

**MİKRODALGA FREKANSLARDA LAMİNE AĞAÇ  
MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ**

**Hasan GÖREN**

**MİKRODALGA FREKANSLARDA LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN  
DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**Hasan GÖREN**

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

**KARABÜK  
Nisan 2013**

Hasan GÖREN tarafından hazırlanan “MİKRODALGA FREKANSLARDA LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ” 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 Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 22/ 04/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA (BÜ)



Üye : Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN (KBÜ)




...../...../2013

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

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”*

Hasan GÖREN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MİKRODALGA FREKANSLARDA LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Hasan GÖREN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı :

Doç. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL

Nisan 2013, 95 sayfa

Bu çalışmada Uludağ Göknaarı [*Abies bornmülleriana* Mattf] ve Doğu Kayını [*Fagus orientalis* Lipsky] odun türlerinden Üre Formaldehit (ÜF), Melamin Üre Formaldehit (MUF) ve Fenol Formaldehit (FF) tutkalları ile üretilen Lamine Ağaç Malzemelerin (LVL) dielektrik özellikleri mikrodalga frekanslarında incelenmiş ve masif kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada lamine ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri üzerine odun türü, tutkal türü ve frekansın etkisi incelenmiştir.

Dielektrik özellikler (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. LVL'lerin dielektrik özellikleri tutkal hattına dik ve hava kurusu halde belirlenmiştir.

Sonuç olarak, lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin frekansa göre değişim karakterinin masife benzediği ve frekansın artışıyla birlikte dielektrik özelliklerin düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca, çalışılan her iki frekansta dielektrik özelliklerin tutkal türüne ve odun türüne göre değişiminin benzer karaktere sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, mikrodalga frekanslarda lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin masif ağaç malzemedeki düşük olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri üzerine odun türünün etkisinin masife benzer olduğu ve yüksek yoğunluğa sahip odunlardan elde edilen lamine ağaç malzemelerde dielektrik özelliklerin yüksek olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerinin tutkal türüne göre değiştiği ve ÜF ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin en düşük değerlere ve FF ile üretilenlerin ise en yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin tutkal türüne göre değişiklik göstermediği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Lamine ağaç malzeme, dielektrik sabit, kayıp faktörü, kayıp tanjantı, mikrodalga frekanslar.

**Bilim Kodu :** 711.3.023

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DIELECTRIC PROPERTIES OF LAMINATED VENEER LUMBER AT MICROWAVE FREQUENCIES**

**Hasan GÖREN**

**Karabuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Furniture and Decoration Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL**

**April 2013, 95 pages**

In this study, dielectric properties of laminated veneer lumber (LVL) prepared from Turkish fir [*Abies bornmülleriana* Mattf] and beech [*Fagus orientalis* Lipsky] veneers bonded with urea formaldehyde (UF), melamine urea formaldehyde (MUF), and phenol formaldehyde (PF) adhesives and solid wood specimens of the same species were tested to evaluate the effects of species, adhesive type and frequency.

The method used was based upon Von Hippel's transmission line method. Frequencies used for this study were 2.45 GHz and 9.8 GHz; and the measurements were carried out at a room temperature of 20-24 °C. The dielectric properties of LVL were determined for the edgewise direction at air-dry condition.

The results showed that the dielectric behavior of LVLs according to frequency is similar to that of solid wood of the same species and the dielectric properties of

LVLs decreased as frequency increased. Also, dielectric behavior of LVLs according to wood species and adhesive type is similar at microwave frequencies.

Test results showed that the dielectric properties of solid wood were greater than those of LVLs of the same species. The effects of wood species on the dielectric properties of LVLs were similar to that of solid wood. LVLs prepared from beech wood had greater dielectric properties than LVLs prepared from fir wood. Also, adhesive type was found to have a significant effect on the dielectric constant of the LVLs but not on the loss factor and the loss tangent. Whereas LVLs bonded with UF had the lowest dielectric constant value, LVLs bonded with FF had the highest one.

**Key word** : Laminated veneer Lumber, Dielectric constant, loss factor, loss tangent, microwave frequency.

**Science Code** : 711.3.023



## TEŞEKKÜRLER

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

Yüksek Lisans Eğitim hayatım boyunca, yönlendirme ve bilgilendirmeleri ile yardımlarını esirgemeyen, Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Yrd. Doç. Dr. Suat ALTUN hocama çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi, çok kıymetli Hocam, Sayın. Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA hocama katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bugüne kadar her durumda desteklerini esirgemeyen başta eşim olmak üzere tüm aileme saygılarımı sunarım. Ayrıca beni bugünlere kadar getiren yaşamı boyunca koruyup kollayan canım babam Küçük Mustafa GÖREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜRLER.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1.....	1
GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. MİKRODALGA FREKANSLARDA AĞAÇ MALZEMENİN DİELEKTRİK DAVRANIŞI.....	4
1.2.1. Dielektrik Parametreler.....	4
1.2.2. Ağaç Malzemenin Kutuplanması.....	5
1.2.3. Dielektrik Bakış Açısından Ağaç Malzemenin Yapısı.....	6
1.2.3.1. Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri.....	7
1.2.3.2. Hava, Serbest Su ve Bağlı Suyun Dielektrik Özellikleri.....	9
1.2.4. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler.....	10
1.2.4.1. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi .	10
1.2.4.2. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi .	11
1.2.4.3. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubetin Etkisi..	11
1.2.4.4. Ağaç Malzeme lif yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi.....	13

	<b><u>Sayfa</u></b>
1.3. LAMİNASYON TEKNİĞİ.....	13
1.3.1. Laminasyon Sisteminin Faydaları .....	15
1.3.2. Laminasyon Sisteminin Sakıncaları.....	17
1.3.3. Lamine Uygulamasında Ağaç Malzeme Seçimi.....	17
1.3.4. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi .....	18
1.3.5. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları .....	20
1.3.6. Lamine Ağaç Malzemelerin Bazı Kullanım Yerleri.....	21
BÖLÜM 2.....	23
MATERYAL VE METOD.....	23
2.1. MATERYAL .....	23
2.1.1. Ağaç Malzeme .....	23
2.1.1.1. Doğu Kayını [ <i>Fagus orientalis</i> Lipsky] .....	23
2.1.1.2. Uludağ Göknaarı [ <i>Abies bornmülleriana</i> Mattf.] .....	24
2.1.2. Laminasyonda Kullanılan Tutkallar .....	25
2.1.2.1. Üre Formaldehit Tutkalı.....	25
2.1.2.2. Fenol Formaldehit Tutkalı.....	26
2.1.2.3. Melamin Üre Formaldehit Tutkalı .....	27
2.2. YÖNTEM .....	28
2.2.1. Lamine Ağaç Malzemelerin Üretimi .....	28
2.2.2. Lamine Katların Düzenlenmesi ve Presleme İşlemi .....	29
2.2.3. Test Örneklerinin Hazırlanması.....	30
2.2.4. Hava Kurusu Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi.....	31
2.2.5. Rutubet Miktarının Belirlenmesi .....	32
2.2.6. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi.....	32
2.2.6.1. Ölçüm Frekansları.....	32
2.2.6.2. Sıcaklık.....	33
2.2.6.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deney Düzeneği .....	33
2.2.7. İstatistik Yöntemler.....	36
BÖLÜM 3.....	37
BULGULAR.....	37

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. HAVA KURUSU YOĞUNLUK VE RUTUBET DEĞERLERİ.....	37
3.2. 2.45 GHz FREKANSINDA LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR.....	44
3.2.1. Dielektrik Sabiti.....	44
3.2.2. Kayıp Faktörü.....	47
3.2.3. Kayıp Tanjantı.....	51
3.3. 9.8 GHz FREKANSINDA LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR.....	55
3.3.1. Dielektrik Sabiti.....	55
3.3.2. Kayıp Faktörü.....	59
3.3.3. Kayıp Tanjantı.....	63
3.4. LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE FREKANSIN ETKİSİ.....	68
BÖLÜM 4.....	70
İRDELEME.....	70
4.1. HAVA KURUSU YOĞUNLUK VE RUTUBET DEĞERLERİ.....	70
4.2. DİELEKTRİK ÖZELLİKLER.....	75
4.2.1. 2.45 GHz Frekansında Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Özelliklerinin İrdelenmesi.....	75
4.2.1.1. Dielektrik Sabiti.....	75
4.2.1.2. Kayıp Faktörü.....	76
4.2.1.3. Kayıp Tanjantı.....	77
4.2.2. 9.8 GHz Frekansında Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Özelliklerinin İrdelenmesi.....	78
4.2.2.1. Dielektrik Sabiti.....	78
4.2.2.2. Kayıp Faktörü.....	80
4.2.2.3. Kayıp Tanjantı.....	81
4.3. LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE FREKANSIN ETKİSİ.....	82
4.4. MASİF VE LAMİNE LEVHALARIN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN GENEL OLARAK ODUN TÜRÜ VE TUTKAL BAZINDA İRDELENMESİ.....	83

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5.....	87
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
5.1. SONUÇLAR.....	87
5.2. ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	96

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Dipollerin elektrik alan şiddetine göre yönlenmesi.....	5
Şekil 1.2. Selülozun formülü: A $\beta$ -D glukoz ünitesi; B sellobioz.....	8
Şekil 1.3. Selülozun moleküler bağları üzerine rutubet miktarının etkisi.....	12
Şekil 1.4. Lamine ağaç malzemenin genel görünüşü.....	15
Şekil 1.5. Laminasyonda katların düzenlenmesi.....	19
Şekil 1.6. Yatay ve dikey lamine elemanlar.....	19
Şekil 1.7. Liflere paralel basınca maruz kalan lamine katların düzenlenmesi.....	20
Şekil 1.8. LVL'nin I-kirişlerin kenar malzemesi olarak kullanılması.....	22
Şekil 2.1. Lamine ağaç malzemelerin elektrik alan şiddetine göre pozisyonu.....	30
Şekil 2.2. Masif-kontrol örneklerinin elektrik alan şiddetine göre pozisyonu.....	31
Şekil 2.3. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerini ölçmede kullanılan deney düzeneği.....	33
Şekil 4.1. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri.....	71
Şekil 4.2. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri.....	72
Şekil 4.3. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin denge rutubet miktarı değerleri.....	73
Şekil 4.4. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerin denge rutubet miktarı değerleri.....	74
Şekil 4.5. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabitinin odun türü ve tutkal türüne göre değişimi.....	75
Şekil 4.6. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri.....	76
Şekil 4.7. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri.....	78
Şekil 4.8. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin dielektrik sabiti değerleri.....	79
Şekil 4.9. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri.....	80

**Sayfa**

Şekil 4.10. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri.....	81
Şekil 4.11. 2.45 ile 9.8 GHz frekanslarındaki dielektrik parametrelerin istatistiksel verileri.....	82

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1.	Mikrodalga frekanslarında hücre çerperinin dielektrik özellikleri.....	7
Çizelge 1.2.	Mikrodalga frekanslarda suyun dielektrik özellikleri.....	10
Çizelge 3.1.	2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre hava kurusu yoğunluk ve rutubet değerleri.....	37
Çizelge 3.2.	2.45 GHz Frekansında hava kurusu yoğunluk değeri üzerine odun türü ve tutkal türünün etkisine ait varyans analizi sonuçları.....	38
Çizelge 3.3.	2.45 GHz Frekansında Hava kurusu yoğunluk değerinin tutkal ve odun türüne ve göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.....	39
Çizelge 3.4.	9.8 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre hava kurusu yoğunluk ve rutubet değerleri.....	40
Çizelge 3.5.	9.8 GHz Frekansında hava kurusu yoğunluk ve rutubet değeri üzerine odun türü ve tutkal türünün etkisine ait varyans analizi sonuçları.....	41
Çizelge 3.6.	9.8 GHz Frekansında hava kurusu yoğunluk değerinin tutkal türüne göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.....	42
Çizelge 3.7.	2.45 GHz Frekansında rutubetin tutkal ve odun türüne göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.....	43
Çizelge 3.8.	9.8 GHz Frekansında Frekansında rutubetin tutkal ve odun türüne göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.....	43
Çizelge 3.9.	2.45 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre dielektrik sabiti değerleri.....	44
Çizelge 3.10.	2.45 GHz Frekansında dielektrik sabiti üzerine odun ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	45
Çizelge 3.11.	2.45 GHz Frekansında dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisini gösteren karşılaştırma testi sonuçları.....	45
Çizelge 3.12.	2.45 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	46
Çizelge 3.13.	2.45 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerinin dielektrik sabiti değerini tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları.....	47
Çizelge 3.14.	2.45 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre kayıp faktörü değerleri.....	48
Çizelge 3.15.	2.45 GHz Frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	49



Çizelge 3.16. 2.45 GHz Frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisini gösteren karşılaştırma testi sonuçları .....	49
Çizelge 3.17. 2.45 Ghz frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	50
Çizelge 3.18. 2.45 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerlerini tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları....	51
Çizelge 3.19. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre kayıp tanjantı değerleri.....	52
Çizelge 3.20. 2.45 GHz Frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	53
Çizelge 3.21. 2.45 GHz Frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisini gösteren karşılaştırma testi sonuçları .....	53
Çizelge 3.22. 2.45 Ghz frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	54
Çizelge 3.23. 2.45 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı değerlerini tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları....	55
Çizelge 3.24. 9.8 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre dielektrik sabiti değerleri.....	56
Çizelge 3.25. 9.8 GHz Frekansında dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	57
Çizelge 3.26. Dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisini gösteren karşılaştırma testi sonuçları.....	57
Çizelge 3.27. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	58
Çizelge 3.28. 9.8 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerinin dielektrik sabiti değerini tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları.....	59
Çizelge 3.29. 9.8 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre kayıp faktörü değerleri.....	60
Çizelge 3.30. 9.8 GHz Frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	61
Çizelge 3.31. 9.8 GHz Frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisini gösteren karşılaştırma testi sonuçları.....	61
Çizelge 3.32. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	62
Çizelge 3.33. 9.8 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerinin kayıp faktörü değerinin tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları.....	63

## **Sayfa**

Çizelge 3.34. 9.8 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre kayıp tanjantı değerleri.....	64
Çizelge 3.35. 9.8 GHz Frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	65
Çizelge 3.36. 9.8 GHz Frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisini gösteren karşılaştırma Duncan testi sonuçları.....	65
Çizelge 3.37. 9.8 Ghz frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	66
Çizelge 3.38. 9.8 GHz Frekansında lamine ağaç malzemelerinin kayıp tanjantı değerinin tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları.....	67
Çizelge 3.39. Frekansa göre dielektrik özelliklerinin ortalamalarının karşılaştırılması.....	68
Çizelge 3.40. Dielektrik özellikler üzerine frekansın etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\delta_r$	: 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
$\beta$	: İçi hava dolu borunun faz sabiti
$\beta_d$	: Malzeme varken faz sabiti
$\lambda_c$	: Kesim dalga boyu
$\lambda_0$	: Boşlukta ilerleyen dalganın dalga boyu
$\lambda_b$	: Boru içinde ilerleyen dalganın dalga boyu
$S$	: Duran dalga oranı

### KISALTMALAR

ÜF	: Üre Formaldehit
MUF	: Melamin-Üre-Formaldehit
FF	: Fenol Formaldehit
LVL	: Lamine ağaç malzeme
LDN	: Lif doygunluk noktası
ISM	: Industrial Scientific Medical

## BÖLÜM 1

### GENEL BİLGİLER

#### 1.1. GİRİŞ

Mikrodalga enerjisi kullanılan işlemlerde materyallerin dielektrik özellikleriyle ilgili verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda, odun ve odun kökenli malzemelerin ısıtılması, kurutulması, tutkalanması ve ürün kalitesinin geliştirilmesi işlemlerinde mikrodalga teknolojisinin kullanımında önemli artış görülmüştür. Ayrıca odun ve odun kökenli malzemelerin yoğunluklarının, rutubetlerinin ve kusurlarının, üretim hatlarında malzemeye zarar vermeden teşhisinde de mikrodalgalar yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda söz konusu malzemelerin mikrodalga frekanslardaki dielektrik özelliklerinin bilinmesi anlam kazanmaktadır (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 odun kökenli malzemelerin rutubetlerini belirlemede kullanılan mikrodalga frekanslarda çalışan cihazların tasarımında doğru sonuçlara ulaşabilmek için ilgilenilen malzemenin dielektrik özellikleri ile ilgili veriler kullanılmaktadır (Şahin and Ay, 2004).

Dünyada orman kaynaklarının her geçen gün azalması ve maliyetlerin artması nedeniyle orman ürünlerinin değeri de artmaktadır. Orman ürünlerine olan talebin karşılanabilmesinde kesilen ağaçların en verimli şekilde kullanılması önemli bir etkidir. Lamine ağaç malzeme yapı sektöründe ticari olarak kullanılan en eski ahşap malzemedir. Ahşabın yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması 19. yy başlarıdır. Endüstri devriminden sonra malzeme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak mimari anlayış belirli ölçüde özgürlük kazanmıştır. Gelişen

ekonominin ve tekniklerin etkisiyle doğal ahşap yeniden yorumlanarak, ahşaptan kompozit malzemeler elde edilmeye başlanmış, kullanım alanı genişlemiş ve esneklik kazanmıştır. II. Dünya savaşı ve onu izleyen yıllarda sanayi kollarında geliştirilmiş olan tutkal çeşitleri ile birlikte “tutkallı lamine konstrüksiyonlar” ortaya çıkmış ve bu da mimaride ahşap kullanımına farklı boyutlar getirmiştir (Kurt, 2006).

Son yıllarda, lamine teknolojisindeki gelişmeler lamine ağaç malzeme ile kereste malzeme karşılaştırıldığında, lamine ağaç malzeme, keresteden daha geniş ebatlarda ve daha kusursuz malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Büyük boyutlu taşıyıcı elemanların üretiminde, tek parça masif ağaç malzeme kullanılması imkânları sınırlıdır (Bozkurt ve Göker, 1987; Peterson et al, 1981). Çünkü ağaç malzemede bulunan budak, çürük, çatlak, lif kıvrıklığı (spiral liflilik) vb. kusurların tamamen giderilmesi mümkün görülmemektedir. Kavisli elemanların üretiminde masif ağaç malzemenin tek parça olarak kullanılması fire oranını artırdığından ekonomik değildir. Ayrıca, eğri forma göre kesilen ağaç malzemede diyagonal liflilik oluşacağından direncini olumsuz etkiler. Bu maksatla ağaç malzemenin kusurlarından arındırılması ve eğri formlu imalatlarda diyagonal liflilik oluşmaması için laminasyon tekniği kullanılmaktadır (Ulupınar vd, 1999).

Laminasyonda; farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir. Lamine ağaç malzemeler kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı adlandırılmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lamine masif ağaç malzeme (kiriş, kolon vb.) üretiminde 25,4 – 50,8 mm kalınlıklarda malzeme kullanılmakta ve tutkallı kiriş Glued Laminated Timber: GLULAM adı verilmektedir. Mobilya üretiminde kullanılan küçük boyutlu masif lamine elemanların üretiminde ise maksimum 3,2 mm katman kalınlığında ağaç kaplama kullanılmakta ve bu gibi lamine malzemeler Laminated Veneer Lumber: LVL ya da Microlam olarak adlandırılmaktadır (Steven and Turner, 2007).

Lamine ağaç malzemenin bir diğer önemli avantajı ise, çok çeşitli kesitlerde kullanılabilmesidir. Lif yönü, tutkal tipi, ağacın yoğunluğu ve lamine kalınlığı gibi üretim parametreleri ve hammaddelerin çeşitliliği, lamine oluşturulmasında ve son ürünün kalitesinde önemli bir rol oynar (Kurt, 2006).

Lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin çalışılmasının önemini şu şekilde açıklayabiliriz. Birincisi, lamine ağaç malzemeler yapılar için artık vazgeçilmez malzemelerdir. Ayrıca, mikrodalgalar lamine ağaç malzemelerin üretimleri aşamalarında da kullanılmaktadır. Bu malzemelerin dielektrik özellikleri, gerek yapılarda kullanımları, gerekse üretimleri esnasında kalınlığın, rutubet miktarının, yoğunluk değerlerinin, yüzey pürüzlülüğünün kontrolü gibi kalite kontrol işlemlerinde veya karşılaşılan problemlerin çözümünde rehber ve anahtar verileri oluşturmaktadır (Şahin, 2002).

Masif ağaç malzemenin dielektrik özellikleri birçok çalışmaya konu olmuştur. Ancak lamine ağaç malzeme onu oluşturan ana ağaç malzemenin özelliklerinden farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Çünkü lamine ağaç malzemelerin üretimlerinde arzulanan sonuç özelliklerine göre farklı ağaç türleri ve tutkallar kullanılmaktadır (Şahin Kol and Altun, 2009). Tüm bu değişkenler kompozit ürünün özelliklerini onu oluşturan bireylerin kendilerine has özelliklerinden farklı kılmaktadır. Tüm bu faktörler dikkate alındığında, lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerini kapsayan verilerin ağaç türü, tutkal vb. faktörler açısından değerlendirildiği çalışmaların önemi ortaya çıkmaktadır. Kompozit bir malzemede dielektrik özellikler, malzemeyi oluşturan bireysel bileşenlerin dielektrik özellikleri ve onların kompozitin birim hacmindeki nispi miktarlarından etkilenmektedir. Ayrıca malzeme ile olan etkileşimi de dielektrik özellikleri etkilemektedir (Şahin, 2002).

Bu çalışmada Uludağ Göknarı ve Doğu Kayını odun türlerinden üre formaldehit, fenol formaldehit ve melamin üre formaldehit tutkalları kullanılarak üretilmiş lamine ağaç malzemelerin 2.45 GHz ve 9.8 GHz ISM ( Industrial Scientific Medical) frekanslarındaki dielektrik özellikleri belirlenmiş ve masif haldeki kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Bu frekansların seçilmesinin nedeni oduna dayalı ürünlerin mikrodalga işlemlerinde ve ayrıca cihazların tasarımında kullanılmasına izin verilen ve en yaygın olarak kullanılan frekanslar olmasıdır.

## 1.2. MİKRODALGA FREKANSLARDA AĞAÇ MALZEMENİN DİELEKTRİK DAVRANIŞI

Ağaç malzeme heterojen bir materyaldir ve dielektrik davranışını açıklamak için selüloz, hemiselüloz, lignin ve diğer kimyasal yapı elemanlarından bağlı su ve serbest sudan oluşan bir madde olarak modellendirmek mümkündür (Şahin, 2002).

Böylece 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).

### 1.2.1. Dielektrik Parametreler

Bir malzemenin dielektrik özellikleri, kompleks dielektrik sabiti ile tanımlanır.

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

veya

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

yazılır.

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

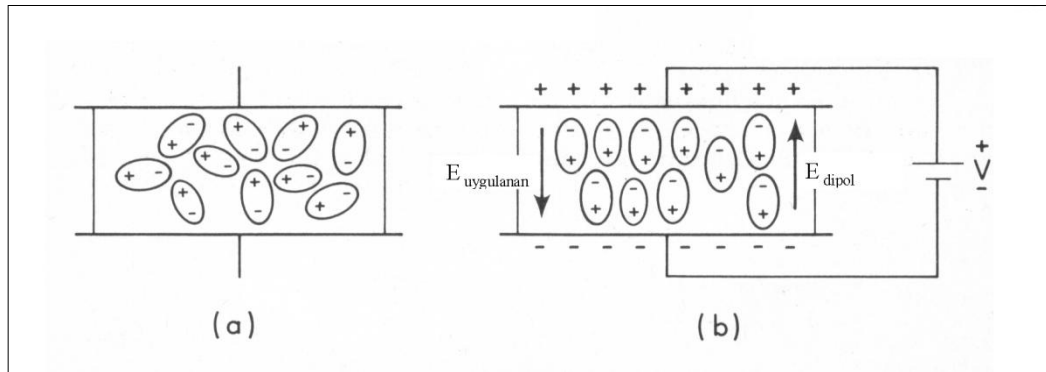
ise yalıtkanın kayıp açısı olarak tanımlanır.

Burada, gerçel kısım  $\epsilon'$ , dielektrik sabiti olup elektrik alanı şeklinde bir malzemede depolanabilen enerjinin miktarını doğrudan belirtirken, sanal kısım  $\epsilon''$  kayıp faktörü olarak adlandırılır ve malzeme içinde ısı şeklinde yayılan enerjinin ölçüsüdür. Böylece dielektrik sabiti belirli bir elektrik şiddeti ile bir dielektrikte oluşturulan elektrik yerdeğişimin 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 yerdeğişim  $E_{\text{dipol}}$  arasındaki faz farkı ( $\delta$ ) dir. (Şahin, 2002; James et al. 1975).

## 1.2.2. Ağaç Malzemenin Kutuplanması

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 1.1). 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  $\epsilon'$  katsayısı ile ilişkilidir (Şahin, 2002).



Şekil 1.1. Dipollerin elektrik alan şiddetine göre yönelmesi, a) Elektrik alanı yokken bir dielektrik kondansatörde rastgele dipol yönelişi, b) Sabit bir elektrik alanının,  $E_{uygulanan}$  etkisi altında dipollerin yer değişimi (Tinga and 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 önemsizdir. Dipol relaksasyon ve iyon relaksasyon kutuplaşması ağaç malzemenin kutuplaşmasında ana rolü oynar (Torgovnikov, 1993).

### **1.2.3. Dielektrik Bakış Açısından Ağaç Malzemenin Yapısı**

Rutubetli ağaç malzemenin dielektrik özellikleri üzerinde etkili olan faktörler, hücre ve yapısı, tam kuru odun 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 malzemedeki 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).

#### **1.2.3.1. Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri**

Norimoto (1976)'ya göre, ilkbahar ve yaz odunu traheidlerin hücre çeperlerinin dielektrik sabiti birbirinden farksızdır. Ancak özışını hücre çeperlerinin dielektrik sabiti traheidlerin dielektrik sabitinden % 4 - 12 daha düşüktür. Ayrıca liflere paralel yöndeki hücre çeperi maddesinin dielektrik sabiti liflere dik yöndekinden % 2 - 5 daha yüksektir.

Odun 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).

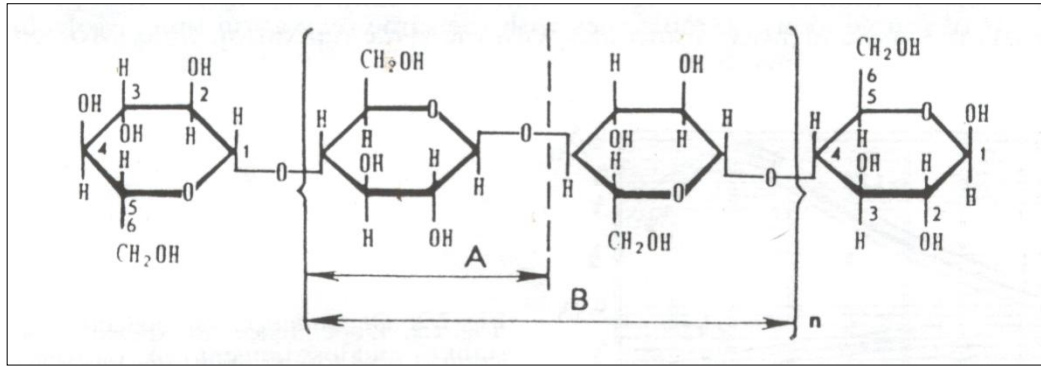
Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri												
F (Hz)	Sıcaklık (°C)											
	-40		-20		20		40		60		100	
	$\epsilon_{\perp}'$	$\tan\delta$	$\epsilon_{\perp}'$	$\tan\delta$	$\epsilon_{\perp}'$	$\tan\delta$	$\epsilon_{\perp}'$	$\tan\delta$	$\epsilon_{\perp}'$	$\tan\delta$	$\epsilon_{\perp}'$	$\tan\delta$
$10^9$	3.3	0.028	3.4	0.030	3.5	0.049	3.6	0.053	3.7	0.057	3.8	0.065
$10^{10}$	3.1	-	3.2	-	3.3	0.043	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 odunun dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri kendilerine has özelliklerine ve odundaki miktarlarına bağlıdır (Şahin, 2002; Torgovnikov, 1993; Norimoto, 1976; Norimoto and Yamada, 1972). Bir seri polar gruba sahip yüksek moleküler ağırlıklı bu maddeler elektrik alanının etkisi altında dipol relaksasyon 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 1.2). Selüloz  $\beta$ -D-glukozidik bağlarını içerir ve selülozun dielektrik özelliklerini  $\beta$ -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; Hafizoğlu, 1982).



Şekil 1.2. Selülozun formülü: A  $\beta$ -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 (-CH<sub>2</sub>OH) yöneysel kutuplaşması katkıda bulunur yani selülozun kutuplaşmasından bu gruplar sorumludur. Bu işlem dipol relaksasyon kutuplaşmasının etkisinden kaynaklanır (Şahin, 2002).

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

Odun 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 -CH<sub>2</sub>OH olmak üzere iki grubun dipol hareketi dielektrik kaybına neden olmaktadır (Torgovnikov, 1993; Norimoto and Yamada, 1972)

Hücre çeperinde ayrıca inorganik bileşiklerde bulunmaktadır. Ancak odun içinde çok az miktarda buldukları için (yaklaşık % 0,3) bu maddelerin odunun dielektrik parametreleri üzerindeki etkisi çok küçüktür (Torgovnikov, 1993; Vermaas, 1974).

### **1.2.3.2. Hava, Serbest Su ve Bağlı Suyun Dielektrik Özellikleri**

Hava mükemmel bir dielektriktir ve kayıp tanjantı sifira 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 çizelge 1.2'de verilmektedir

Odunun 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 <sup>9</sup>	$\epsilon'$	-	-	-	86	77	71	64	57
	$\tan\delta$	-	-	-	0.102	0.06	0.034	0.025	0.019
2.4x10 <sup>9</sup>	$\epsilon'$	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 <sup>9</sup>	$\epsilon'$	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 <sup>10</sup>	$\epsilon'$	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 <sup>10</sup>	$\epsilon'$	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 <sup>11</sup>	$\epsilon'$	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	-	-

#### 1.2.4. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler

##### 1.2.4.1. 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).

#### **1.2.4.2. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi**

Sıcaklık odunun dielektrik özelliklerini oldukça büyük oranda etkiler. Çünkü, sıcaklıktaki artışla birlikte relaksasyon süresi azalır. Sıcaklıkla birlikte dielektrik sabitindeki artış, oduna bağlı bulunan dipol gruplarının yani amorf bölgedeki metilol gruplarının varlığından kaynaklanır (Yokoyama and Norimoto, 1996). Odunun 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).

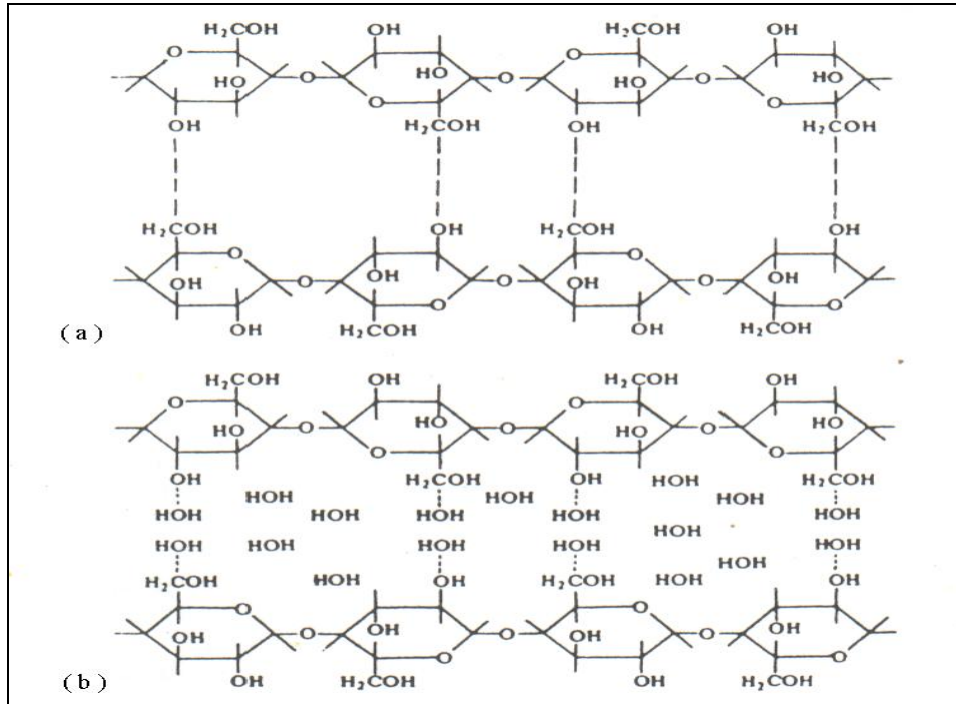
Mikrodalga frekanslarda (1 - 18 GHz), tam kuru odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktörü sıcaklıkla lineer bir şekilde artar (Kabir et al, 2001). Mikrodalga frekanslarda sıcaklığın artışıyla birlikte rutubetli odunun dielektrik sabitinin arttığı ve bunun rutubet miktarı arttıkça daha belirginleştiği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

#### **1.2.4.3. Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi**

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

Odunun 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 odunun rutubet miktarının artışıyla odun içindeki su miktarı artar ve su odun 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 1.3). 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 yaklaşıırken polar grupların önemi artık kalmaz çünkü onların devir serbestliği maksimuma ulaşır. LDN'dan sonra esas rolü serbest suyun dielektrik davranışı ve odun içindeki hacmi belirler (Şahin, 2002).



Şekil 1.3. 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 odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktöründeki değişim karakterini esas olarak serbest suyun dielektrik özellikleri ve nisbi hacmi belirler. Rutubet miktarının artışıyla odun içindeki su miktarı artar ve bu da yüksek dielektrik davranışa yol açar (Şahin, 2002).

#### **1.2.4.4. Ağaç Malzeme Lif Yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi**

Tam kuru ve rutubetli odunun liflere paralel yöndeki dielektrik özellikleri liflere dik yöndekinden genellikle daha büyüktür. Teğet ve radyal yön arasındaki fark ise daha az belirgin olup odun 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, odunun dielektrik özelliklerinin liflere paralel yönde büyük ölçüde selüloz ve mannanın dielektrik özellikleri ve enine yöndeki dielektrik özelliklerinin ise önemli ölçüde ligninin dielektrik özelliklerinin etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca selülozun hidroksil grupları liflere paralel yönde daha yüksek devir serbestliğine sahiptir (Kabir et al. 1998).

Norimoto et al. (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 odun örneğinde yaz odunu oranı arttıkça dielektrik özellikler yükselir ki bu odun yoğunluğundaki artışa bağlıdır (Norimoto et al. 1978). Odunun yoğunluğunun artışıyla birlikte polar grupların sayısı artacağından doğrudan dielektrik özelliklerde artış gözlenir (Şahin, 2002).

### **1.3. LAMİNASYON TEKNİĞİ**

Laminasyon tekniği dünyada ilk olarak 1893 yılında İsviçre’de kilise direklerinde uygulanmıştır. Daha sonra ABD’de Forest Product Laboratory (F.P.L) tarafından inşaat sektöründe denenmiştir. Takip eden yıllarda Avrupa’da lise inşaatlarında, spor



salonlarında, yüzme havuzlarında, fabrika binalarında, hangarlarda ve çiftliklerde ahır yapımında kullanılmıştır. Lamine elemanlarla yapılan kemerli taşıyıcılarda 150 m'yi aşan, düz taşıyıcı elemanlarda 40 m'deki açıklıklar başarı ile uygulanabilmektedir. Günümüzde yapılan uygulamalarda büyük toplantı salonları ve spor salonlarında 250 m'e kadar açıklık geçme olanağı elde edilmiştir (Okçu, 2006).

Laminasyon teknikleri II. Dünya savaşı sırasında sentetik tutkalların geliştirilmesiyle yüksek direnç gerektiren köprü, kule ve liman inşaatı yapımında uygulama alanı bulmuş ve bu alanda hızlı bir gelişme göstermiştir. Polimer tutkalların kullanılması ile dış hava şartlarına dayanıklı ve yüksek dirençli lamine masif ağaç malzeme üretmek mümkün olmuştur.

Küçük boyutlu laminasyon uygulamaları ilk olarak kontrplak üretiminde uygulanmıştır. Daha sonra spor malzemeleri (tenis raketi, golf sopası, kayak takımı) üretiminde kullanılmıştır. Kuzey Avrupa ülkelerinde 1960'lı yılların sonlarına doğru mobilya üretimine başlanmış, 1975'ten sonra özellikle form mobilya üretiminde yoğun şekilde uygulanmıştır (Ulupınar, 1998).

Ağaç işleri endüstrisinde gitgide daha yaygın kullanım alanı bulan lamine masif ağaç malzeme; TS EN 386'a göre; odun laminelerinin liflere paralel yönde birbirine yapıştırılmasıyla elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır (TS EN 386, 2006).

Kontrplak ve kontratabla gibi tabakalı ağaç malzemeler lifleri birbirine dik olacak şekilde yapıştırılarak üretilen malzemelerdir. Ancak bu tip malzemelerin eğme veya bükme mobilyalarda kullanılması zordur. Bu tür kullanım yeri için lifleri birbirine paralel olacak şekilde üst üste preslenen tabakalı malzemeler uygundur (Çolakoğlu, 2001).

Ahşap lamine elemanlar iki veya daha fazla katın tutkallanarak ve katların lif yönleri birbirine paralel yada dik gelecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilir. Lif yönlerinin paralel gelecek şekilde düzenlenmesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer,

üretilen ahşap lamine eleman kavisli ise katların lif yönlerinin paralel olarak uygulanması zorunluluğu vardır (Şenay, 1996).

Laminasyonda; farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir. Lamine ağaç malzemeler kullanılan kat kalınlıklarına göre farklı adlandırılmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan büyük boyutlu lamine masif ağaç malzeme (kiriş, kolon vb.) üretiminde 25,4 – 50,8 mm kalınlıklarda malzeme kullanılmakta ve tutkallı kiriş Glued Laminated Timber: GLULAM adı verilmektedir. Mobilya üretiminde kullanılan küçük boyutlu masif lamine elemanların üretiminde ise maksimum 3,2 mm katman kalınlığında ağaç kaplama kullanılmakta ve bu gibi lamine malzemeler Laminated Veneer Lumber: LVL ya da Microlam olarak adlandırılmaktadır (Steven and Turner, 1974). Şekil 1.4'te lamine ağaç malzemelerin genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 1.4. Lamine ağaç malzemenin genel görünüşü.

### 1.3.1. Laminasyon Sisteminin Faydaları

Laminasyon sisteminin faydaları Şenay (1996) göre aşağıda sıralanmıştır.

1. Gerek mimaride gerekse iç dekorasyonda istenilen stilde ve sınırsız formlarda çalışma olanağı sağlanmaktadır.
2. Elemanın yapısal bütünlüğünü bozmadan daha az dirençli laminasyonlar için düşük dirençli ağaç malzeme kullanımına imkan sağlamaktadır.

3. İnce parçalar halinde biçilen ağaç malzeme imalata girmeden önce doğal yöntemlerle kolay ve ekonomik olarak kurutulabilmektedir. Oysa büyük boyutlu ağaç malzeme doğal olarak kısa sürede kurutulamamakta ve ek bir kurutma maliyeti getirmektedir.
4. Yapısal elemanların tasarımında yüke bağlı olarak kesit alanında farklı kesitlerde çalışma imkânı sağlar. Örneğin; kavisli elemanlarda yükün geldiği yerde (kritik kesitte) daha büyük boyut uygulanabilmektedir.
5. Aynı ahşap lamine eleman üzerindeki lamine katlarda farklı kalınlık ve renkte ağaç malzemenin kullanılmasına imkan sağladığından daha fazla estetik oluşum meydana getirmek mümkündür.
6. En ve boy birleştirme yöntemlerinin uygulanması ile çok küçük boyutlardaki (min. 20 cm) ağaç malzeme kullanımına imkan sağladığından fire oranı azalmaktadır. Ayrıca ağaç malzeme bünyesindeki kusurlarından (budak, çatlak, lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu, çürüklük) arındırılarak kullanılmasına imkân sağlamaktadır.
7. Masif ahşaptan üretilecek elemanların boyutları sınırlıdır. Oysa laminasyon sistemi ile daha büyük boyutlu ürünler elde etmek mümkündür
8. Lamine edilmiş ağaç malzeme aynı cins ağaç malzemeye göre daha az çalışmaktadır. Buna neden olarak laminasyon da ağaç malzemenin katları arasında uygulanan tutkalın su itici özelliği gösterilebilir. Bunun sonucu olarak lamine edilmiş ağaç malzeme aynı cins masif ağaç malzemeye nazaran boyutsal bakımdan daha stabildir.

### **1.3.2. Laminasyon Sisteminin Sakıncaları**

Laminasyon sisteminin sakıncaları Şenay (1996) göre aşağıda sıralanmıştır.

1. Ahşabın tutkallanmaya hazırlanması ve tutkallanması son ürün üzerinde ek bir işçilik maliyeti getirmektedir. Fakat aynı boyutlardaki monoblok bir malzemeye göre bu kabul edilebilir bir durumdur.
2. Büyük boyutlu kavisli taşıyıcı elemanların nakliyesi sırasında büyük güçlüklerle karşılaşmaktadır
3. Laminasyon imalatı için fabrika binasının özel planda yapılması, özel ekipmanlar gerektirmesi ve kalifiye işçiye olan ihtiyacın fazla olması da dezavantaj olmaktadır.
4. Lamine edilecek ağaç malzemenin belirli sonuç rutubete kadar kurutulması gerektiğinden kuruma tesisi ve ek bir işçilik maliyeti gerekmektedir.
5. Lamine ürünün direnci, en boy birleştirmede ve yapıştırımda kullanılan tutkalın kalitesine de bağlıdır. Yüksek dayanımlı tutkalların fiyatlarının fazla olması da ek bir maliyet getirmektedir.
6. Yüksek kaliteli lamine elemanın üretilmesi imalatın bütün aşamalarında yapılan operasyonların özenle ve dikkatli bir şekilde yapılmasıyla mümkün olmaktadır.

### **1.3.3. Lamine Uygulamasında Ağaç Malzeme Seçimi**

Lamine taşıyıcı elemanlarda yüksek mekanik direnç aranan bir özelliktir. Ahşap lamine elemanın direnci büyük oranda masif ahşap yada kaplamaların elde edildiği odunun özelliklerine bağlıdır (Kurt, 2006).

Bünyesinde değişik kusurlar (lif kıvrıklığı, çatlak, budak, kurt yeniği, mantar, vb.) içeren odundan elde edilen masif ahşap ve kaplamalardan üretilen ahşap lamine

elemanın direnç özelliklerine kusurun derecesine göre az yada çok azalma olmaktadır. Bunu önlemek için kusurlarından temizlenmiş ağaç malzemenin kullanılması tavsiye edilmektedir (Çolakoğlu, 2001).

Bükülebilme özelliği özellikle kavisli elemanlarda aranan bir özelliktir. Genel olarak ağaç türlerinin bükülme özellikleri farklı olup, sert odunlu yapraklı ağaçlar iğne yapraklılara göre daha iyi bükülebilme özelliğine sahiptir. Çünkü, iğne yapraklı ağaçların yaz odunu halkalarında mekanik özellikler ani bir şekilde değişmekte, bundan dolayı, özgül ağırlığın fazla oluşu bükme için sorun teşkil etmektedir (Berkel, 1963). Ayrıca, yapraklı ağaçlar iğne yapraklı ağaçlara göre daha az lignin ihtiva etmekte, lignin yapısı iğne yapraklı ağaç ligninine göre daha termo – plastik özellik göstermektedir (Çolakoğlu, 2001).

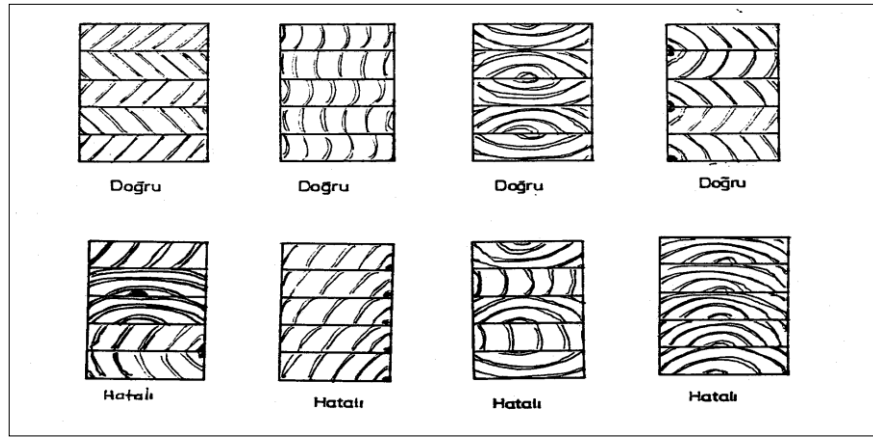
Yapıştırılan ağaç malzemelerdeki rutubet farkları % 5'i aşmamalıdır. Eğer yapıştırılmış tabakalar arasında fazla rutubet farkı varsa tutkallama ve kullanım yeri rutubetinin değişmesi ile eşit olmayan rutubet azalmaları ortaya çıkmakta, bu nedenle oluşan gerilmeler liflere dik yöndeki çekme direncini aştığında çatlama meydana gelmektedir (Kurtoğlu, 1979).

Üretimin aksamaması ve alış maliyetinin düşük olması bakımından seçilecek ağaç türü kolayca ve bol miktarda temin edilebilir olması gerekmektedir.

#### **1.3.4. Laminasyonda Katların Düzenlenmesi**

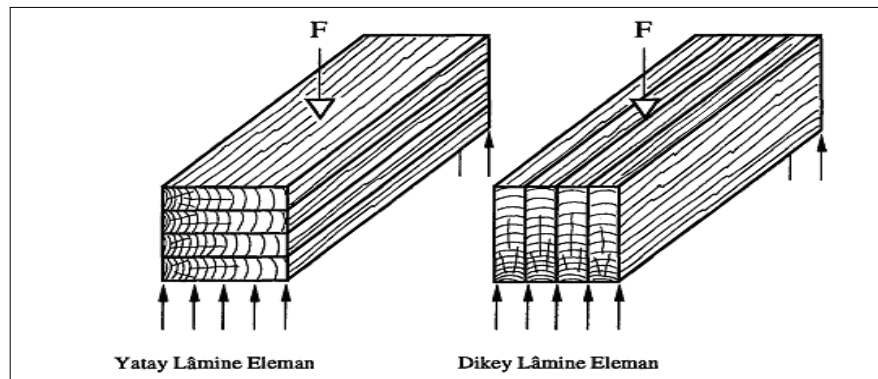
Lamine edilmiş elemanın boyutlarında şekilsel bozuklukların meydana gelmemesi için lamine katların düzenlenmesinde, yıllık halkaların konumuna dikkat edilmelidir. Bunun sebebi ağaç malzemenin yıllık halkalara teğet ve radyal yönlerde farklı çalışmasıdır. Çeşitli ağaç türlerinde teğet yöndeki çalışma yüzdesi tam yaş halden tam kuru hale gelinceye kadar % 3,5 – 15 arasında bulunmaktadır. Radyal yönde ise % 2,4 – 11 arasında ve boyuna yönde de % 0,1 – 0,9 arasında bulunmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1987).

Ağaç malzemenin bünyesinde bulunan suyun kurutma anında ortama verilmesi veya bulunduğu ortamdaki havadan bünyesine rutubet alması ile boyutsal şekil değişimine uğrayacak bu da lamine edilmiş ağaç malzemede iç gerilmelere neden olacaktır. Eğer lamine katların düzenlenmesinde bu iç gerilmeleri dengeleyecek şekilde kat düzenlemesi yapılmaz ise bitmiş üründe düzeltilmesi imkânsız olan şekil bozulmaları ve çatlaklar meydana gelecektir (Çolakoğlu, 2001). Laminasyonda katların yıllık halka durumuna göre düzenlenmesi Şekil 1.5’de gösterilmiştir (Köse, 2008).



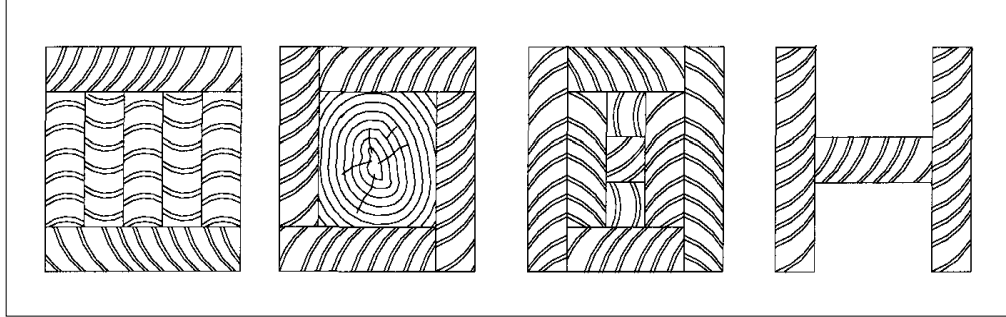
Şekil 1.5. Laminasyonda katların düzenlenmesi (Köse, 2008).

Eğilme kuvvetinin etkisinde kalan lamine elemanlar (kirişler), uygulanan yükün yönüne göre yatay ve dikey elemanlar olmak üzere iki guruba ayrılırlar. Yük “tutkal hattına dik” uygulandığında yatay, “tutkal hattına paralel” uygulandığında dikey eleman olarak adlandırılmaktadır (Keskin, 2001).



Şekil 1.6. Yatay ve dikey lamine elemanlar (Keskin, 2001).

Liflere paralel basınç yüküne maruz kalan lamine elemanlarda katların düzenlenmesi Şekil 1.7’de gösterilmiştir (Keskin, 2001).



Şekil 1.7. Liflere paralel basınca maruz kalan lamine katların düzenlenmesi (Keskin, 2001).

### 1.3.5. Laminasyonda Asgari Üretim Şartları

TS EN 386’ya göre, lamine elemanların üretildiği ortamın sıcaklığı en az 15° C ve bağıl nemi ise % 40 – 75 arasında olmalıdır (TS EN 386, 2006).

En ve boy birleştirme uygulanmış parçaların ek yerleri, birbirlerini takip eden katlarda üst üste gelmemeli ve mümkün olduğunca şaşırtmalı olarak düzenlenmelidir (Kurt, 2006).

Yapıştırıcı üreticisinin tavsiyelerine uygun olarak, yapıştırıcı dengeli ve yeterli miktarda sürülmelidir. Bu miktar kullanılan yapıştırıcının özelliklerine göre 180 – 350 g/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Sıkıştırma üniform ve emniyetli olarak yayacak şekilde yapışma hattı üzerinde uygulanmalıdır. Pres basıncı, kullanılan yapıştırıcı ve ağaç türüne göre 0,6 – 1,2 N/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir (TS EN 386, 2006).

Odunda, irsel ve ekolojik etkenlerin neden olduğu lif kıvrıklığı, lamine ağaç malzemenin direnç değerini önemli ölçüde azaltır. Basınç yüküne maruz kalan kolonlarda, lif açısının uygulanan kuvvet yönünden sapma derecesi arttıkça direnci azalmaktadır. Lif açısının 45° lik açıya kadar artması ile eğilme direncinde kuvvetli bir düşüş görülmektedir (Berkel, 1970).

Taze kesilmiş ağaç sıcak ve rutubetli ortamda kaldığında ve tomruktan elde edilen keresteler arasında lata konulmadan istif edildiğinde, diri odun kısmında odunun derinliklerine nüfuz eden mavileşme meydana gelmektedir. Mavileşme, şok direncini % 25'e varan oranda azaltmakta, diğer mekanik özelliklerde ise önemli bir değişmeye neden olmamaktadır (Köse, 2008).

### 1.3.6. Lamine Ağaç Malzemelerin Bazı Kullanım Yerleri

Uygulama alanları kıtalar ve ülkelere göre değişmektedir. LVL'ler genelde yapısal ya da yapısal olmayan konstrüksiyon amaçları ile kullanılmaktadır. Ancak Türkiye'de bu tür kullanım alanı şimdilik yaygın değildir. Kuzey Amerika'da en genel uygulaması prefabrik I-kirişlerin kenar malzemesi olarak değerlendirilmesidir (Şekil 1.8). Bir kısmı da bina konstrüksiyonlarında direk olarak kullanılmaktadır. Çok az kısmı da yapı iskelesi kalası ve değişik formlarda beton kalıbı olarak üretilmektedir. Ayrıca bir fabrikada lamine kâğıtlarla kaplanmış şekliyle Clear Lam ticari adıyla üretilmektedir (Çolakoğlu, 2001).



Şekil 1.8. LVL'nin I-kirişlerin kenar malzemesi olarak kullanılması.

Avrupa'da LVL'nin direk ve kiriş olarak kullanımı yaygındır. Finlandiya da geniş I-kirişleri de üretilmektedir. Almanya'da çok büyük mühendislik malzemeleri olarak yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca aynı ülkede onarım ve restorasyon çalışmalarında da değerlendirilmektedir. Orta Avrupa'da özellikle İsviçre'de çatıların kaplanmasında kullanılırken, Fransa'da ise kapı çerçevelerinde



değerlendirilmektedir. ABD ve Avrupa'da bazı köprülerde LVL plakalarında kullanılmaktadır. Üretilen LVL'nin az bir kısmı da mobilya endüstrisi ile kapı ve pencere çerçevelerinin üretiminde değerlendirilmektedir. Kamyon, gemi ve vagon döşemeleri içinde kullanılmaktadır ([www.lesliestructuralsales.com](http://www.lesliestructuralsales.com), 2008).

## BÖLÜM 2

### MATERYAL VE METOD

#### 2.1. MATERYAL

##### 2.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada ülkemizde ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Doğu Kayını [*Fagus orientalis* Lipsky] ve Uludağ Göknarı [*Abies bornmülleriana* Mattf] deneme materyali olarak kullanılmıştır. Aşağıda çalışmaya konu olan odun türleri hakkında genel bilgiler verilmektedir.

##### 2.1.1.1. 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  $\mu\text{m}$ ) yaz odunu trahelerine (teğet çap: 55,1  $\mu\text{m}$ ) kıyasla belirgin şekilde büyük çaplı değildir. Traheler çoğunlukla normal trahe hücrelerinden (544,6  $\mu\text{m}$ ) 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 yay çizerler. Boyuna paranzim apotrahealdir. 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 özgül ağırlığı 0,645 g/cm<sup>3</sup> ve hava kurusu özgül ağırlığı 0,669 g/cm<sup>3</sup> tür (Bozkurt 1992). Doğu Kayını odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 56,1, hacim yoğunluk değerine (0,538 g/cm<sup>3</sup>) göre alabileceği en yüksek su miktarı % 119,2 ve tam kuru özgül ağırlık değerine ( 0,645 g/cm<sup>3</sup>) 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).

#### **2.1.1.2. 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).

Fiziksel özelliklerinden tam kuru yoğunluk değeri ortalama olarak  $0,4 \text{ g/cm}^3$ ; hava kuru yoğunluk  $0,429 \text{ g/cm}^3$ ; hacim yoğunluk değeri  $0,35 \text{ g/cm}^3$ ; radyal daralma % 4,3; teğet daralma % 8,6; hacmen daralma % 13" tür (Merey, 1984).

Mekaniksel özelliklerinden liflere paralel basınç direnci ortalama olarak  $37 \text{ N/mm}^2$ ; eğilme direnci  $73 \text{ N/mm}^2$ ; elastikiyet modülü  $8300 \text{ N/mm}^2$ ; çekme direnci  $62 \text{ N/mm}^2$  ve makaslama direnci  $5 \text{ N/mm}^2$  dir (Merev, 1984).

### **2.1.2. Laminasyonda Kullanılan Tutkallar**

Bu çalışmada, lamine ağaç malzemelerin üretiminde Üre Formaldehit (UF), Melamin Üre Formaldehit (MUF), Fenol Formaldehit (FF) tutkalları kullanılmıştır. Tutkallar Polisan şirketinden temin edilmiş olup genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

#### **2.1.2.1. Üre Formaldehit Tutkalı**

Üre formaldehit reçineleri, dünyada ağaç malzemenin yapıştırılmasında en yaygın olarak kullanılan yapıştırıcılardır. Amino grubu reçinelerinden olan ÜF, termosetting bir polimer olup üre ile formaldehitin kondenzasyonu sonucu meydana gelmektedir. Formaldehit/Üre mol oranı 1,1:1 den 2,0:1'e kadar değişmektedir.

Asidik ortamda sertleşen bir tutkaldır. Reaktif yapısı nedeniyle ÜF reçineleri, en hızlı sertleşen tutkallar arasında yer almaktadır. Serbest formaldehitin varlığı sertleşme reaksiyonunun gerçekleşmesi için gereklidir. Ancak presleme esnasında ve sonrasında formaldehit ayrışmasına neden olmaktadır.

ÜF reçineleri normalde sıvı halde satılırlar, toz haldeki sertleştiricinin ilave edilmesiyle sıvı tutkalın sertleşmesi sağlanır. Tutkalın sertleşmesi reçine ve sertleştirici karıştırıldığında başlar. Sertleşme reaksiyonunun hızı ısı ile artar. Normal oda sıcaklığında tutkalın sertleşmesi için birkaç saat gerekirken,  $80^\circ \text{ C}$ 'de birkaç dakika ve  $125^\circ \text{ C}$ 'de 1 dakikadan daha az bir zaman gerekmektedir (Dunky, 1998).

Çalışmada polisan şirketi tarafından Poliüre 7455 olarak isimlendirilen ÜF tutkalı kullanılmıştır ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir

Görünüş	: Yarı saydam
Katı madde miktarı (ağırlıkça)	: % 55,13
Viskozite	: 160 cps (20° C)
pH	: 8,21 (20° C)
Yoğunluk	: 1.228 g/cm <sup>3</sup> (20° C )
Jel zamanı	: 24 sn (100° C)
Akma zamanı (20° C, DINCIP4, SN)	: 39

### **2.1.2.2. Fenol Formaldehit Tutkalı**

Endüstriyel olarak fenol ve formaldehitin bir katalizör varlığında reaksiyonu ile üretilmektedir. FF reçineleri genel olarak, kullanılan katalizörün türü ve tepkimeye giren maddelerin mol oranlarına göre novalak ve resol adı verilen iki gruba ayrılır. Bu iki reçine türü, sahip oldukları özellikler ve uygulamaları bakımından birbirlerinden oldukça farklıdır (Schmidt, 1998).

Novalaklar formaldehitin aşırı miktarda fenol ile asidik koşullar altında (pH: 1–6) reaksiyonu ile elde edilmektedir. Tipik fenol/formaldehit oranları yaklaşık olarak 1:0,70- 0,85'tir. En yaygın kullanılan endüstriyel katalizörler; okzalik, hidroklorik, sülfürik, fosforik ve tolüen sülfonik asitlerdir. Bu tür reçineler yapılarında reaktif metilol grubu içermediklerinden sertleştirici kullanılmadan sertleşmezler. Reaksiyonu tamamlamak için çapraz bağlı novalak reçinesine formaldehit ilave edilir (Sellers et al, 1988).

Resol tipi fenol formaldehit reçineleri ise alkali koşullar altında elde edilmektedir. Odun kompozit ürünler üretiminde resol tipi fenol formaldehit reçineleri kullanılmaktadır (Scoville, 2001). Kontrplak, OSB (oriented strandboard), yongalevha ve LVL (laminated veneer lumber) gibi odun kompozitlerinin üretiminde bu reçinelerden yararlanılmaktadır. Odunun yapıştırılmasında kullanılan resol tip reçine için formaldehit/fenol mol oranı 1.6/1.0–2.5/1.0 arasındadır. Formaldehitin

fazla olması; sertleşmiş durumda rutubete karşı mükemmel bir direnç, düşük tutuşma kabiliyeti ve yüksek çekme direnci sağlamaktadır (Baldwin, 1995).

Depolama süresi birkaç saatten birkaç aya kadar olabilir. Düşük sıcaklıklarda depolanması tavsiye edilir. pH derecesinin değişmemesi gerekir. Fenolik tutkallar üre tutkallarından daha yavaş sertleşirler. Katalizörler presleme süresini kısaltır. Tutkal sertleştikten sonra ısı ve kimyasal maddelere karşı direnç kazanır. Güçlü ve suya karşı dayanıklı yapışmalar sağlamaktadır. FF tutkalı ağacın rengini koyulaştırır, çok derine nüfuz eder ve kokusu uzun süre çıkmaz. Bu nedenle, tutkallama yapılan hacimde çok iyi havalandırma yapılmalı, eller sabunla yıkanmalı, koruyucu elbiseler giyilmeli ve fenol reçinesi teneffüs edilmemelidir (Bozkurt ve Göker, 1985).

Çalışmada polisan şirketi tarafından Polifen 47 olarak isimlendirilen FF tutkalı kullanılmıştır ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir

Görünüş	: Kırmızı
Katı madde miktarı (ağırlıkça)	: % 47,12
Viskozite	: 420 cps (20° C)
pH	: 10,5 (20° C)
Yoğunluk	: 1,201 g/cm <sup>3</sup> (20° C )
Jel zamanı	: 15 dak.(105° C)
Su Toleransı-K (20° C)	: Sonsuz
Akma zamanı (20° C, DINCIP4, SN)	: 63

### **2.1.2.3. Melamin Üre Formaldehit Tutkalı**

Melamin-üre formaldehit reçinesi, sıcak pres tutkallarının özel bir grubudur. Kuru toz halindeki üre ve melamin reçinelerinin karışımıyla veya iki ayrı reçinenin solüsyon halindeki karışımıyla üretilmektedir. Su ve dış hava şartlarına ve rutubetli iç mekân şartlarına karşı dirençli bir tutkaldır (Pizzi, 1994). MUF reçineleri daha çok dış ve iç ortamlardaki rutubetli yerlerde değerlendirilecek odun levhalarının üretiminde, düşük ve yüksek basınçlı kâğıt laminatların hazırlanmasında ve yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Üre formaldehit reçinesine göre en önemli

üstünlüğü suya karşı çok daha dirençli olmasıdır. Melamin formaldehit tutkalı oldukça pahalıdır. Bundan dolayı üre ilavesi ile elde edilen MUF reçinelerinin fiyatları düşürülmüş bulunmaktadır. Yaygın kullanımı ve ekonomik önemine rağmen, ÜF tutkalına göre, bu yapıştırıcıya literatür de daha az yer ayrılmıştır (Çolakoğlu vd. 2002).

Çalışmada polisan şirketi tarafından MUF P 43 olarak isimlendirilen Melamin Üre Formaldehit tutkalı kullanılmış ve kullanılan tutkalın teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir

Görünüş	: Beyaz
Katı madde miktarı (ağırlıkça)	: % 55,11
Viskozite	: 170 cps (20° C)
pH	: 8,92 (20° C)
Yoğunluk	: 1,232 g/cm <sup>3</sup> (20° C )
Jel zamanı	: 90 saniye
Akma zamanı (20° C, DINCIP4,SN)	: 34

## 2.2. YÖNTEM

### 2.2.1. Lamine Ağaç Malzemelerin Üretimi

Yapılan çalışmada lamine ağaç malzemelerin üretilmesinde Doğu Kayını ve Uludağ Göknaarı kullanılmıştır.

Denemelerde kullanılan ağaç malzeme Safranbolu bölgesinden piyasadan “Rastgele seçim (*Randomly selected*)” yöntemi ile temin edilmiştir. Ağaç malzemenin budaksız, ardaksız, büyüme kusurları bulunmayan, sağlam, düzgün lifli ve diri odun kısmı olmasına özen gösterilmiştir.

Hava kurusu ağaç malzemeler Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü atölyesine getirilmiş ve aynı kereste üzerinden kontrol ve tutkal türüne göre lamine ağaç malzeme üretimi gerçekleştirilebilecek şekilde kaba kesimler yapılmıştır.

Kaba kesimleri yapılmış kerestelerden masif ölçümleri için kontrol grubu ayrılmış ve diğerlerinden frekansa göre değişen örnek boyutunu sağlayabilmek amacıyla 2 farklı kalınlıkta radyal yönde biçme yöntemiyle kaplamalar elde edilmiştir. Bu amaçla, 9.8 GHz frekansı ölçümleri için 3,4 mm, 2.45 GHz frekansı için 5,3 mm kalınlığında kaplamalar elde edilmiştir. Elde edilen kaplamalar  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  sıcaklık ve  $\% 65 \pm 3$  bağıl nem şartlarında iklimlendirme dolabında denge rutubetine ulaşınca kadar bekletilmişlerdir.

### **2.2.2. Lamine Katların Düzenlenmesi ve Presleme İşlemi**

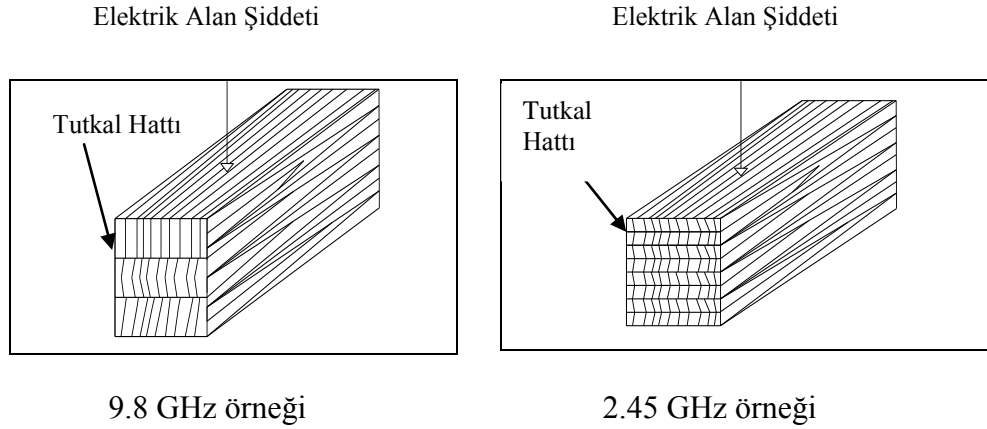
Laminasyon işlemi TS EN 386 ve TS 3891’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. 9.8 GHz ölçümleri için hava kurusu haldeki 3,4 mm kalınlığındaki kaplamalardan 3 kat olacak şekilde  $10,02 \times 50 \times 400$  mm boyutlarında; 2.45 GHz için 5,3 mm kalınlığındaki kaplamalardan 8 kat olacak şekilde  $42,5 \times 50 \times 400$  mm boyutlarında lamine ağaç malzemeler üretilmiştir.

Laminasyon işleminin gerçekleştirilmesinde tutkal üreticisi firmanın önerileri dikkate alınmıştır. Katların tutkallanmasında, tutkal çözeltisi yapıştırma yüzeylerinden yalnız bir tanesine fırça ile  $180-200 \text{ g/m}^2$  hesabıyla sürülmüştür. Tutkal çözeltisinin başlangıçtaki ağırlığı ile tutkallama işleminden sonraki ağırlığı tartılmış ve kullanılan tutkal miktarı fırçada kalan miktar hesaba katılarak tutkallanan toplam yüzeye bölünmüştür. Yapıştırma işleminde; pres süresi; 9.8 GHz ölçümleri için hazırlanan 3 katlı laminasyon örnekleri için 20 dakika, 2.45 GHz ölçümleri için hazırlanan 8 katlı laminasyon örnekleri için 40 dakika, pres basıncı; 100 bar ve pres sıcaklığı ise  $120^\circ \text{C}$ ’dir. Preslemeden sonra, farklı tutkallar ile üretilen lamine ağaç malzemeler ve masif kontrol örnekleri için ayrılan parçalar  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  ve  $\% 65 \pm 3$  bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında denge rutubetine ulaşınca kadar bekletilmişlerdir.



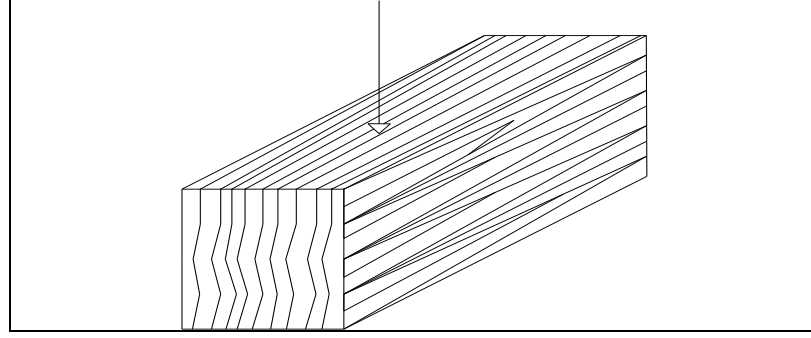
### 2.2.3. Test Örneklerinin Hazırlanması

20 ± 2° C ve % 65 ± 3 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında denge rutubetine ulaşmış masif kontrol ve her üç tutkal türüne ait lamine ağaç malzemelerden her grup için 15 örnek olmak üzere kesin ölçülerde örnek kesimleri gerçekleştirilmiştir. Böylece; 9.8 GHz ölçümlerinde kullanılmak üzere 10,02×50×400 mm boyutlarında hazırlanan lamine levhalardan 2,28×1,02×1,03 cm ve 2.45 GHz’de ölçümleri için kullanılmak üzere 42,5×50×400 mm boyutlardaki lamine ağaç malzemelerden 85,5×42,5×43,85 mm boyutlarında örnekler elde edilmiştir. Lamine ağaç malzeme örneklerinin dielektrik ölçümleri elektrik alan şiddeti, tutkal hattına dik olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle kontrol örnekleri de elektrik alan şiddeti teğet olacak şekilde hazırlanmıştır. Masif-kontrol ve lamine ağaç malzeme örneklerinin elektrik alan şiddetine göre pozisyonları Şekil 2.1 ve 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Lamine ağaç malzemelerin elektrik alan şiddetine göre pozisyonu.

### Elektrik alan şiddeti



Şekil 2.2. Masif-kontrol 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  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  sıcaklıkta bekletilmişlerdir.

#### 2.2.4. Hava Kuru Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Her grup için gerçekleştirilen ölçümlerden hemen önce test örneklerinin ağırlıkları ( $M_r$ ) hassas terazi ile  $\pm 0.001$  gr duyarlılıkta tartılmış ve boyutları mikrometre ve kumpas yardımıyla  $\pm 0.001$  mm duyarlılıkta ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

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

Burada;

$\delta_r$  : Hava kuru yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$M_r$  : Hava kuru ağırlık (g)

$V_r$  : Hava kuru hacim ( $\text{cm}^3$ )

### 2.2.5. Rutubet Miktarının Belirlenmesi

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

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

Burada;

- $r$  : Rutubet miktarı (%)  
 $M_r$  : %  $r$  rutubetteki ağırlık (g)  
 $M_o$  : Tam kuru ağırlık (g)

### 2.2.6. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi

#### 2.2.6.1. Ölçüm Frekansları

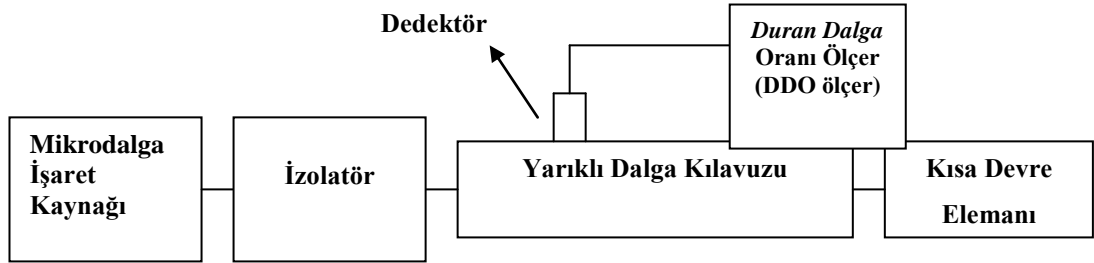
Elektromanyetik dalgaların gittikçe yaygın kullanılmaları karşısında, frekans karışıklığını önlemek için ISM adı verilen belirli frekanslar endüstriyel, bilimsel, tıbbi uygulamalar için kullanılmak üzere ayrılmıştır (Oktay, 1978; Barnes et al, 1976). Günümüzde 0.9 - 18 GHz arasındaki frekanslar odun endüstrisinde gerek ısıtma gerekse odun özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır (Thostenson and Chou, 1999). Bu çalışmada odun türlerinin 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 olacağına düşünülmesidir (Şahin, 2002).

### 2.2.6.2. Sıcaklık

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

### 2.2.6.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deneş Düzenegİ

Bu çalışmada, hem masif kontrol hem de lamine ağaç malzeme test örneklerinin dielektrik özellikleri (dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı) A.Von HIPPEL Dalga Kılavuzu Yöntemi (Chatterjee, 1988) kullanılarak belirlenmiştir. Deneş düzenegİ Şekil 2.3' de verilmektedir.



Şekil 2.3. Dielektrik özellikleri ölçmede kullanılan deneş düzenegİ.

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 örneğİ yerleştirilmektedir. Bu nedenle örneklerin boyutları dalga kılavuzunun enine kesitine uygun olacak şekilde dikdörtgen kesitli olup, ölçüm elektrik alan şiddeti lamine ağaç malzemelerde tutkal hattına dik yönde 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. Bu boyutlarda ve yukarda 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).

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

Buradan,

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

elde edilir.

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

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

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

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,

$$\tan \delta = \frac{4}{S} \left[ \frac{\epsilon' - \epsilon_0/2a}{\epsilon'} \right] \frac{\operatorname{Cosec} \left[ \frac{4\pi}{\lambda_b} (\Delta + t) \right]}{\frac{4\pi t}{\lambda_0} \left[ \epsilon' - \epsilon_0/2a \right] \operatorname{Cosec} \frac{4\pi t}{\lambda_0} - 1} \quad (2.9)$$

Kayıp faktörü,

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

formülleriyle hesaplanmıştır.

Burada;

$d_{1\min}$  : Sonu kısa devre edilmiş boruda gerilim minimumu

$d_{2\min}$  : Malzeme varken ölçülen gerilim minimumu (hat sonu kısa devre iken)

$t$  : Malzemenin kalınlığı

$\beta$  : İçi hava dolu borunun faz sabiti

$\beta_d$  : Malzeme varken faz sabiti

$\lambda_c$  : Kesim dalga boyu

$\lambda_0$  : Boşlukta ilerleyen dalganın dalga boyu

$\lambda_b$  : Boru içinde ilerleyen dalganın dalga boyu

$S$  : Duran dalga oranı

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

$$\beta_d t = \frac{\beta t}{\tan \left[ \frac{4\pi}{\lambda_b} (\Delta + t) \right]} \tan \left[ \frac{4\pi}{\lambda_0} t \right] \quad (2.11)$$

$$\frac{\beta t}{\tan \left[ \frac{4\pi}{\lambda_b} (\Delta + t) \right]} = A \quad (2.12)$$

tanımını yapılarak, bu durumda,

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

denklemini elde edilmiştir. Bu denklemden  $\beta_d$ ' nin analitik yoldan hesabı zor olduğundan  $\beta_d$  belirlendikten sonra örneklerin dielektrik parametreleri ( $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\tan\delta$ ), sayısal çözümlenme yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır (Şahin, 2002).

### **2.2.7. İstatistik Yöntemler**

2.45 GHz ve 9.8 GHz frekans sınırlarında, masif-kontrol ve lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri Excel ve SPSS programları kullanılarak irdelenmiştir. Dielektrik parametreler üzerine odun türü, tutkal türünün ve frekansın etkisi basit varyans analizi kullanılarak SPSS programında incelenmiştir.

## BÖLÜM 3

### BULGULAR

#### 3.1. HAVA KURUSU YOĞUNLUK VE RUTUBET DEĞERLERİ

2.45 GHz frekansında ÜF, MUF, FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin,  $20 \pm 2^{\circ}$  C sıcaklık ve  $\% 65 \pm 3$  bağıl nem şartlarında iklimlendirme dolabında denge rutubetine ulaşmaya kadar bekletildikten sonra belirlenen hava kurusu yoğunluk ve rutubet değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre hava kurusu yoğunluk ve rutubet değerleri.

Odun Türü	Tutkal Türü	Hava kurusu yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )		Rutubet (%)		Örnek sayısı
		Aritmetik ortalama	Standart Sapma	Aritmetik ortalama	Standart Sapma	
Göknar	ÜF	0,448	0,004923	9,7	0,08199	15
	MUF	0,462	0,017855	9,6	0,50188	15
	FF	0,464	0,023725	9,4	0,06148	15
	Kontrol	0,394	0,009677	10,7	0,48551	15
Kayın	ÜF	0,653	0,005178	9,7	0,18975	15
	MUF	0,644	0,010290	9,4	0,50873	15
	FF	0,649	0,029246	9,5	0,20626	15
	Kontrol	0,641	0,011883	10,1	0,46397	15

2.45 GHz frekansında hava kurusu yoğunluk değeri üzerine tutkal türünün etkisinin incelendiği varyans analizi sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelge 3.2’ye göre Göknar odununda hava kurusu yoğunluk üzerine tutkal türünün etkisinin istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde önemli, Kayın odununda ise tutkal türünün etkisinin 0,05



düzeyinde önemsiz olduğu görülmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre, Göknar odunu Kayımdan daha düşük hava kurusu yoğunluk değerine sahiptir.

Çizelge 3.2. 2.45 GHz frekansında hava kurusu yoğunluk ve rutubet değeri üzerine odun türü ve tutkal türünün etkisine ait varyans analizi sonuçları.

Odun Türü	Varyans Kaynaklar		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Göknar	Düzeltilmiş Model	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,048 <sup>a</sup>	3	0,016	64,339	0,000
		Rutubet (%)	14,366 <sup>b</sup>	3	4,789	38,456	0,000
	Sabit Terim	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	11,728	1	11,728	46930,269	0,000
		Rutubet (%)	5813,89	1	5813,890	46687,914	0,000
	Tutkal	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,048	3	0,016	64,339	0,000
		Rutubet (%)	14,366	3	4,789	38,456	0,000
	Hata	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,014	56	0,000		
		Rutubet (%)	6,973	56	0,125		
	Toplam	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	11,790	60			
		Rutubet (%)	5835,230	60			
Kayın	Düzeltilmiş Model	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,001 <sup>c</sup>	3	0,000	1,424	0,245
		Rutubet (%)	4,013 <sup>d</sup>	3	1,338	9,683	0,000
	Sabit Terim	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	25,110	1	25,110	88944,807	0,000
		Rutubet (%)	5629,992	1	5629,992	40751,102	0,000
	Tutkal	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,001	3	0,000	1,424	0,245
		Rutubet (%)	4,013	3	1,338	9,683	0,000
	Hata	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,016	56	0,000		
		Rutubet (%)	7,737	56	0,138		
	Toplam	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	25,127	60			
		Rutubet (%)	5641,742	60			

a.R<sup>2</sup>=0,771, b.R<sup>2</sup>= 0,673, c.R<sup>2</sup>= 0,71, d.R<sup>2</sup>=0,342

2.45 GHz frekansında tutkal türünün hava kurusu yoğunluk değeri üzerine etkisinin incelendiği Duncan testi sonuçlarına göre Gökmar odununda en düşük değerlerin kontrol örneklerinde en yüksek değerlerin FF ile yapıştırılmış LVL'lerde bulunduğu belirlenmiştir. Kayın odununda ise gruplar arasında istatistiksel olarak fark olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. 2.45 GHz frekansında hava kurusu yoğunluk değerinin tutkal ve odun türüne ve göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.

Odun türü		Gökmar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Alt Gruplar	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Alt Gruplar
ÜF	15	0,448	a	0,653	a
MUF	15	0,462	b	0,644	a
FF	15	0,464	b	0,649	a
Kontrol	15	0,394	c	0,641	a

Gökmar ve Kayın odunundan ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin 20° C sıcaklık ve % 65 bağıl nemde bekletildikten sonra 9.8 GHz frekansında gerçekleştirilen deneyleri sırasındaki hava kurusu yoğunluk ve denge rutubet değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

9.8 GHz frekansında hava kurusu yoğunluk değeri ve denge rutubeti değeri üzerine ve tutkal türünün etkisinin incelendiği varyans analizi sonuçları Çizelge 3.5'te verilmiştir. Çizelge 3.6'ya göre tutkal türünün hava kurusu yoğunluk ve denge rutubeti değeri üzerine etkisinin istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin tutkal türüne göre hava kuruşu yoğunluk ve rutubet değeri.

Odun Türü	Tutkal Türü	Hava kuruşu yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )		Rutubet (%)		Örnek Sayısı
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	
Göknar	ÜF	0,499	0,024833	9,6	0,37108	15
	MUF	0,499	0,015462	9,4	0,56735	15
	FF	0,510	0,007248	9,7	0,47695	15
	Kontrol	0,418	0,005288	11,7	0,58225	15
Kayın	ÜF	0,685	0,024953	9,8	0,84733	15
	MUF	0,647	0,027365	9,8	0,82520	15
	FF	0,666	0,017290	9,8	0,71677	15
	Kontrol	0,640	0,011527	11,3	0,53305	15

Çizelge 3.5. 9.8 GHz frekansında hava kuru yoğunluk ve rutubet değeri üzerine tutkal türünün etkisine ait varyans analizi sonuçları.

Odun Türü	Varyans Kaynaklar		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Gök nar	Düzeltilmiş Model	Yoğunluk	0,082 <sup>a</sup>	3	0,027	116,254	0,000
		Rutubet	50,563 <sup>b</sup>	3	16,854	65,704	0,000
	Sabit Terim	Yoğunluk	13,929	1	13,929	59510,053	0,000
		Rutubet	6138,302	1	6138,302	23929,243	0,000
	Tutkal	Yoğunluk	0,082	3	0,027	116,254	0,000
		Rutubet	50,563	3	16,854	65,704	0,000
	Hata	Yoğunluk	0,013	56	0,000		
		Rutubet	14,365	56	0,257		
	Toplam	Yoğunluk	14,024	60			
		Rutubet	6203,230	60			
Kayın	Düzeltilmiş Model	Yoğunluk	0,018 <sup>c</sup>	3	0,006	13,301	0,000
		Rutubet	25,685 <sup>d</sup>	3	8,562	15,589	0,000
	Sabit Terim	Yoğunluk	26,094	1	26,094	57879,710	0,000
		Rutubet	6216,477	1	6216,477	11319,076	0,000
	Tutkal	Yoğunluk	0,018	3	0,006	13,301	0,000
		Rutubet	25,685	3	8,562	15,589	0,000
	Hata	Yoğunluk	0,025	56	0,000		
		Rutubet	30,755	56	0,549		
	Toplam	Yoğunluk	26,137	60			
		Rutubet	6272,918	60			

a.R<sup>2</sup>=0,862, b.R<sup>2</sup>= 0,779, c.R<sup>2</sup>= 0,416, d.R<sup>2</sup>=0,455

9.8 GHz frekansında tutkal türünün hava kuru yoğunluk ve rutubet üzerine etkisinin irdelendiği Duncan karşılaştırma testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.6) Gök nar odununda hava kuru yoğunluk değerinin kontrol örneklerinde en düşük olduğu ancak ÜF, MUF ve FF ile üretilen LVL'ler arasında önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Kayın odununda ise yine kontrol örneklerinin en düşük hava kuru yoğunluk değerini verdiği fakat ÜF, MUF ve FF ile üretilen LVL'lerin hava kuru

yoğunluk değerlerinde birbirinden istatistiksel olarak farklı olduğu ve en yüksek değeri ÜF ile yapılandırılmış olanların verdiği belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. 9.8 GHz frekansında hava kurusu yoğunluk değerinin tutkal türüne göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.

Odun türü		Gökmar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Alt Gruplar	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Alt Gruplar
ÜF	15	0,499	a	0,685	a
MUF	15	0,499	a	0,647	b
FF	15	0,510	a	0,666	c
Kontrol	15	0,418	b	0,640	b

2.45 frekansında kullanılan örneklerin denge rutubet değerleri değerlendirildiğinde, tutkal türüne göre denge rutubet miktarlarının değiştiği ve bu değişimin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.7), Gökmar odununda en yüksek denge rutubet miktarını kontrol örneklerinin verdiği, en düşük denge rutubet ise FF ile üretilmiş LVL'lerde bulunduğu belirlenmiştir. Masif-kontrol ile LVL'ler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup LVL'ler arasında FF ve MUF aynı grupta yer almaktadır. Kayın odununda ise yine en yüksek denge rutubet miktarına kontrol örneklerinin sahip olduğu ÜF, MUF ve FF ile üretilmiş LVL'lerin denge rutubet değerleri arasında ise fark bulunmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 3.7. 2.45 GHz frekansında rutubetin tutkal türüne göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.

Odun türü		Gök nar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Rutubet (%)	Alt Gruplar	Rutubet (%)	Alt Gruplar
ÜF	15	9,7	a	9,7	a
MUF	15	9,6	ab	9,4	a
FF	15	9,4	b	9,5	a
Kontrol	15	10,7	c	10,1	b

9.8 GHz frekansında denge rutubetine ait Duncan karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.8’de verilmiştir. Buna göre Gök nar ve Kayın odununda kontrol örneklerinin denge rutubetinin ÜF, MUF ve FF üretilmiş LVL’lerden yüksek olduğu ve bunun istatiks el olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ancak her iki ağaç türünde de LVL’lerin tutkal türüne göre denge rutubetinin değişmediği belirlenmiştir.

Çizelge 3.8. 9.8 GHz frekansında rutubetin tutkal türüne göre değişimini irdeleyen Duncan testi sonuçları.

Odun türü		Gök nar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Rutubet (%)	Alt Gruplar	Rutubet (%)	Alt Gruplar
ÜF	15	9,6	a	9,8	a
MUF	15	9,4	a	9,8	a
FF	15	9,7	a	9,8	a
Kontrol	15	11,7	b	11,3	b

## 3.2. 2.45 GHz FREKANSINDA LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR

### 3.2.1. Dielektrik Sabiti

Göknar ve Kayın odun türlerinden hazırlanan masif-kontrol ile ÜF, MUF ve FF tutkalı kullanılarak üretilen lamine ağaç malzemelerin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C oda sıcaklığında ölçülen dielektrik sabiti değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.9’da verilmektedir.

Çizelge 3.9. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin odun ve tutkal türüne göre dielektrik sabiti değerleri.

	Odun Türü	Tutkal Türü	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı
2.45 GHz	Göknar	ÜF	1,78	0,06200	15
		MUF	1,83	0,05822	15
		FF	1,79	0,08504	15
		Kontrol	1,83	0,04366	15
	Kayın	ÜF	2,09	0,07930	15
		MUF	2,12	0,09874	15
		FF	2,18	0,14275	15
		Kontrol	2,33	0,11800	15

2.45 GHz frekansında, dielektrik sabiti üzerine odun türünün, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.10). Çizelge 3.9 dikkate alındığında gerek masif-kontrol gerekse lamine ağaç malzemelerde Kayın odununun dielektrik sabiti değerlerinin Göknar odunundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Odun türleri verileri birlikte ele alınarak yapılan tutkal türünün etkisine ilişkin Duncan karşılaştırma testi sonuçları çizelge 3.11’de verilmiştir. Buna göre kontrol örneklerinin en yüksek dielektrik sabiti değerine sahip olduğu ve LVL’lerde ise ÜF ile yapıştırılmış olanların en düşük FF ile yapıştırılanların en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.10. 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine odun ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	7,476 <sup>a</sup>	7	1,068	140,105	0,000
Sabit Terim	909,823	1	909,823	119358,657	0,000
Odun	6,906	1	6,906	905,965	0,000
Tutkal	0,403	3	0,134	17,626	0,000
Odun *Tutkal	0,167	3	0,056	7,297	0,000
Hata	1,768	232	0,008		
Toplam	919,067	240			
Düzeltilmiş Toplam	9,244	239			

a.R<sup>2</sup> =0, 809

Çizelge 3.11. 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları.

Tutkal	Örnek Sayısı	Dielektrik Sabiti	Alt Gruplar
ÜF	30	1,90	a
MUF	30	1,93	ab
FF	30	1,95	b
Kontrol	30	2,01	c

Odun ve tutkal türünün birlikteki etkileşimleri istatistiksel olarak da önemli olduğundan Göknaar ve Kayın odununda tutkal türünün etkisi ayıca varyans analizi ile irdelenmiştir. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.10'da verilmiştir.



Çizelge 3.12. 2.45 GHz frekansında odun türü bazında lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Frekans	Odun Türü	Varyans Kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
2.45 GHz	Gökmar	Düzeltilmiş Model	0,029 <sup>a</sup>	3	0,010	2,381	0,079
		Sabit Terim	196,218	1	196,218	47943,906	0,000
		Tutkal	0,029	3	0,010	2,381	0,079
		Hata	0,229	56	0,004		
		Toplam	196,476	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,258	59			
	Kayın	Düzeltilmiş Model	0,521 <sup>b</sup>	3	0,174	13,798	0,000
		Sabit Terim	285,444	1	285,444	22681,723	0,000
		Tutkal	0,521	3	0,174	13,798	0,000
		Hata	0,705	56	0,013		
		Toplam	286,670	60			
		Düzeltilmiş Toplam	1,226	59			

a.  $R^2=113$ , b.  $R^2=425$

Varyans analizi sonuçlarına göre 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin Gökmar odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olmadığı, ancak Kayın odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

2.45 GHz frekansında Gökmar ve Kayından üretilen lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerlerini tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları Çizelge 3.13'de verilmiştir. Gökmar odununda en yüksek dielektrik sabiti değerini masif-kontrol örneklerinin (1,83), en düşük değerini ise ÜF ile lamine edilmiş lamine ağaç malzeme (1,78) elde edildiği ancak tüm gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Kayın odununun da ise masif-kontrol örneklerinin en yüksek değeri (2,33) verdiği ÜF, MUF ve FF ile yapıştırılmış lamine

ağaç malzemelerin ise daha düşük dielektrik sabiti değerine sahip olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler birbiriyle karşılaştırıldığında ise, ÜF ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemelerin en düşük dielektrik sabiti değerine ve FF ile yapıştırılmış olanların ise en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.13. 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları (P<0,005).

Odun türü		Gökmar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Dielektrik Sabiti	Alt Gruplar	Dielektrik Sabiti	Alt Gruplar
ÜF	15	1,78	a	2,09	a
MUF	15	1,83	a	2,12	ab
FF	15	1,79	a	2,18	b
Kontrol	15	1,83	a	2,33	c

### 3.2.2. Kayıp Faktörü

Gökmar ve Kayın odun türleri kullanılarak hazırlanan masif-kontrol, ÜF, MUF ve FF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 2.45 GHz frekansında ve 20-24° C oda sıcaklığında ölçülen kayıp faktörü değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.14'de verilmektedir.

Çizelge 3.14. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin odun ve tutkal türüne göre kayıp faktörü değerleri.

	Odun Türü	Tutkal Türü	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı
2.45 GHz	Göknar	ÜF	0,144	0,01833	15
		MUF	0,160	0,02604	15
		FF	0,148	0,02857	15
		Kontrol	0,163	0,02440	15
	Kayın	ÜF	0,208	0,03480	15
		MUF	0,212	0,03789	15
		FF	0,241	0,05364	15
		Kontrol	0,279	0,04811	15

2.45 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine odun türünün, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.15). Çizelge 3.14 dikkate alındığında gerek masif-kontrol gerekse lamine ağaç malzemelerde Kayın odununun kayıp faktörü değerlerinin Göknar odunundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Tutkal türünün etkisine ilişkin Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.16’da verilmiştir. Odun türü farkı gözetmeksizin yapılan Duncan testi sonuçlarına göre kontrol örneklerinin kayıp faktörünün LVL’lerden yüksek olduğu ancak ÜF, MUF ve FF ile yapııştırılan LVL’lerin aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir.

Çizelge 3.15. 2.45 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine odun ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0,248 <sup>a</sup>	7	0,035	27,653	0,000
Sabit Terim	4,533	1	4,533	3532,477	0,000
Odun	0,196	1	0,196	153,105	0,000
Tutkal	0,033	3	0,011	8,657	0,000
Odun *Tutkal	0,019	3	0,006	4,831	0,003
Hata	0,144	112	0,001		
Toplam	4,925	120			
Düzeltilmiş Toplam	0,392	119			

a.R<sup>2</sup> = 0,633

Çizelge 3.16. 2.45 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları (P<0,05).

Tutkal	Örnek Sayısı	Kayıp Faktörü	Alt Gruplar
ÜF	30	0,176	a
MUF	30	0,186	a
FF	30	0,195	a
Kontrol	30	0,221	b

Odun ve tutkal türünün birlikteki etkileşimleri istatistiksel olarak da önemli olduğundan Göknaar ve Kayın odununda tutkal türünün etkisi ayıca odun türü bazında varyans analizi ile irdelenmiştir. 2.45 GHz frekansında Göknaar ve Kayın odunlarından üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17. 2.45 Ghz frekansında odun türü bazında lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Frekans	Odun	Varyans Kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
2.45 GHz	Gökmar	Düzeltilmiş Model	0,004 <sup>a</sup>	3	0,001	1,969	0,129
		Sabit Terim	1,421	1	1,421	2343,378	0,000
		Tutkal	0,004	3	0,001	1,969	0,129
		Hata	0,034	56	0,001		
		Toplam	1,458	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,038	59			
	Kayın	Düzeltilmiş Model	0,048 <sup>b</sup>	3	0,016	8,222	0,000
		Sabit Terim	3,308	1	3,308	1687,922	0,000
		Tutkal	0,048	3	0,016	8,222	0,000
		Hata	0,110	56	0,002		
		Toplam	3,466	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,158	59			

a.  $R^2 = 0,095$  , b.  $R^2 = 0,306$

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.17) 2.45 GHz frekansında çalışılan her iki odun türü dikkate alındığında, kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin Gökmar odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olmadığı, ancak Kayın odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

2.45 GHz frekansında Gökmar ve Kayından üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerlerini tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.18) Gökmar odununda en yüksek kayıp faktörü değerini masif-kontrol örneklerinin, en düşük değer ise ÜF ile lamine edilmiş lamine ağaç malzeme elde edildiği ancak tüm gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. 2.45 GHz de Kayın odunun da ise masif-kontrol örneklerinin

en yüksek değere sahip olduğu ve LVL'ler ile karşılaştırıldığında bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ancak LVL'lerin kayıp faktörlerinin tutkal türüne göre değişmediği belirlenmiştir.

Çizelge 3.18. 2.45 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları ( $P < 0,05$ ).

Odun türü		Gök nar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Kayıp Faktörü	Alt Gruplar	Kayıp Faktörü	Alt Gruplar
ÜF	15	0,1444	a	0,2076	a
MUF	15	0,1599	a	0,2122	a
FF	15	0,1484	a	0,2407	a
Kontrol	15	0,1630	a	0,2788	b

### 3.2.3. Kayıp Tanjantı

Gök nar ve Kayın odun türleri kullanılarak hazırlanan masif-kontrol ve ÜF, MUF ve FF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 ° C oda sıcaklığında ölçülen kayıp tanjantı değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.19'da verilmektedir.

Çizelge 3.19. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin odun ve tutkal türüne göre kayıp tanjantı değerleri.

	Odun Türü	Tutkal Türü	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı
2.45 GHz	Göknar	ÜF	0,081	0,00776	15
		MUF	0,087	0,01163	15
		FF	0,082	0,01245	15
		Kontrol	0,091	0,01030	15
	Kayın	ÜF	0,099	0,01340	15
		MUF	0,099	0,01384	15
		FF	0,109	0,01837	15
		Kontrol	0,119	0,01501	15

2.45 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine odun türünün ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.20’de verilmiştir. 2.45 GHz frekansında kayıp tanjantı üzerine odun türünün ve tutkal türünün 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu ancak bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu belirlenmiştir. Gerek masif-kontrol gerekse lamine ağaç malzemelerde kayın odununun dielektrik sabiti değerlerinin Göknar odunundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Tutkal türünün etkisine ilişkin Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.21’de verilmiştir.

Çizelge 3.20. 2.45 GHz frekansında kayıp tanjantı üzerine odun ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0,019 <sup>a</sup>	7	0,003	15,354	0,000
Sabit Terim	1,105	1	1,105	6362,048	0,000
Odun	0,014	1	0,014	78,446	0,000
Tutkal	0,004	3	0,001	7,409	0,000
Odun *Tutkal	0,001	3	0,000	2,267	0,085
Hata	0,019	112	0,000		
Toplam	1,144	120			
Düzeltilmiş Toplam	0,038	119			

$$a.R^2 = 0,490$$

Çizelge 3.21. 2.45 GHz frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları (P<0,005).

Tutkal	Örnek Sayısı	Kayıp Tanjantı	Alt Gruplar
ÜF	30	0,090	a
MUF	30	0,093	a
FF	30	0,096	a
Kontrol	30	0,105	b

Çizelge 3.21'e göre odun türü dikkate alınmaksızın kayıp tanjantı değerleri değerlendirildiğinde masif-kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerlerinin istatistiksel olarak LVL'lerden yüksek olduğu, LVL'lerin ise tutkal türüne göre kayıp tanjantının değişmediği belirlenmiştir. Varyans analizine göre (Çizelge 3.20) kayıp tanjantı üzerine odun ve tutkal türünün birlikteki etkileşimleri istatistiksel olarak da önemli olduğundan tutkal türünün etkisi ayrıca varyans analizi ile irdelenmiştir. 2.45



GHz frekansında odun türü bazında lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.22’de verilmiştir.

Çizelge 3.22. 2.45 GHz frekansında odun türü bazında lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Frekans	Odun	Varyans Kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
2.45 GHz	Gök nar	Düzeltilmiş Model	0,001 <sup>a</sup>	3	0,000	3,002	0,038
		Sabit Terim	0,437	1	0,437	3827,564	0,000
		Tutkal	0,001	3	0,000	3,002	0,038
		Hata	0,006	56	0,000		
		Toplam	0,444	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,007	59			
	Kayın	Düzeltilmiş Model	0,004 <sup>b</sup>	3	0,001	5,736	0,002
		Sabit Terim	0,682	1	0,682	2923,306	0,000
		Tutkal	0,004	3	0,001	5,736	0,002
		Hata	0,013	56	0,000		
		Toplam	0,699	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,017	59			

a.  $R^2 = 0,139$  b.  $R^2 = 0,235$

Varyans analizi sonuçlarına göre, 2.45 GHz frekansında çalışılan her iki odun türü dikkate alındığında, kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin Gök nar ve Kayın odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

2.45 GHz frekansında Gök nar ve Kayından üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı değerlerini tutkal türüne göre karşılaştırmak amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.23) Gök nar odununda en yüksek dielektrik sabiti

değerini masif-kontrol örneklerinin (0,091), en düşük değerin ise ÜF ile lamine edilmiş lamine ağaç malzemede (0,081) elde edildiği belirlenmiştir.

Kayın odunun da ise masif-kontrol örneklerinin en yüksek değere sahip olduğu ancak lamine ağaç malzemelerin ise daha düşük kayıp tanjantı değerine sahip olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler birbiriyle karşılaştırıldığında ise, ÜF ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemelerin en düşük kayıp tanjantı değerine (0,099) ve FF ile yapıştırılmış olanların ise en yüksek değere (0,109) sahip olduğu ancak 0,05 anlam düzeyinde aynı grupta yer aldıkları belirlenmiştir.

Çizelge 3.23. 2.45 GHz frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları (P<00,5).

Odun türü		Gökmar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Kayıp Tanjantı	Alt Gruplar	Kayıp Tanjantı	Alt Gruplar
ÜF	15	0,081	a	0,099	a
MUF	15	0,087	b	0,099	a
FF	15	0,082	a	0,109	ab
Kontrol	15	0,091	b	0,119	b

### 3.3. 9.8 GHz FREKANSINDA LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR

#### 3.3.1. Dielektrik Sabiti

Gökmar ve Kayın odun türleri kullanılarak hazırlanan masif-kontrol ve ÜF, MUF ve FF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 ° C

oda sıcaklığında ölçülen dielektrik sabiti değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.24’de verilmektedir.

Çizelge 3.24. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin odun ve tutkal türüne göre dielektrik sabiti değerleri.

	Odun Türü	Tutkal Türü	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı
9.8 GHz	Göknar	ÜF	1,72	0,04304	15
		MUF	1,73	0,02772	15
		FF	1,77	0,02426	15
		Kontrol	1,77	0,01098	15
	Kayın	ÜF	2,03	0,01823	15
		MUF	2,02	0,04156	15
		FF	2,05	0,02678	15
		Kontrol	2,12	0,04200	15

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, (Çizelge 3.25) dielektrik sabiti üzerine odun türünün, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Gerek masif-kontrol gerekse lamine ağaç malzemelerde Kayın odununun dielektrik sabiti değerlerinin Göknar odunundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.26’de verilmiştir. Buna göre 9.8 GHz frekansında masif-kontrol örneklerinin en yüksek dielektrik sabiti değerine sahip olduğu ve LVL’ler ile arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. LVL’ler tutkal türüne göre kıyaslandığında ise en düşük değere ÜF ile en yüksek değere ise FF ile yapılandırılmışlarda rastlanmıştır.

Çizelge 3.25. 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine odun ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	2,935 <sup>a</sup>	7	0,419	426,114	0,000
Sabit Terim	432,876	1	432,876	439998,847	0,000
Odun	2,805	1	2,805	2850,919	0,000
Tutkal	0,105	3	0,035	35,422	0,000
Odun *Tutkal	0,025	3	0,008	8,538	0,000
Hata	0,110	112	0,001		
Toplam	435,921	120			
Düzeltilmiş Toplam	3,045	119			

a.R<sup>2</sup> = 0,964

Çizelge 3.26. 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları (P<0,005).

Tutkal	Örnek Sayısı	Dielektrik Sabiti	Alt Gruplar
ÜF	30	1,87	a
MUF	30	1,87	a
FF	30	1,91	b
Kontrol	30	1,94	c

Çizelge 3.25'e göre odun ve tutkal türünün birlikteki etkileşimleri istatistiksel olarak da önemli olduğundan Gökmar ve Kayın odununda tutkal türünün etkisi ayıca odun türü bazında varyans analizi ile irdelenmiştir. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.27'de verilmiştir.

Çizelge 3.27. 9.8 GHz’de lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Frekans	Odun	Varyans Kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
9.8 GHz	Gök nar	Düzeltilmiş Model	0,029 <sup>a</sup>	3	0,010	11,630	0,000
		Sabit Terim	182,996	1	182,996	219809,410	0,000
		Tutkal	0,029	3	0,010	11,630	0,000
		Hata	0,047	56	0,001		
		Toplam	183,072	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,076	59			
	Kayın	Düzeltilmiş Model	0,101 <sup>b</sup>	3	0,034	29,571	0,000
		Sabit Terim	252,685	1	252,685	222609,727	0,000
		Tutkal	0,101	3	0,034	29,571	0,000
		Hata	0,064	56	0,001		
		Toplam	252,849	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,164	59			

a.  $R^2=0,384$  b.  $R^2=0,613$

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.27), 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine tutkal türünün etkisinin Gök nar ve Kayın odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

9.8 GHz frekansında Gök nar ve Kayından üretilen lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerlerini tutkal türüne göre karşılaştırmak amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.28) Gök nar odununda en yüksek dielektrik sabiti değerini masif-kontrol örneklerinin, en düşük değer ise ÜF ile lamine edilmiş lamine ağaç malzeme elde edildiği belirlenmiştir.

9.8 GHz de Kayın odunun da ise masif-kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemelerden daha yüksek dielektrik sabiti değerine sahip olduğu ve aradaki farkın

istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler birbiriyle karşılaştırıldığında ise, ÜF ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemelerin en düşük dielektrik sabiti değerine ve FF ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemelerin ise en yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.28. 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine değerini tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları (P<0,005).

Odun türü		Gök nar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Dielektrik Sabiti	Alt Gruplar	Dielektrik Sabiti	Alt Gruplar
ÜF	15	1,72	a	2,02	a
MUF	15	1,73	a	2,03	ab
FF	15	1,77	b	2,05	b
Kontrol	15	1,77	b	2,12	c

### 3.3.2. Kayıp Faktörü

Gök nar ve Kayın odun türleri kullanılarak hazırlanan masif-kontrol ve ÜF, MUF ve FF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 ° C oda sıcaklığında ölçülen kayıp faktörü değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.29'da verilmektedir.

Çizelge 3.29. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin odun ve tutkal türüne göre kayıp faktörü değerleri.

	Odun Türü	Tutkal Türü	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı
9.8 GHz	Gökmar	ÜF	0,107	0,00835	15
		MUF	0,120	0,01148	15
		FF	0,134	0,00679	15
		Kontrol	0,161	0,00872	15
	Kayın	ÜF	0,168	0,01206	15
		MUF	0,162	0,00788	15
		FF	0,169	0,01102	15
		Kontrol	0,218	0,01476	15

Kayıp faktörü üzerine odun türü ve tutkal türünün etkisinin irdelendiği varyans analizi sonuçları Çizelge 3.30’da verilmiştir. Kayıp faktörü üzerine odun türünün, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Gerek masif-kontrol gerekse lamine ağaç malzemelerde Kayın odununun kayıp faktörü değerlerinin Gökmar odunundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Grupların ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.31’de verilmiştir.

Çizelge 3.30. 9.8 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine odun ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0,127 <sup>a</sup>	7	0,018	166,256	0,000
Sabit Terim	2,878	1	2,878	26455,093	0,000
Odun	0,072	1	0,072	663,118	0,000
Tutkal	0,051	3	0,017	156,374	0,000
Odun *Tutkal	0,003	3	0,001	10,519	0,000
Hata	0,012	112	0,000		
Toplam	3,016	120			
Düzeltilmiş Toplam	0,139	119			

$$a.R^2 = 0,912$$

Çizelge 3.31. 9.8 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Dunca karşılaştırma testi sonuçları (P<0,005).

Tutkal	Örnek Sayısı	Kayıp Faktörü	Alt Gruplar
ÜF	30	0,137	a
MUF	30	0,141	a
FF	30	0,151	b
Kontrol	30	0,189	c

Odun türü gözetmeksizin gruplar karşılaştırıldığında masif-kontrol örneklerinin LVL'lerden yüksek kayıp faktörüne sahip olduğu ve bunun 0,005 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. LVL'lerde ise ÜF en düşük ve FF en yüksek değere sahip olduğu ancak ÜF ile FF arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Tutkal türünün birlikteki etkileşimleri istatistiksel olarak da önemli olduğundan (Çizelge 3.30) Göknaar ve Kayın odununda tutkal türünün etkisi ayıca odun türü bazında varyans analizi ile irdelenmiştir. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp



faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.32’de verilmiştir.

Çizelge 3.32. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Frekans	Oduun	Varyans Kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
9.8 GHz	Gökmar	Düzeltilmiş Model	0,024 <sup>a</sup>	3	0,008	97,904	0,000
		Sabit Terim	1,019	1	1,019	12596,894	0,000
		Tutkal	0,024	3	0,008	97,904	0,000
		Hata	0,005	56	8,091E-5		
		Toplam	1,048	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,028	59			
		Düzeltilmiş Model	0,031 <sup>b</sup>	3	0,010	74,884	0,000
	Kayın	Sabit Terim	1,930	1	1,930	14128,942	0,000
		Tutkal	0,031	3	0,010	74,884	0,000
		Hata	0,008	56	0,000		
		Toplam	1,969	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,038	59			

a.  $R^2 = 0,840$  b.  $R^2 = 0,800$

Varyans analizi sonuçlarına göre 9.8 GHz frekansında kayıp faktörü üzerine tutkal türünün etkisinin Gökmar ve Kayın odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

9.8 GHz frekansında Gökmar ve Kayından üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerlerini tutkal türüne göre karşılaştırmak amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.33) Gökmar odununda en yüksek dielektrik sabiti

değerini masif-kontrol örneklerinin, en düşük değerin ise ÜF tutkalı ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemede elde edildiği ve gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

9.8 GHz frekansında Kayın odunun da ise masif-kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemelerden yüksek değere sahip olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.33). Ancak tutkal türüne göre LVL'lerin kayıp faktörünün değişmediği belirlenmiştir.

Çizelge 3.33 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerinin kayıp faktörü değerinin tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları.

Odun türü		Gök nar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Kayıp Faktörü	Alt Gruplar	Kayıp Faktörü	Alt Gruplar
ÜF	15	0,107	a	0,168	a
MUF	15	0,120	b	0,162	a
FF	15	0,134	c	0,169	a
Kontrol	15	0,161	d	0,218	b

### 3.3.3. Kayıp Tanjantı

Gök nar ve Kayın odun türleri kullanılarak hazırlanan masif-kontrol ve ÜF, MUF ve FF tutkalı ile üretilen lamine ağaç malzemelerin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklığında ölçülen kayıp tanjantı değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.34'de verilmiştir.

Kayıp tanjantı üzerine odun türü ve tutkal türünün etkisi varyans analizi ile irdelenmiş ve sonuçlar Çizelge 3.35'de verilmiştir.

Kayıp tanjantı üzerine odun türünün, tutkal türünün ve bunların birlikteki etkileşimlerinin 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.35). Gerek masif-kontrol gerekse lamine ağaç malzemelerde Kayın odununun kayıp faktörü değerlerinin Gökmar odunundan yüksek olduğu belirlenmiştir. Grupların tutkal türüne göre Duncan karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 3.36’da verilmektedir.

Çizelge 3.34. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin odun ve tutkal türüne göre kayıp tanjantı değerleri.

	Odun Türü	Tutkal Türü	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı
9.8 GHz	Gökmar	ÜF	0,062	0,00335	15
		MUF	0,068	0,00467	15
		FF	0,073	0,00293	15
		Kontrol	0,092	0,00411	15
	Kayın	ÜF	0,081	0,00413	15
		MUF	0,081	0,00220	15
		FF	0,083	0,00376	15
		Kontrol	0,103	0,00539	15

Çizelge 3.35. 9.8 GHz frekansında kayıp tanjantı üzerine odun ve tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0,018 <sup>a</sup>	7	0,003	166,649	0,000
Sabit Terim	0,775	1	0,775	50189,587	0,000
Odun	0,005	1	0,005	339,332	0,000
Tutkal	0,012	3	0,004	267,899	0,000
Odun *Tutkal	0,000	3	0,000	7,838	0,000
Hata	0,002	112	1,544E-5		
Toplam	0,794	120			
Düzeltilmiş Toplam	0,020	119			

$$a.R^2 = 0,912$$

Çizelge 3.36. 9.8 GHz frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Duncan karşılaştırma testi sonuçları (P<0,005).

Tutkal	Örnek Sayısı	Kayıp Tanjantı	Alt Gruplar
ÜF	30	0,071	a
MUF	30	0,075	b
FF	30	0,078	c
Kontrol	30	0,097	d

Odun ve tutkal türünün birlikteki etkileşimleri istatistiksel olarak da önemli olduğundan Gökmar ve Kayın odununda tutkal türünün etkisi ayıca odun türü bazında varyans analizi ile irdelenmiştir. 9.8 GHz frekansında odun türü bazında lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 3.37’de verilmiştir.

Çizelge 3.37. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Frekans	Odun	Varyans Kaynakları	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
9.8 GHz	Gök nar	Düzeltilmiş Model	0,008 <sup>a</sup>	3	0,003	175,276	0,000
		Sabit Terim	0,326	1	0,326	22334,695	0,000
		Tutkal	0,008	3	0,003	175,276	0,000
		Hata	0,001	56	1,461E-5		
		Toplam	0,335	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,008	59			
	Kayın	Düzeltilmiş Model	0,005 <sup>b</sup>	3	0,002	104,267	0,000
		Sabit Terim	0,454	1	0,454	27896,143	0,000
		Tutkal	0,005	3	0,002	104,267	0,000
		Hata	0,001	56	1,626E-5		
		Toplam	0,460	60			
		Düzeltilmiş Toplam	0,006	59			

a.  $R^2 = 0,904$  b.  $R^2 = 0,848$

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 3.37) göre 9.8 GHz frekansında kayıp tanjantı üzerine tutkal türünün etkisinin Gök nar ve Kayın odununda 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

9.8 GHz frekansında Gök nar ve Kayından üretilen lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı değerlerini tutkal türüne göre karşılaştırmak amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.38) Gök nar odununda bütün gruplar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu ve en yüksek kayıp tanjantı değerini masif-kontrol örneklerinin (0,092), en düşük değer ise ÜF ile lamine edilmiş lamine ağaç malzemede (0,062) elde edildiği belirlenmiştir.

Kayın odununda ise masif-kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemeden yüksek değere sahip olduğu ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Ancak LVL'lerin tutkal türüne göre kayıp tanjantının değişmediği belirlenmiştir.

Çizelge 3.38. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerinin kayıp tanjantı değerinin tutkal türüne göre karşılaştıran Duncan testi sonuçları.

Odun türü		Gök nar		Kayın	
Tutkal	Örnek sayısı	Kayıp Tanjantı	Alt Gruplar	Kayıp Tanjantı	Alt Gruplar
ÜF	15	0,062	a	0,081	a
MUF	15	0,068	b	0,081	a
FF	15	0,073	c	0,083	a
Kontrol	15	0,092	d	0,103	b

### 3.4. LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE FREKANSIN ETKİSİ

Frekansa göre dielektrik özelliklerin ortalamaları Çizelge 3.19’da verilmiştir. Dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin frekansa göre değişimi belirlemek için tutkal ve odun türü farkı gözetmeksizin bütün veriler birlikte ele alınmış ve yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 3.40 da verilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre dielektrik özellikler üzerine frekansın etkisinin önemli olduğu ve 2.45 GHz frekansındaki dielektri sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin 9.8 frekansındakinden yüksek olduğu (Çizelge 3.39) ve bu farkın istatistiksel olarak 0,05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.40).

Çizelge 3.39. Frekansa göre dielektrik özelliklerin ortalamalarının karşılaştırılması.

	Frekans	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Örnek Sayısı
Dielektrik Sabiti	2.45	1,99	0,21794	120
	9.8	1,90	0,15996	120
Kayıp Faktörü	2.45	0,194	0,05740	120
	9.80	0,155	0,03415	120
Kayıp Tanjantı	2.45	0,096	0,01790	120
	9.8	0,080	0,01288	120

Çizelge 3.40. Dielektrik özellikler üzerine frekansın etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynakları		Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	Dielektrik Sabiti	0,547 <sup>a</sup>	1	0,547	14,969	0,000
	Kayıp Faktörü	0,094 <sup>b</sup>	1	0,094	41,966	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,015 <sup>c</sup>	1	0,015	60,278	0,000
Sabit Terim	Dielektrik Sabiti	909,823	1	909,823	24897,508	0,000
	Kayıp Faktörü	7,317	1	7,317	3280,239	0,000
	Kayıp Tanjantı	1,865	1	1,865	7672,149	0,000
Frekans	Dielektrik Sabiti	0,547	1	0,547	14,969	0,000
	Kayıp Faktörü	0,094	1	0,094	41,966	0,000
	Kayıp Tanjantı	0,015	1	0,015	60,278	0,000
Hata	Dielektrik Sabiti	8,697	238	0,037		
	Kayıp Faktörü	0,531	238	0,002		
	Kayıp Tanjantı	0,058	238	0,000		
Toplam	Dielektrik Sabiti	919,067	240			
	Kayıp Faktörü	7,941	240			
	Kayıp Tanjantı	1,938	240			

a.R<sup>2</sup>=0,059, b.R<sup>2</sup>=150, c.R<sup>2</sup>=0,202



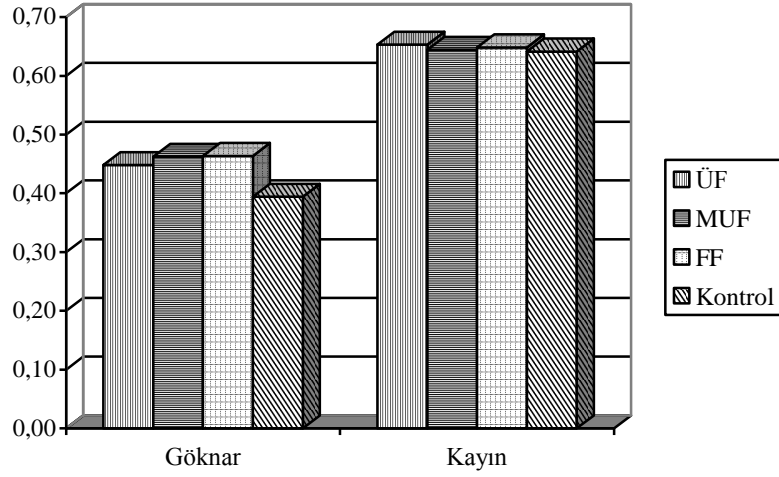
## BÖLÜM 4

### İRDELEME

#### 4.1. HAVA KURUSU YOĞUNLUK VE RUTUBET DEĞERLERİ

Gökmar ve Kayın odunundan ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin 20° C sıcaklık ve % 65 bağıl nemde bekletildikten sonra 2.45 GHz frekansında gerçekleştirilen deneyleri esnasındaki hava kurusu yoğunluk değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.

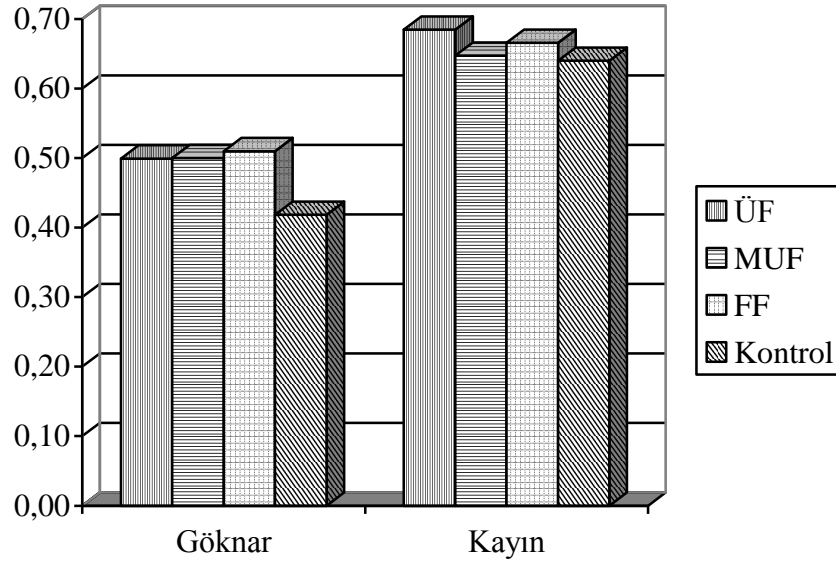
2.45 GHz frekansında kullanılan örneklerde, Gökmar odununun hava kurusu yoğunluk değerinin Kayın odunundan düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1). Tutkal türü bazında irdelendiğinde (Çizelge 3.3) ise her iki odun türünde de masif-kontrol örneklerinin en düşük hava kurusu yoğunluk değerine sahip olduğu, lamine ağaç malzemeler kendi içinde karşılaştırıldığında ise Kayın odununda hava kurusu yoğunluk üzerine tutkal türünün etkisinin önemsiz olduğu, Gökmar odununda hava kurusu yoğunluk üzerine tutkal türünün etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu ve en yüksek hava kurusu yoğunluk değerine FF (0,463 g/cm<sup>3</sup>) ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemelerin sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.1. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin hava kuru yoğunluk değerleri.

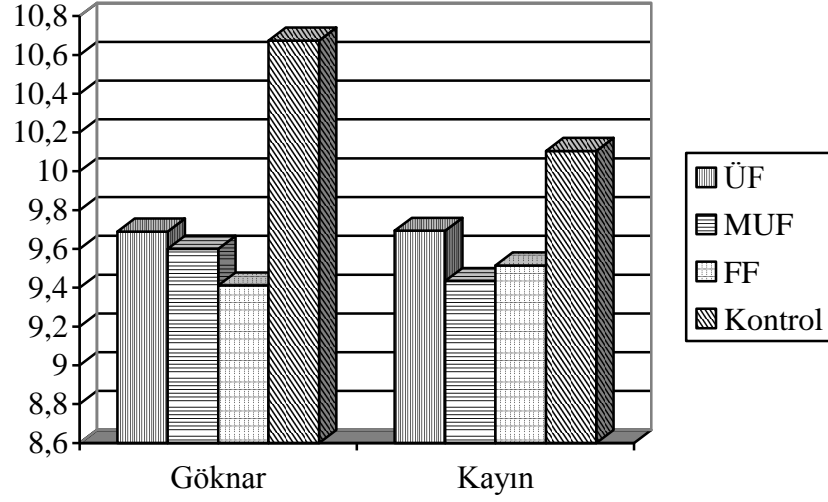
9.8 GHz frekansı ölçümlerinde kullanılan, Göknar ve Kayın odunundan ÜF, MUF ve FF tutkalları ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin 20° C sıcaklık ve % 65 bağıl nemde bekletildikten sonra ölçülen hava kuru yoğunluk değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir.

Göknar odunu kayın odunundan daha düşük hava kuru yoğunluk değerine sahiptir ve bu istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 4.2). Ayrıca, tutkal türünün etkisinin irdelendiği Duncan testi sonuçlarına göre (Çizelge 3.7) her iki odun türünde de masif-kontrol örneklerinin en düşük hava kuru yoğunluk değerine sahip olduğu ve lamine ağaç malzemeler kendi içinde karşılaştırıldığında ise Göknar odununda tutkal türü bakımından önemli bir fark olmamakla beraber, Kayın odununda en yüksek yoğunluk değeri ÜF ( $0,684 \text{ g/cm}^3$ ) ile yapılandırılmış lamine ağaç malzemelerde olduğu görülmüştür.



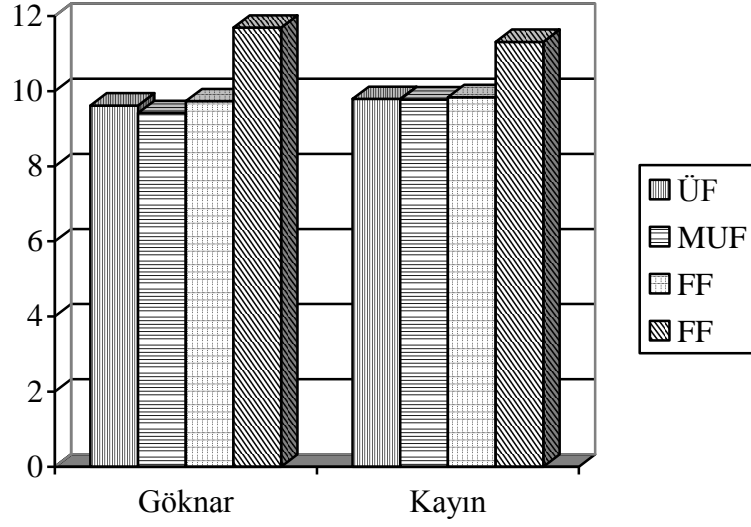
Şekil 4.2. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri.

Şekil 4.3'te lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin 2.45 GHz frekansında denge rutubet miktarları karşılaştırılmıştır. Örneklerin denge rutubet değerleri değerlendirildiğinde, tutkal türüne göre denge rutubet miktarının değiştiği ve bu değişimin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Her iki odun türünde de masif-kontrol örneklerinin denge rutubet değerlerinin lamine ağaç malzemelerden yüksek olduğu (Şekil 4.3) ve bunun istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.7). Göknar odunundan elde edilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarının küçükten büyüğe doğru FF (% 9,4), MUF (% 9,6), ÜF (% 9,7) şeklinde olduğu görülmüştür. Kayın odununda lamine ağaç malzemelerin denge rutubet değerinin küçükten büyüğe doğru sıralanışı MUF (% 9,4), FF (% 9,5), ÜF (% 9,7) şeklinde oluşmaktadır. Lamine ağaç malzemeler kendi aralarında değerlendirildiğinde ise tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarındaki değişimin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4.3. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin denge rutubet miktarı değerleri.

Şekil 4.4'te lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin 9.8 GHz frekansında denge rutubet miktarları karşılaştırılmıştır. Örneklerin denge rutubet değerleri değerlendirildiğinde, tutkal türüne göre denge rutubet miktarının değiştiği ve bu değişimin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.5). Duncan testi sonuçları irdelendiğinde (Çizelge 3.8), her iki odun türünde de masif-kontrol örneklerinin denge rutubet değerlerinin lamine ağaç malzemelerden yüksek olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler kendi aralarında değerlendirildiğinde ise Göknar odunundan elde edilen lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarının küçükten büyüğe doğru MUF (% 9,4), ÜF (% 9,6), FF (% 9,7) şeklinde olduğu, Kayın odununda da denge rutubet değerinin MUF (% 9,8), ÜF (% 9,8) ve FF (% 9,8) sıralaması şeklinde oluşmuştur. Her iki odun türünde de lamine ağaç malzemelerin denge rutubet değerinin tutkal türüne göre değişmediği belirlenmiştir (Çizelge 3.8).



Şekil 4.4. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerin denge rutubet miktarı değerleri.

Hem 2.45 GHz frekansında hem de 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin yoğunluklarının, masif ağaç malzemeye kıyasla yüksek olduğu ve Göknar odununda bu durumun daha da belirgin olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemelerin yoğunluklarının masiften yüksek olduğu literatürde de verilmektedir. Ayrıca düşük yoğunluğa sahip ağaç türlerinden elde edilen LVL'lerin yoğunluğundaki artışın daha fazla olacağı da belirtilmektedir (Bal ve Bektaş, 2012). Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatürle uyumludur. LVL'lerin yoğunluğunun daha yüksek olması presleme sırasında uygulanan basınca atfedilmektedir (Bal ve Bektaş, 2012).

Hem 2.45 GHz frekansında hemde 9.8 GHz frekansında, masif kontrol ve lamine ağaç malzemelerin denge rutubet değerlerine bakıldığında ise lamine ağaç malzemelerin rutubet değerlerinin masiften düşük olduğu ve bunun istatistiksel olarak önemli olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum literatürle uyum içindedir (Bal ve Bektaş, 2012; Bao et al 2001). Bu olayın, sıcak preste üretilen odun kökenli malzemelerin histerezinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Ayrıca bu olay tutkal hattının kaplamalardan rutubetin transferini azalttığından kaynaklanmaktadır (Bal ve Bektaş, 2012). Literatürde odun kökenli malzemelerde rutubet absorpsiyonunun daha düşük olduğu belirtilmekte ve bunun nedeninin ve derecesinin kullanılan tutkala bağlı olduğu belirtilmektedir.

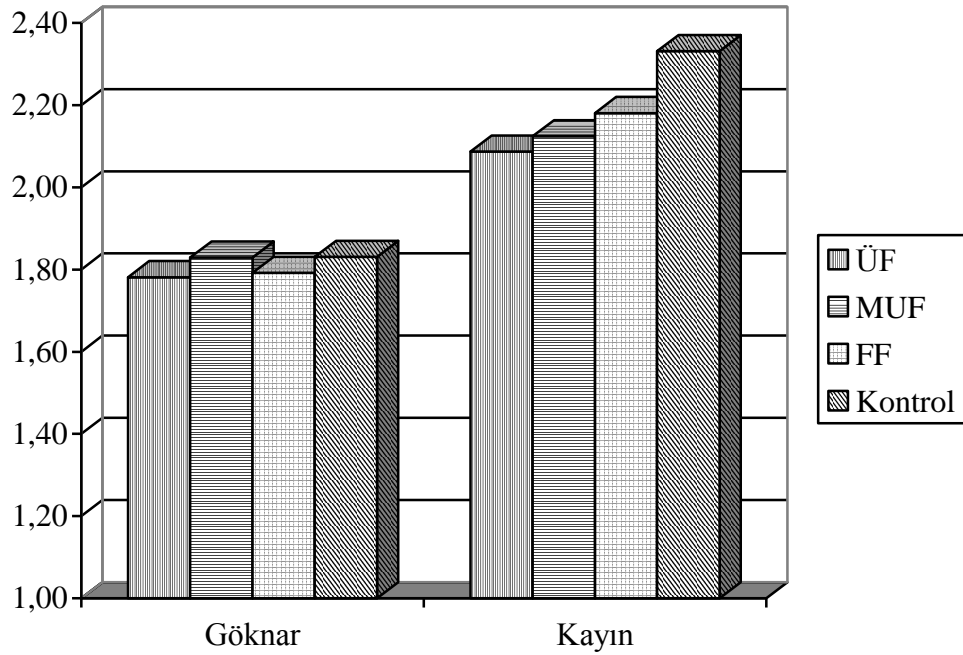
## 4.2. DİELEKTRİK ÖZELLİKLER

Bu çalışmada Uludağ Göknaı ve Doğu Kayınından elde edilen lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı, 2.45 ve 9.8 GHz frekanslarında, oda sıcaklığında (20-24° C) ve tutkal hattına dik ve hava kurusu halde incelenmiştir.

### 4.2.1. 2.45 GHz Frekansında Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Özelliklerinin İrdelenmesi

#### 4.2.1.1. Dielektrik Sabiti

2.45 GHz frekansında ÜF, MUF ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin dielektrik sabiti değerleri Şekil 4.5'te karşılaştırılmıştır. Göknaı odunu gerek masif halde, gerekse lamine ağaç malzeme olarak Kayından daha düşük dielektrik sabiti değerine sahiptir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.10), dielektrik sabiti üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu bulunmuştur.

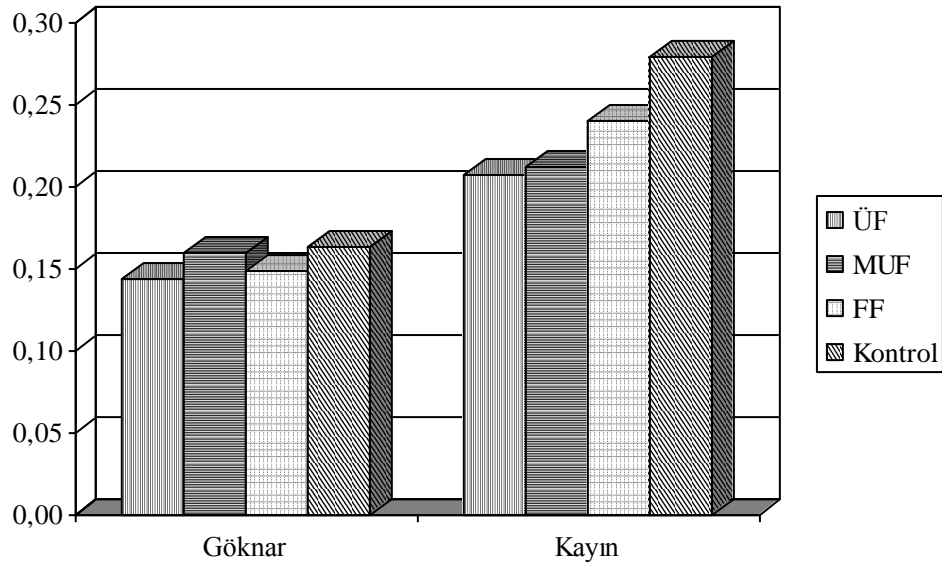


Şekil 4.5. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabitinin odun türü ve tutkal türüne göre değişimi.

Lamine ağaç malzemeler, masif kontrole karşılaştırıldığında, lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerinin masif-kontrolden düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.11). Gök nar odunda 2.45 GHz frekansındaki dielektrik sabitinin tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, FF, MUF ve masif-kontrol şeklinde sıralanmakta ancak istatiks el olarak hepsi aynı grupta değerlendirilmektedir. Kayın odununun 2.45 GHz frekansındaki dielektrik sabitinin tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde olmaktadır. Kontrol örnekleri istatiks el olarak LVL'lerden yüksek olup LVL'ler de en yüksek değeri FF, en düşük değeri ÜF tutkalı ile yapıştırılan lamine ağaç malzemelerde elde edilmiştir.

#### 4.2.1.2. Kayıp Faktörü

Şekil 4.6'da 2.45 GHz frekansında ÜF, MUF ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri karşılaştırılmıştır. Gök nar odunu gerek masif halde, gerekse lamine ağaç malzeme olarak Kayından daha düşük kayıp faktörü değerine sahiptir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.15), kayıp faktörü üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu bulunmuştur.



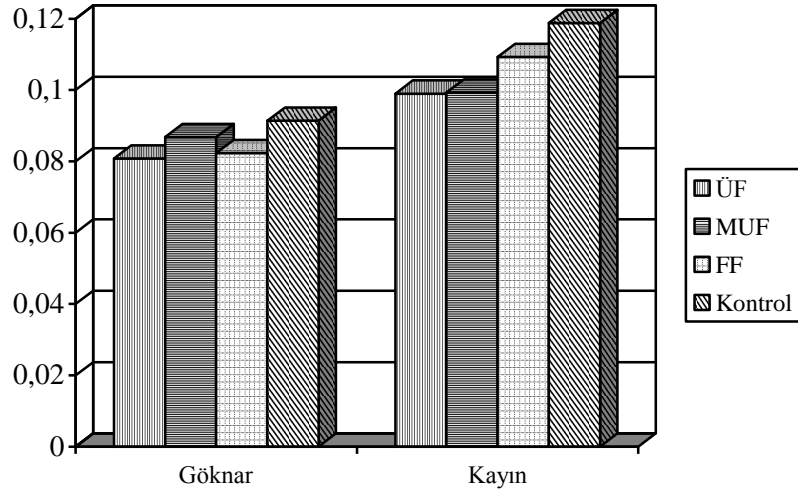
Şekil 4.6. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri.

Tutkal türü baz alındığında ise, lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerinin masif kontrolden düşük olduğu belirlenmiştir. Gökmar odununda 2.45 GHz frekansındaki kayıp faktörünün tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, FF, MUF ve Masif kontrol şeklinde sıralanmaktadır (Çizelge 3.18). Kayın odununun 2.45 GHz frekansındaki kayıp faktörünün tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde olmakta (Çizelge 3.18) ancak masif kontrol örnekleri istatistiksel olarak LVL'lerden yüksek olmakla birlikte LVL'ler arasında fark bulunmamaktadır. Buna göre, her iki ağaç türünde masif-kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemelerden daha yüksek kayıp faktörü değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında Gökmar odununda MUF, Kayın odununda ise FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek, ÜF tutkalı ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemeler en düşük kayıp faktörü değerine sahiptir.

#### **4.2.1.3. Kayıp Tanjantı**

Şekil 4.7'de 2.45 GHz frekansında ÜF, MUF ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri karşılaştırılmıştır. Gökmar odunu gerek masif halde, gerekse lamine ağaç malzeme olarak Kayından daha düşük kayıp tanjantı değerine sahiptir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.20), kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu bulunmuştur.





Şekil 4.7. 2.45 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri.

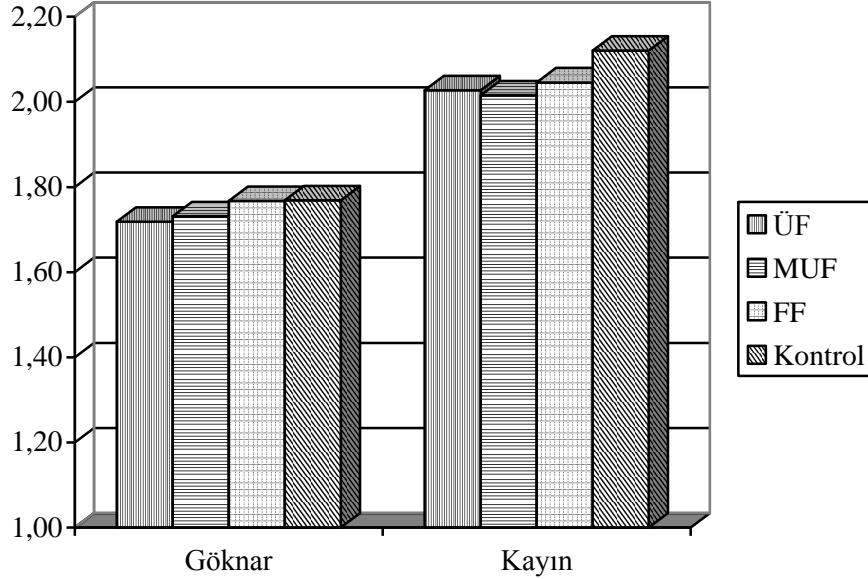
Tutkal türü baz alındığında ise, lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı değerinin masif kontrol örneklerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Gök nar odunda 2.45 GHz frekansındaki kayıp tanjantının tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, FF, MUF ve masif-kontrol şeklinde sıralanmaktadır. Kayın odununun 2.45 GHz frekansındaki kayıp tanjantı değerinin tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde olmaktadır. Buna göre, her iki ağaç türünde masif-kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemelerden daha yüksek kayıp tanjantı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında Gök nar odununda MUF, Kayın odununda ise FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek, her iki odun türündede ÜF ile yapılandırılmış lamine ağaç malzemeler en düşük kayıp tanjantı değerine sahiptir.

#### 4.2.2. 9.8 GHz Frekansında Lamine Ağaç Malzemelerin Dielektrik Özelliklerinin İrdelenmesi

##### 4.2.2.1. Dielektrik Sabiti

Şekil 4.8’de 9.8 GHz frekansında ÜF, MUF ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin dielektrik sabiti değerleri

karşılaştırılmıştır. Gök nar odunu gerek masif halde, gerekse lamine ağaç malzeme olarak Kayından daha düşük dielektrik sabiti değerine sahiptir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge.25), dielektrik sabiti üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu bulunmuştur.

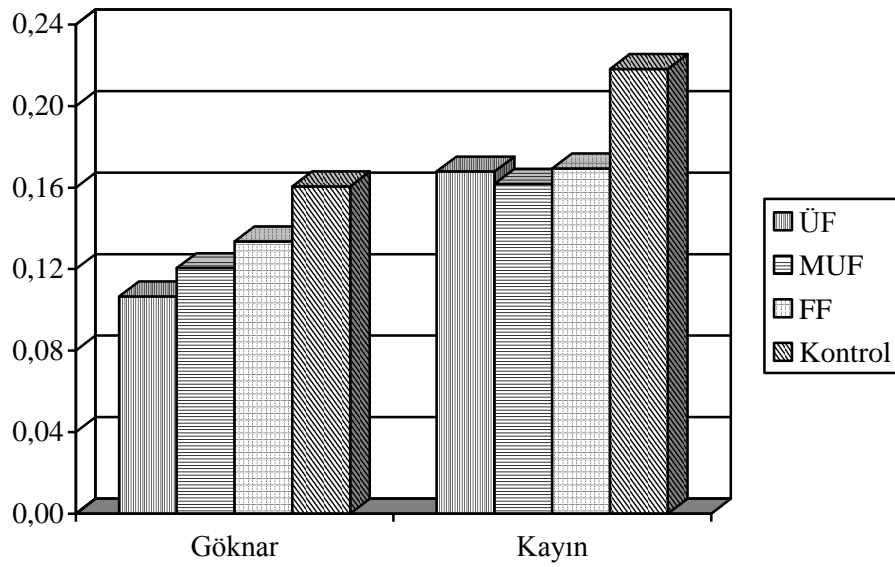


Şekil 4.8. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin dielektrik sabiti değerleri.

Tutkal türü baz alındığında ise, lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerinin masif kontrol örneklerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Gök nar odunda 9.8 GHz frekansındaki dielektrik sabitinin tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde sıralanmaktadır. Kayın odununun 9.8 GHz frekansındaki dielektrik sabitinin tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde olmaktadır. Buna göre, her iki ağaç türünde masif-kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemelerden daha yüksek dielektrik sabiti değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında her iki odun türünde de FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek ÜF ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemeler en düşük kayıp tanjantı değerine sahiptir

#### 4.2.2.2. Kayıp Faktörü

Şekil 4.9’da, 9.8 GHz frekansında ÜF, MUF ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri karşılaştırılmıştır. Gök nar odunu gerek masif halde, gerekse lamine ağaç malzeme olarak Kayı ndan daha düşük kayıp faktörü değerine sahiptir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.30), kayıp faktörü üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu bulunmuştur.



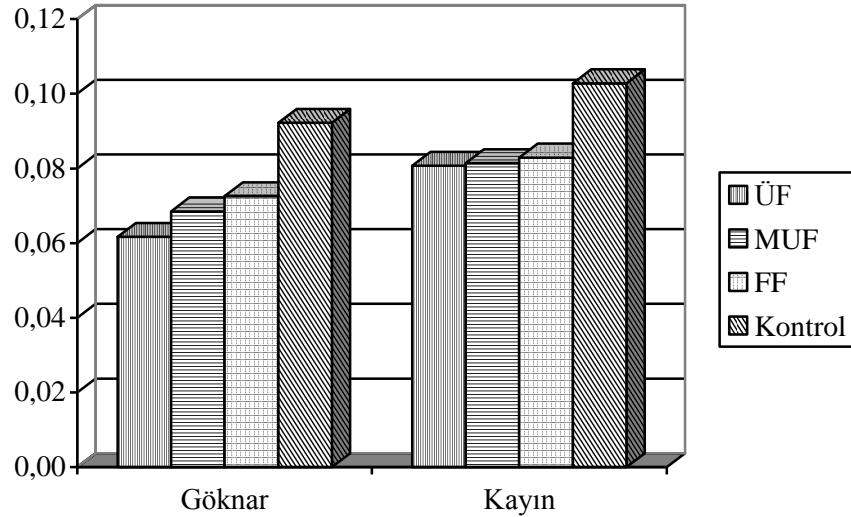
Şekil 4.9. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri.

Tutkal türü baz alındığında ise, lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü değerinin masif kontrol örneklerinden düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.31). Gök nar odunda 9.8 GHz frekansındaki kayıp faktörünün tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde sıralanmaktadır. Kayın odununun 9.8 GHz frekansındaki kayıp faktörünün tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru MUF, ÜF, FF ve masif-kontrol şeklinde olmaktadır. Buna göre, her iki ağaç türünde masif-kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemelerden daha yüksek kayıp faktörü değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında her iki odun türünde de FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek, Gök nar odununda ÜF, Kayın odununda ise MUF tutkalı ile yapıştırılmış lamine ağaç

malzemeler en düşük kayıp faktörü değerine sahiptir. Ancak Göknar odununda ÜF, MUF ve FF grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir.

#### 4.2.1.3. Kayıp Tanjantı

Şekil 4.10'da 9.8 GHz frekansında ÜF, MUF ve FF ile üretilen lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri karşılaştırılmıştır. Göknar odunu gerek masif halde, gerekse lamine ağaç malzeme olarak Kayıdan daha düşük kayıp tanjantı değerine sahiptir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 3.35), kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu bulunmuştur.



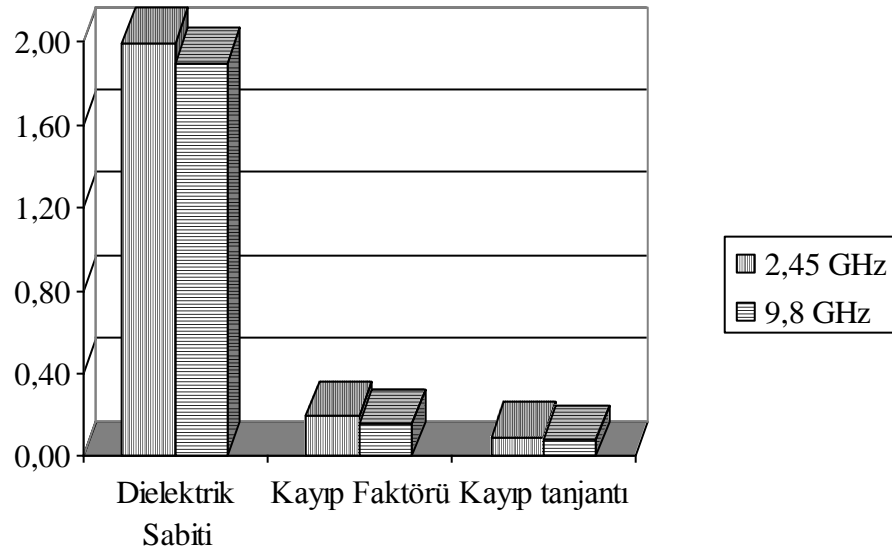
Şekil 4.10. 9.8 GHz frekansında lamine ağaç malzemelerin ve masif-kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri.

Tutkal türü baz alındığında ise, lamine ağaç malzemelerin kayıp tanjantı değerinin masif-kontrol örneklerinden düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca her tutkal türüne göre LVL'ler arasındaki farkta önemli çıkmıştır (Çizelge 3.36). Göknar odunda 9.8 GHz frekansındaki kayıp tanjantının tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde sıralanmaktadır. Kayın odununun 9.8 GHz frekansındaki kayıp tanjantı değerinin tutkal türüne göre en düşük değerden en yüksek değere doğru ÜF, MUF, FF ve masif-kontrol şeklinde olmaktadır. Buna göre, her iki ağaç türünde masif kontrol örneklerinin lamine ağaç malzemelerden daha yüksek kayıp tanjantı değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek, ÜF tutkalı ile yapılandırılmış lamine ağaç malzemeler en düşük kayıp tanjantı değerine sahiptir. Ancak bu durum Gökmar odununda gruplar arasında istatistiksel olarak önemli iken Kayıda önemsizdir.

### 4.3. LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE FREKANSIN ETKİSİ

2.45 GHz frekansındaki dielektrik parametreler gerek lamine ağaç malzemelerde gerekse masifte 9.8 GHz frekansındakilerde yüksek bulunmuştur (Şekil 4.11) ve bu durum dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı için de istatistiksel olarak önemlidir (Çizelge 3.40).



Çizelge 4.11. 2.45 ile 9.8 GHz frekanslarındaki dielektrik parametrelerin karşılaştırılması.

#### **4.4. MASİF VE LAMİNE LEVHALARIN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİNİN GENEL OLARAK ODUN TÜRÜ VE TUTKAL BAZINDA İRDELENMESİ**

Çalışmaya konu olan mikrodalga frekanslarda, 2.45 GHz frekansındaki gerek lamine ağaç malzemelerin gerekse masif kontrol örneklerinin dielektrik özellikleri 9.8 GHz frekansındakinden yüksek bulunmuştur. Ancak her iki frekansta da dielektrik özelliklerin tutkal türüne ve odun türüne göre değişiminin benzer karaktere sahip olması nedeniyle 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarındaki dielektrik özelliklerdeki değişim karakteri birlikte ele alınarak yorumlanmıştır.

Kayın odununun ve ondan üretilen lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantının, Göknar odunundan yüksek olması Kayın odununun daha yüksek yoğunluğa sahip olmasına atfedilebilir (Şekil 4.5). Yoğunlukla dielektrik özellikler arasında lineer pozitif bir ilişki olduğu bilinmektedir (Şahin, 2002; Torgovnikov, 1993; Jain and Dubey, 1988). Bu çalışmada bulunan sonuçlar, bu teoriyi destekler niteliktedir. Kayın odunu çok yüksek oranda trahe ve lif oranına sahiptir. Bu neticede traheleri ve lifleri oluşturan mikrofibrillerdeki polar gruplarının sayısının yüksek olması anlamına gelmektedir. Dielektrik davranışı yöneten polar gruplarının fazla olması dielektrik sabiti değerinin de yüksek olmasına neden olur (Şahin, 2002).

Genel bir değerlendirme yapıldığında çalışılan her iki frekansta da, lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin masif ağaç malzemedenden düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, dielektrik anlamda lamine ağaç malzemelerin, masiften farklı olarak odun, tutkal, su ve bunların kısmen kimyasal bağlanmalarıyla oluşan kompozit bir malzeme olarak kabul edilebileceğini ifade etmektedir.

Bir homopolimerin dielektrik özellikleri karışımı oluşturan bireysel bileşenlerin dielektrik özellikleri ve onların kompozitin birim hacmindeki nispi miktarı ve OH ve CH<sub>2</sub>OH ile etkileşimleri ile belirlenir (Torgovnikov, 1993). Prensip olarak, odun kökenli kompozitlerin dielektrik özelliklerinin birkaç faktöre bağlı olduğu

belirtilmektedir. Bunlar; orijinal odun türü, rutubet miktarı ve tutkalın mevcut durumunu kapsamaktadır (Svrzic and Todorovic, 2011).

Bu bağlamda, lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin masif ağaç malzemeye kıyasla daha düşük olmasının nedenleri irdelenirken öncelikli olarak yoğunluk ve rutubet değerleri dikkate alınmıştır.

Yoğunluk bazında değerlendirildiğinde, lamine ağaç malzemelerin yoğunluklarının masife kıyasla bir miktar yüksek olması nedeniyle lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin masif-kontrolle aynı veya yüksek olması beklenir. Ancak dielektrik özelliklere bakıldığında ters bir durumla karşı karşıya kalınmakta ve burada lamine levha ile masif kıyaslanırken yoğunluktan farklı faktörlerin de dikkate alınması gerektiği dikkati çekmektedir.

Bilindiği üzere rutubet dielektrik özellikleri etkileyen en önemli faktörlerden biridir, ve rutubetin düşüşüyle birlikte malzemenin dielektrik özelliklerinin önemli oranda düşeceği belirtilmektedir. Literatürde, dielektrik özelliklerle rutubet miktarı arasında lineer yada eğrisel bir ilişkinin olduğu belirtilmektedir (Şahin, 2002; James and Hamill, 1965; Jain and Dubey, 1988). Odunun dielektrik özellikleri üzerinde rutubet miktarının etkisi bütün frekans sınırlarında oldukça belirgindir. Farklı frekanslarda rutubet miktarına bağlı olarak dielektrik özellikler üzerine farklı tür kutuplaşmanın etkisi sözkonusudur. Mikrodalga frekanslarda dipol relaksasyon kutuplaşması hakimdir. Rutubet miktarının artışıyla dielektrik özelliklerdeki değişimi açıklığa kavuşturmak için olayın temelini oluşturan iki faktörün kombinasyonu birlikte ele alınabilir. Bunlardan biri, rutubet miktarının artışıyla odundaki suyun miktarı artar ki bu yüksek dielektrik değeri ile karakterize edilir. Diğer yandan, yüksek rutubet miktarlarında hücre çeperi ve selülozun polar bileşiklerinin hareket serbestliği artar ve bu şekilde dielektrik davranışa katkıda bulunulur (Kabir et al. 1997; James and Hamill, 1965). Başka bir deyişle, rutubet miktarının artışıyla birlikte odun makro moleküllerinin polar bileşenlerinin hem sayısı hem de hareket yeteneği artar (James and Hamill, 1965). Bunun sonucunda da elektrik alanının etkisi altında yönelmiş moleküller tarafında absorbe edilen enerji artar (Kabir et al. 1997, 1998).

Çalışmada bulunan sonuçlar bu açıdan değerlendirildiğinde lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin masiften düşük olmasının ana sebeplerinden birinin rutubetlerinin düşük olmasından kaynaklanabileceği söylenebilir. Çünkü lamine ağaç malzemelerin yoğunluğu masiften bir miktar yüksek çıkmasına rağmen, rutubet değerleri oldukça düşüktür. Bu durum, laminasyon işleminde tutkallama ile birim hacimde az veya çok kütle artışı meydana geldiği ancak rutubet miktarlarının düştüğü yani tam kuru ağırlığa oranla odun içindeki su miktarının azaldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durum dielektrik teori olarak ele alındığında malzemede suyun azaldığı bunun yanında malzemeye tutkalın penetre olduğu görülmektedir.

20° C sıcaklıkta ve mikrodalga frekanslarda tutkal, su ve ağaç malzemenin dielektrik özellikleri kıyaslandığında, tutkalların dielektrik özelliklerinin aynı frekanstaki ağaç malzemenin bir miktar yüksek oldukları ancak suyun dielektrik özelliklerinden oldukça düşük oldukları dikkati çekmektedir. Farklı tip reçinelerin farklı dielektrik özellikler gösterdikleri ve tutkal reçinelerinin dielektrik özelliklerinin frekansa bağlı olarak büyük oranda değişiklik gösterdiği belirtilmektedir. Suyun dielektrik sabiti, 10 GHz de 55, kayıp tanjantı 0, 54 tür. Örneğin FF reçinesinin dielektrik sabiti 10<sup>6</sup> Hz de 5,4 iken 10 GHz frekansında 3,52 dir ve frekansın artışıyla düşmektedir. Kayıp tanjantı da frekansla birlikte azalmakta ve 10 GHz frekansında 0,037 olmaktadır. Üre formaldehit tutkalının dielektrik özellikleri frekansla birlikte düşmekte ve dielektrik sabiti 10 GHz frekansında 4,5 değerine, kayıp tanjantı ise 0,057 değerine sahiptir (Şahin, 2002; Torgovnikov, 1993). Ayrıca, laminasyonda kullanılan formaldehit kökenli tutkalların polar olduğu, preste sıcaklık veya sıcaklık ve katalizör etkisiyle odun içinde sertleşerek kendi içinde çapraz bir bağlanma meydana geldiği ancak odunun hücre çeperiyle bağ yapmadıkları belirtilmektedir (Frihart, 2005; Wimmer et al. 2013). Bu olay dielektrik açıdan değerlendirildiğinde formaldehitli tutkalların polar gruplarla bağ yapmadıkları ancak onları bloke ederek hareket yeteneklerini kısıtladıkları söylenebilir. Bu durumda dielektrik özelliklerde düşüş olması muhtemeldir.

Bütün faktörler birlikte ele alınarak lamine ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri değerlendirildiğinde, kendini oluşturan orijinal masiften ve orijinal tutkallardan daha düşük dielektrik özellikleri sahip oldukları ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç, lamine



ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerini yöneten ve masife kıyasla daha düşük dielektrik özelliklere sahip olmasına neden olan ana mekanizmaların şunlar olabileceği sonucunu doğurmaktadır:

1. Muhtemel tutkal-odun adezyonu sonucu polar grupların bloke edilmesi veya
2. Tutkalın kendisinin daha az rutubet absorpsiyonu özelliklerinden dolayı lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarını düşürmesi.

Tutkal türünün lamine ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri üzerine etkisi değerlendirildiğinde ise, genel olarak en yüksek dielektrik özelliklere FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin, en düşük değerlere ise ÜF ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin sahip olduğu ancak aradaki farkların istatistiksel olarak dielektrik sabiti değerinde önemli, kayıp faktörü ve kayıp tanjantında ise önemsiz olduğu söylenebilir. Yani lamine levhaların dielektrik sabiti değerinin tutkal türüne göre değiştiği ve en düşük değerlerin ÜF ile üretilmişlerde ve yüksek değerlerin FF ile üretilmiş olanlarda görüldüğü söylenebilir. Ancak lamine levhaların kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin tutkal türüne göre değişiklik göstermediği belirlenmiştir. ÜF ve FF ile üretilen lamine levhaların yoğunluk ve rutubet değerleri bazında karşılaştırıldığında, genel olarak FF ile üretilen levhaların yoğunluklarının az oranda yüksek ancak ÜF ile aynı grupta olduğu göze çarpmaktadır. Tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin değişim mekanizmasını açıklayabilmek ve kesin yargılara varabilmek için ileri çalışmalara gerek vardır.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada Uludağ Göknarı ve Doğu Kayınından elde edilen lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı, 2.45 ve 9.8 GHz frekanslarında, oda sıcaklığında (20-24° C) ve hava kurusu halde incelenmiş ve masif kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Çalışılan her iki mikrodalga frekansta da, Göknar odunundan üretilen lamine ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluk değerleri, Kayın odunundan üretilenlerden daha düşüktür. Ayrıca, lamine ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluk değerlerinin masif-kontrolden yüksek olduğu belirlenmiştir.
2. Çalışılan her iki mikrodalga frekansında iki odun türünden elde edilen masif-kontrol örneklerinin denge rutubet miktarının, aynı odun türünden elde edilen lamine ağaç malzemelere göre daha yüksek değere sahip olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemeler, tutkal türüne göre karşılaştırıldığında ise tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin denge rutubet miktarında önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir.
3. 2.45 GHz frekansında, Kayından üretilen lamine ağaç malzemeler Göknardan üretilenlerden daha yüksek dielektrik sabiti değerine sahiptir. Masif-kontrol örneklerinin dielektrik sabiti aynı odun türünden elde edilen lamine ağaç malzemelere göre daha yüksektir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında ise Göknar odununda LVL'lerin dielektrik sabiti tutkal

türünden etkilenmemektedir. Ancak Kayın odununda ÜF ile üretilen LVL'ler en düşük, FF ile üretilenlerde en yüksek dielektrik sabitine sahiptir.

4. 2.45 GHz frekansında, Kayından üretilen lamine ağaç malzemeler Göknardan üretilenlerden daha yüksek kayıp faktörü değerine sahiptir. Masif-kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri aynı odun türünden elde edilen lamine ağaç malzemelere göre daha yüksektir. Lamine ağaç malzemelerin kayıp faktörü tutkal türüne göre kıyaslandığında ise her iki odun türünde kayıp faktörünün tutkal türünden etkilenmediği belirlenmiştir.
5. 2.45 GHz frekansında, Kayından üretilen lamine ağaç malzemeler Göknardan üretilenlerden daha yüksek kayıp tanjantı değerine sahiptir. Masif-kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri aynı odun türünden elde edilen lamine ağaç malzemelere göre daha yüksektir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında ise en düşük değer Göknar ve Kayında ÜF, en yüksek değeri ise Göknarda MUF, Kayında FF vermiştir.
6. 9.8 GHz frekansında, Kayından üretilen lamine ağaç malzemeler Göknardan üretilenlerden daha yüksek dielektrik sabiti değerine sahiptir. Masif-kontrol örneklerinin dielektrik sabiti aynı odun türünden elde edilen lamine ağaç malzemelere göre daha yüksektir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında ise her iki odun türünde de FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek, ÜF ile yapıştırılmış lamine ağaç malzemeler en düşük dielektrik sabiti değerine sahiptir.
7. 9.8 GHz frekansında, Kayından üretilen lamine ağaç malzemeler Göknardan üretilenlerden daha yüksek kayıp faktörü değerine sahiptir. Masif-kontrol örneklerinin kayıp faktörü değerleri aynı odun türünden elde edilen lamine ağaç malzemelere göre daha yüksektir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında ise her iki odun türünde de FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek ve ÜF ile üretilenler en düşük değere sahiptir.

8. 9.8 GHz frekansında, Kayımdan üretilen lamine ağaç malzemeler Göknardan üretilenlerden daha yüksek kayıp tanjantı değerine sahiptir. Masif-kontrol örneklerinin kayıp tanjantı değerleri aynı odun türünden elde edilen lamine ağaç malzemelere göre daha yüksektir. Lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında ise her iki odun türünde de FF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en yüksek ve her iki odun türünde de ÜF ile üretilmiş lamine ağaç malzemeler en düşük kayıp tanjantı değerlerine sahiptir.
9. Frekansa göre lamine levhaların dielektrik özelliklerdeki değişim karakterinin masife benzediği ve frekansın artışıyla birlikte dielektrik parametrelerin düştüğü belirlenmiştir. Ancak her iki frekansta da dielektrik özelliklerin tutkal türüne ve odun türüne göre değişiminin benzer karaktere sahip olduğu belirlenmiştir.
10. Genel olarak değerlendirildiğinde mikrodalga frekanslarda lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin masif malzemedeki düşük olduğu belirlenmiştir. Lamine ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri üzerine odun türünün etkisinin masife benzer olduğu ve yüksek yoğunluğa sahip odunlardan elde edilen lamine ağaç malzemelerinde dielektrik özelliklerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca lamine ağaç malzemeler tutkal türüne göre kıyaslandığında, lamine ağaç malzemelerin dielektrik sabiti değerinin tutkal türüne göre değiştiği ve en düşük değerlerin ÜF ile üretilmişlerde ve yüksek değerlerin FF ile üretilmiş olanlarda görüldüğü söylenebilir. Ancak genel olarak lamine levhaların kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin tutkal türüne göre değişiklik göstermediği söylenebilir.

## 5.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada masif ağaç malzeme ile endüstride yaygın olarak kullanılan tutkallar kullanılarak üretilmiş lamine ağaç malzemelerin dielektrik özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda lamine ağaç malzemelerin masif ağaç malzemedeki farklı dielektrik özelliklere sahip olduğu ve tutkal türüne göre de özellikle dielektrik sabiti değerinde değişim olduğu belirlenmiştir. Ancak tutkal türüne göre lamine ağaç malzemelerin dielektrik özelliklerinin değişim mekanizmasını açıklayabilmek ve kesin yargılara varabilmek için farklı ağaç türleri ve tutkalları baz alan ileri çalışmalara gerek vardır.

## KAYNAKLAR

- Bal, B. C. and Bektaş, İ., “The effects of some factors on the impact bending strength of laminated veneer lumber”, *BioResources*, 7 (4): 5855-5863 (2012).
- Baldwin, R. F., “Plywood and Veneer – Based Products: Manufacturing Practices”, *Miller Freeman Books*, San Francisco, California, USA, 1-388 (1995).
- 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 bükme tekniği ve kullanılış yerleri”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (1): 27-43 (1963).
- Berkel, A., “Ağaç Malzeme Teknolojisi, I. Cilt”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, Yayın No: 147, İstanbul, 174-190 (1970).
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y., “Yonga Levha Endustrisi”, *Dumlupınar Üniversitesi Orman Fakültesi*, Yayın No: 3311, Kütahya, 1-263 (1985).
- Bozkurt, Y. ve Göker Y., “Ağaç Malzemenin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını*, Yayın No :3445/388, İstanbul, 307-315 (1987).
- Bozkurt, Y. ve Erdin, N., “Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar”, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları*, Yayın No: 4, İstanbul, 153-155 (1989).
- Bozkurt, Y. A., “Odun Anatomisi”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, İstanbul, 207-210 (1992).
- Chatterjee, R., “Advanced Microwave Engineering Special Advanced Topics”, *Ellis Horwood Limited*, England, 493-495 (1988).
- Çolakoğlu, G., “Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları” *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi*, Trabzon, 176-186 (2001).
- Çolakoğlu, G., Aydın, İ., Nemli, G. ve Çolak, S., “Ahşap sanayinde melamin formaldehit (MF) ve melamin/üre formaldehit (MUF) yapıştırıcılarının kullanımı”, *Mobilya Dekorasyon*, 47: 130-138 (2002).
- Dunky, M., “Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18: 95-107 (1998).

Frihart, C. R., "Wood adhesion and adhesives", Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, *CRS Press LLC*, 215-278 (2005).

Hafizoğlu, H., "Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları, Cilt 1", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 52, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi*, Trabzon, 22-29 (1982).

İnternet: Lesliestructuralsales, "Wood I-Joist, LVL", [www.lesliestructuralsales.com](http://www.lesliestructuralsales.com) (2008)

Jain, V. K. and Dubey, Y. M., "Dielectric constant of some indian timbers in axial direction at microwave frequencies", *J.Ind. Acad. Wood Sci.*, 19 (2): 25-36 (1988).

James, W. L. and Hamill, D. W., "Dielectric properties of douglas-fir measured at microwave frequencies", *Forest Products Journal*, 15 (2): 51-56 (1965).

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).

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).

Kabir, M. F., Khalid, K. B., Daud, W. M. and Aziz, S. H. A., "Dielectric Properties of Rubber Wood at Microwave Frequencies Measured with an Open-Ended Coaxial Line", *Wood and Fiber Science*, 29 (4): 319-324 (1997).

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).

Keskin, H., "Lamine masif ağaç malzemelerin teknolojik özellikleri ve ağaç işleri endüstrisinde kullanım imkanları" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5 (2001).

Köse, L., "Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilen lamine ağaç malzemelerin yanma mukavemetinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 7-10 (2008)

Kurt. Ş., "Emprenye edilmiş lamine ağaç malzemelerin (lvl) deniz ortamında bazı teknolojik özelliklerinin değişimi", Doktora Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın, 1-10 (2006).

Kurtoğlu, A., “Yapıştırılmış tabakalı ağaç malzemede rutubet değişimi nedeniyle gerilmelerin oluşumu”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakóltesi Dergisi*, 29 (2): 72-88 (1979).

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

Merev, N., “Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı”, Lisans Ders Notları, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakóltesi*, Trabzon, 36-52 (1984).

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. and Yamada, T., “The dielectric properties of wood v<sub>1</sub>, on the dielectric properties of the chemical constituents of wood and the dielectric anisotropy of wood”, *Wood Research*, 52: 30-43 (1972).

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).

Okçu, O., “Emprenye edilmiş lamine ağaç malzemenin yapışma ve yanma özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-10 (2006).

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).

Örs, Y. ve Keskin, H., “Ağa Malzeme Bilgisi”, *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 87-102 (2001)

Peterson, J., Madson G. and Moody R. C., “Tensile strength of one, two, and three-ply gluelam members of 2 by 6 Douglas-fir”, *Forest Products Journal* 13 (1): 42-80 (1981).

Pizzi, A., “Advanced Wood Adhesives Technology”, *Marcel Dekker, Inc.*, New York, 67-87 (1994).

Schmidt, R. G., “Aspects of wood adhesion: applications of <sup>13</sup>C CP/MAS NMR and fracture testing”, Ph. D. Thesis, *Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University*, Blacksburg, Virginia, 3-10 (1998).



Scoville, C. R., “Characterizing the durability of pf and pMDI adhesive wood composites through fracture testing”, MSc. Thesis, *Department of Wood Science and Forest Products*, Blacksburg, Virginia, 40-45 (2001).

Sellers, T., McSween, J. R. and Nearn, W. T., “Gluing of eastern hardwoods: a review”, *USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station*, General Technical Report, SO-71, New Orleans, Louisiana, 3-5 (1988).

Stevens, W. C. and Turner, N., “Wood Bending Handbook”, *Fox Chapel Publishing*, Petersburg, 1-109 (2007).

Svrzic, S. and Todorovic, P., “The prolonged effect of plasma treatment upon dielectric properties of wood-based composites”, *Forest Products Journal*, 61 (8): 694-702, (2011).

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, H. and Ay. N., “Dielectric properties of hardwood species at microwave frequencies”, *J Wood Sci*, 50 : 375-380 (2004).

Şahin Kol, H. and Altun S., “Effect of some chemicals on thermal conductivity of impregnated laminated veneer lumbers bonded with poly(vinyl acetate) and melamine-formaldehyde adhesives”, *Drying Technology*, 27: 1010-1016 (2009).

Şenay, A., “Lamine edilmiş Doğu Kayınının (fagus orientalis lipsky.) teknolojik özellikleri”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-77 (1996)

Thostenson, E. T. and Chou, T. W., “Microwave processing: fundamantals 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).

Tinga, W. R, and Nelson, S. O., “Dielectric properties of materials for microwave processing-tabulated”, *Journal of Microwave Power*, 8 (1): 23-65 (1973).

Torgovnikov, G. I., “Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials”, *Springer-Verlag*, Berlin, 1-115 (1993).

TS EN 386, “Yapıştırılmış lamine kereste – performans özellikleri ve asgari imalat şartları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2006).

Ulupınar, M., Şenay, A., ve Güray, A., “Lamine edilmiş kavak (populus euramericana)’ın eğilme direnci ve elastikiyet modülü tayini”, *I. Uluslar Arası Mobilya Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, 511-524 (1999).

Ulupınar, M., “Lamine edilmiş melez kavak (*populus euramericana*)’ın teknolojik özelliklerinin tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13-87 (1998).

Vermaas, H. F., “The Dielectric Properties of Wood, Thesis Presented for the Degree of Doctor of Science in Wood 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).

Wimmer, R., Klausler, O. and Niemz, P., “Water sorption mechanisms of commercial wood adhesive films”, *Wood Science and Technology*, 47 (2): 1-13 (2013).

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

## **ÖZGEÇMİŞ**

Hasan GÖREN 1986'da Trabzon'un Tonya ilçesi Sayraç köyünde doğdu. İlköğretimini Turalı İlk Öğretim Okulunda tamamladıktan sonra orta öğretimini İskenderli İlk ve Orta Öğretim okulunda bitirdi. Lise öğretimini 1.sınıfını Beşikdüzü ATATÜRK Lisesi'nde, 2 ve 3'üncü sınıfını da Ballıca 60.yıl Çok Programlı Lisesinde bitirdi. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği bölümünü kazandı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans programına öğrenimini kazandı. Halen aynı programda eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Emek Mahallesi  
Muradiye Caddesi, No.7/1  
Safranbolu / KARABÜK

Tel: (506) 596 3829