and Schultz, T. P., “Carbon-13 CP/MAS NMR and FT-IR study of low temperature lignin pyrolysis”, *Holzforschung*, 39 (5): 289–296 (1985).

Hietala, S. and Maunu, S. L., “Structure of thermally modified wood studied by liquid state NMR measurements”, *Holzforschung*, 56 (5): 522–528 (2002).

Hill, C. A. S., “Chemical, Thermal and Other Processes”, Christian V. Stevens, *Wood Modification*, Belgium, 102-108 (2006).

Hillis, W. E., “The role of wood characteristics in high temperature drying”, *Journal Industrial Wood Science*, 7 (2): 60-67 (1975).

Jacques, L. F. E., “Accelerated and outdoor/natural exposure testing of coatings”, *Progress in Polymer Science*, 25: 1337-1362 (2000).

James, W. L., “Dielectric behavior of douglas-fir at various combinations of temperature frequency, and moisture content”, *Forest Products Journal*, 27 (6): 44-48 (1977).

James, W. L., “Dielectric properties of wood and hardboard: variation with temperature”, Frequency, Moisture Content, and Grain Orientation, *USDA Forest Service Research Paper*, FPL (245): 1-32 (1975).

Jämsä, S. and Viitaniemi, P., “Heat treatment of wood better durability without chemicals”, *Proceedings of COST E22 Environmental Optimisation of Wood Protection*, Antibes, France, 21-26 (2001).

Johansson, D., “Drying and heat treatment of wood: Influences on internal checking”, *Proceedings 3rd Nordic Drying Conference*, Karlstad, Sweden 1-10 (2005).

Kabir, M. F., Daud, W. M., Khalid, K. and Sidek, H. A. A., “Dielectric and ultrasonic properties of rubber wood. effect of moisture content, grain direction and frequency”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 56: 223-227 (1998).

Kabir, M. F., Daud, W. M., Khalid, K. B. and Sidek, H. A. A., “Temperature dependence of the dielectric properties of rubber wood”, *Wood and Fiber Science*, 32 (2): 233-238 (2001).

Kandem, DP., Pizzi, A. and Jermannaud, A., “Durability of heat-treated wood”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60: 1-6 (2002).

Ketola, W. D. and Grossman, D., “Accelerated and outdoor durability testing of organic materials”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, USA, 169-182 (1994).

Koleske, V. J., “Paint and coating testing manual”, *American Society for Testing and Materials*, 53: 643-653 (1995).

Korkut, S. ve Kocaefe, D., “Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi”, *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5 (2): 11-34 (2009).

Malkoçoğlu, A. K., “Doğu kayını (*fagus orientalis* L.) odununun teknolojik özellikleri”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 1-136 (1994).

Mayes, D. and Oksanen, O., “Thermowood Hand Book”, *Finnforest*, Finland, 5-15 (2002).

McDonald, A. G., Dare, P. H., Gifford, J. S., Steward, D. and Riley, S., “Assessments of air emissions from industrial kiln drying of *Pinus radiata* wood”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60: 181-190 (2002).

McDonald, K. A., Falk, R. H., William, R. S., and Winandy, J. E., “Wood Decks. Materials, Onstruction, and Finishing”, *Forest Products Society*, Madison, WI, (1996)

Merey, N., “Odun anatomisi ve odun tanıtımı”, Lisans Ders Notları, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi*, Trabzon, 36-52 (1984).

Militz, H., “Thermal treatment of wood: European processes and their background”, *International Research Group on Wood Preservation*, Cardiff-Wales, 1-17 (2002).

Millett, M. A. and Gerhards, G. C., “Accelerated aging: residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115 °C to 175 °C”, *Wood Science*, 4 (4): 193–201 (1972).

Norimoto, M. and Yamada, T., “The dielectric properties of wood v_1 , on the dielectric properties of the chemical constituents of wood and the dielectric anisotropy of wood”, *Wood Research*, 52: 30-43 (1972).

Norimoto, M. and Yamada, T., “The dielectric properties of wood v , on the dielectric anisotropy of wood”, *Wood Research*, 51: 12-32 (1971).

Norimoto, M., “Dielectric properties of wood”, *Wood Research*, 59 (60): 106-151 (1976).

Norimoto, M., Hayashi, S. and Yamada, T., “Anisotropy of dielectric constant in coniferous wood”, *Holzforchung*, 32 (5): 167-172 (1978).

Olmi, R., Bini, M., Ignesti, A. and Riminesi, C., “Dielectric properties of wood from 2 to 3 GHz”, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 35 (3): 135-143 (2000).

Özen, R. ve Sönmez, A., “Ahşap verniklerin harici etkilere karşı dayanıklılığına ilişkin araştırmalar”, *Devlet Planlama Teşkilatı Araştırma Projesi Kesin Raporu*, Ankara (1996).

Özgenc, O., Hızıroğlu, S. ve Yıldız, U. C., “Weathering properties of wood species treated with different coating applications”, *Bioresource*, 7 (4): 4875- 4888 (2012).

Rapp, A. O., “Review of heat treatment of wood”, *Proceedings of COST E22 Environmental Optimisation of Wood Protection*, Antibes, France, 6 (2001).

Risholm-Sundman, M., Lundgren, M., Vestin, E. and Herder, P., “Emissions of acetic acids and other volatile organic compounds from different species of solid wood”, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56: 125-129 (1998).

Rusche, H., “Thermal degradation of wood Şhaat temperatures up to 200 °C. part II. reaction kinetics of loss of mass during heat treatment of wood”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 31 (8): 307-312 (1973).

Sanderman, W. and Augustin, H., “Chemical investigations on the thermal decomposition of wood-part III: chemical investigation on the course of decomposition”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 22 (10): 377-386 (1964).

Santos, J. A., “Mechanical behaviour of Eucalyptuswood modified by heat”, *Wood Science and Technology*, 34: 39-43 (2000).

Stamm, A. J., “Thermal degradation of wood and cellulose”, *Industrial and Engineering Chemistry*, 48 (3): 413-417 (1956).

Stamm, A., Burr, H. and Kline, A., “Stayb-wood-a heat stabilized wood”, *Industrial and Engineering Chemistry*, 38 (6): 630-634 (1946).

Stamm, A. J., “Thermal Properties, Wood and Cellulose Science”, *Ronald Press Company*, New York, 283-293 (1964).

Suits, L. D., and Hsuan, Y. G., “Assessing the photo-degradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer”, *Geotextiles and Geomembranes*, 21: 111-122 (2003).

Şahin Kol, H., “Characteristics of heat-treated Turkish Pine and fir wood after thermowood processing”, *Journal of Environmental Biology (ISI)*, 31 (6): 1007-1011 (2010).

Şahin, H. ve Ay, N., “Dielectric properties of hardwood species at microwave frequencies”, *Journal of Wood Science (ISI)*, 50 (4): 375-380 (2004).

Şahin, H., “Mikrodalga frekanslarda doğal ve emprenye edilmiş odun türlerinin dielektrik özellikleri”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 1-59 (2002).

Şahin, K. H. ve Sefil, Y., “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 (2011).

Şahin, K. H., “Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing”, *Journal of Environmental Biology*, 31: 1007-1011 (2010).

Thostenson, E. T. and Chou, T. W., “Microwave processing: fundamentals and applications”, *Composites*, Part A (30): 1055-1071 (1999).

Tinga, W. R., “Dielectric properties of douglas fir at 2.45 GHz”, *Journal of Microwave Power*, 4 (3): 160-164 (1969).

Torgovnikov, G. I., “Dielectric properties of wood and wood-based materials”, *Springer-Verlag*, Berlin, 1-115 (1993).

TS 2470, “Odununda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikleri”, *TSE*, Ankara (1976).

TS 4176, “Odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin tayini için homojen meşçerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması”, I. Baskı, *TSE* Ankara (1984).

Tunçgenç, M., “Genel Boya Bilgileri, Teknik Bülten”, *Akzo Nobel Kemipol A.Ş.*, İzmir (2004).

Vermaas, H. F., “The dielectric properties of wood” Degree of Doctor of Science, *University of Stellenbosch*, South Africa, 1-52 (1971).

Vermaas, H. F., Pound, J. and Borgin, K. B., “The loss tangent of wood and its importance in dielectric heating”, *South African Forestry Journal*, 89: 5-8 (1974).

Viitanen, H., Jamsa, S., Paajanen, L., Nurmi, A. and Viitaniemi, P., “The effect of heat treatment on the properties of spruce”, *IRG/WP 94-40032 Annual*, Indonesia, 3-4 (1994).

Viitaniemi, P., “New properties for thermally-treated wood”, *Indust Horizons*, 9 (2000).

Viitaniemi, P., “ThermoWood – Modified wood for improved performance”, Trätekt Rapport, *Proceedings Of Wood Theecological Material The 4th Euro-Wood Symposium*, Stockholm, Sweden, 9709084, 22-23/67–69 (1997).

Yalınkılıç, M. K., “Ağaç malzemenin yanma, higroskopisite ve boyutsal stabilite özelliklerinde çeşitli emprenye maddelerinin neden olduğu değişiklikler ve bu maddelerin odunda yıkanabilirlikleri”, Doçentlik Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi**, Trabzon (1996).

Yıldız, Ü. C., “Oduunun kimyasal modifikasyonu”, **III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi**, Artvin, Türkiye, 1681-1690 (2010).

Yıldız, S. ve Gümüşkaya, E., “The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood”, **Building and Environment**, 42 (1): 62-67 (2007).

Yıldız, S., “Effect of heat treatment on waterrepellence and anti-swelling efficiency of beech”, **The International Research Group On Wood Preservation**, Document No: IRG/WP 02-40222 (2002).

Yokoyama, M. and Norimoto, M., “Contour diagrams of dielectric loss for absolutely dried spruce wood”, **Wood Research**, 83: 37-39 (1996).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa BAYDAĞ 1985 yılında Ankara'nın Mamak ilçesinde doğdu; ilkokulunu Ankara Mamak ilçesine bağlı Açıkalın İlköğretim Okulunda tamamladı. Ortaokulunu Ankara ilinin Mamak ilçesinde tamamladıktan sonra Abidinpaşa Endüstri Meslek Lisesi Mobilya ve Dekorasyon Bölümün'den 2001 yılında mezun oldu.2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunun Mobilya ve Dekorasyon Bölümünü tamamlayarak DGS sınavı ile Karadeniz Teknik Üniversitesinin Orman Endüstri Mühendisliği bölümünü kazandı. 2006 yılında Orman Endüstri Mühendisliği bölümünü kendi isteği ile bıraktı. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümünde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Natoyolu Cad. Aras Apt.

No:31 Daire:1

Mamak / ANKARA

Cep Tel : 0538 630 69 20

E-posta : murat_baydag_06@hotmail.com