

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MİKRODALGA FREKANSLARDA DOĞAL VE EMPRENYE EDİLMİŞ ODUN
TÜRLERİNİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

127545

Orm. End. Yük. Müh. Hamiyet ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Doktor "

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.05.2002

Tezin Savunma Tarihi : 19.06.2002

127545

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nurgül AY

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yener GÖKER

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ümit C. YILDIZ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

A. Karduyun

Trabzon 2002

ÖNSÖZ

" Mikrodalga Frekanslarda Doğal ve Emprenye Edilmiş Odun Türlerinin Dielektrik Özellikleri " adlı bu çalışma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmanın deneysel aşamaları K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın planlanması ve yürütülmesinde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım başta danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nurgül AY olmak üzere, Sayın Prof. Dr. Yalçın ÖRS, Sayın Prof. Dr. Yener GÖKER, Sayın Yrd. Doç. Dr. Haydar KAYA, Sayın Doç. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU ve Sayın Doç. Dr. Ümit C. YILDIZ hocalarıma teşekkür etmeyi bir görev bilirim. Ayrıca tezin istatistiksel analizlerinde önerilerinden yararlandığım Prof. Dr. Hakkı YAVUZ hocama teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bilimsel düşünceleri ile beni aydınlatan ve eserlerinden yararlanıp tavsiyelerini aldığım diğer tüm hocalarıma teşekkürler ederim. Ayrıca tez hazırlama süresi boyunca benden yardımını esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Deneylein gerçekleştirilmesi sırasında yardımlarını gördüğüm K.T.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü ve K.T.Ü. Elektrik-Elektronik Mühendisliği akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

Ayrıca tez süresi boyunca bana her zaman destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın araştırmacılara ve uygulayıcılara yararlı olmasını temenni ederim.

Trabzon, Mayıs 2002

Hamiyet ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XXII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Genel Kavramlar ve Tanımlar.....	3
1.2.1. Dielektrik Davranış Teorileri.....	3
1.2.2. Dielektriklerde Kutuplaşma.....	8
1.2.2.1. Elektron Kutuplaşması.....	9
1.2.2.2. İyon (Moleküler) Kutuplaşma.....	10
1.2.2.3. Dipol Releksasyon (Yöneysel) Kutuplaşma.....	10
1.2.2.4. İyon Relaksasyon (Arayüzey, Yapısal) Kutuplaşma.....	12
1.2.2.5. Kendiliğinden (Elektroliz) Kutuplaşma.....	13
1.3. Elektromanyetik Alan ve Odun Arasındaki Etkileşim.....	14
1.3.1. Odunun Kutuplaşması.....	14
1.4. Odunun Bileşimi ve Bu Bileşiklerin Dielektrik Özellikleri.....	17
1.4.1. Çok Bileşenli Bir Dielektrik Olarak Odunun Fiziksel Modeli.....	17
1.4.2. Hücre Çeperi Maddesi Bileşenlerinin Dielektrik Özellikleri.....	20
1.4.3. Hava, Serbest Su, Bağlı Su ve Buzun Dielektrik Özellikleri.....	24
1.5. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler.....	28
1.5.1. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi.....	28
1.5.2. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi.....	32
1.5.3. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerine Elektrik Alan Şiddetinin Etkisi.....	37
1.5.4. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi.....	37
1.5.5. Odunun Heterojen Yapısının Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi.....	44
1.6. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özellikleri.....	46

1.7. Mikrodalga Frekanslarda Odunun Dielektrik Özelliklerinin Pratik Uygulamaları...	53
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	59
2.1. Materyal.....	59
2.1.1. Odun Türü.....	59
2.1.1.1. Doğu Ladini [<i>Picea orientalis (L.) Link.</i>].....	59
2.1.1.2. Sarıçam [<i>Pinus sylvestris L.</i>].....	60
2.1.1.3. Melez Kavak [<i>Populus x. Euramericana I-214</i>].....	61
2.1.1.4. Sakallı Kızılağaç [<i>Alnus glutinosa subsp. Barbata (C.A.Mey.) Yalt</i>].....	62
2.1.1.5. Anadolu Kestanesi [<i>Castanea sativa Mill.</i>].....	63
2.1.1.6. Sapsız Meşe [<i>Quercus petraea (Mattuschka) Lieb. Subsp. iberica</i>].....	64
2.1.1.7. Doğu Kayını [<i>Fagus orientalis Lipsky.</i>].....	65
2.1.2. Emprenye İşleminde Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	66
2.1.2.1. Borik Asit.....	67
2.1.2.2. Boraks.....	67
2.1.2.3. Tanalith-C.....	68
2.1.2.4. Immersol-WR.....	68
2.1.2.5. Amonyum Sülfat.....	68
2.1.2.6. Fosforik Asit.....	69
2.1.2.7. Polietilen Glikol (PEG-1000).....	69
2.2. Yöntem.....	70
2.2.1. Örnek Ağaçların Alındığı Alanların Tanıtımı ve Örnek Ağaçların Seçimi.....	70
2.2.2. Doğal Haldeki Odun Türlerinin Dielektrik Özelliklerini Belirlemede Kullanılan Test Örneklerinin Hazırlanması.....	72
2.2.2.1. Rutubet Miktarı.....	73
2.2.2.2. Lif Yönü.....	75
2.2.2.3. Özgül Ağırlık.....	75
2.2.3. Emprenyeli Odunun Dielektrik Özelliklerini Belirlemede Kullanılan Test Örneklerin Hazırlanması.....	76
2.2.3.1. Emprenye İşlemine Tabi Tutulacak Örneklerin Hazırlanması.....	76
2.2.3.2. Emprenye Çözeltilerinin Hazırlanması.....	77
2.2.3.3. Emprenye Yöntemi.....	77
2.2.4. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi.....	80
2.2.4.1. Ölçüm Frekansları.....	80

2.2.4.2. Sıcaklık.....	80
2.2.4.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deneş Düzenegi.....	80
2.2.5. İstatistik Yöntemler.....	84
3. BULGULAR.....	86
3.1. Tam Kuru Özgöl Ağırlık Değerleri.....	86
3.2. Odun Türlerinin Dielektrik Özelliklerine Ait Bulgular.....	87
3.2.1. Dielektrik Sabiti.....	87
3.2.1.1. Dielektrik Sabiti Üzerine Odun Türünün Etkisi.....	92
3.2.1.2. Dielektrik Sabiti Üzerine Lif Yönünün Etkisi.....	93
3.2.1.3. Dielektrik Sabiti Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi.....	94
3.2.1.4. Dielektrik Sabiti Üzerine Özgöl Ağırlığın Etkisi.....	96
3.2.1.5. Dielektrik Sabiti Üzerine Frekansın Etkisi.....	98
3.2.2. Dielektrik Kayıp Faktörü.....	99
3.2.2.1. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Odun Türünün Etkisi.....	104
3.2.2.2. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Lif Yönünün Etkisi.....	105
3.2.2.3. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi.....	107
3.2.2.4. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Özgöl Ağırlığın Etkisi.....	109
3.2.2.5. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Frekansın Etkisi.....	110
3.2.3. Dielektrik Kayıp Tanjantı.....	111
3.2.3.1. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Odun Türünün Etkisi.....	116
3.2.3.2. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Lif Yönünün Etkisi.....	117
3.2.3.3. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi.....	119
3.2.3.4. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Özgöl Ağırlığın Etkisi.....	121
3.2.3.5. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Frekansın Etkisi.....	122
3.3. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özelliklerine Ait Bulgular.....	123
3.3.1. Emprenye Çözeltilerinin Özellikleri.....	123
3.3.2. Emprenye Sonrası Örneklerin Absorpladığı Emprenye Maddesi Miktarları (Retensiyon).....	124
3.3.2.1. Retensiyon Miktarları (kg/m ³).....	124
3.3.2.2. Tam Kuru Odun Ağırlığına Oranla Retensiyon Miktarları (%).....	126
3.3.2. Dielektrik Sabiti.....	128
3.3.3. Dielektrik Kayıp Faktörü.....	132

3.3.4. Dielektrik Kayıp Tanjantı.....	137
4. İRDELEME.....	142
4.1. Doğal Haldeki Odunun Dielektrik Özelliklerini Etkileyen Faktörler.....	142
4.1.1. Odun Türünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi.....	142
4.1.2. Odun Türü Bazında Dielektrik Özelliklerin Rutubet Miktarı ve Lif Yönüne Göre Değişimi.....	146
4.1.2.1. Doğu Ladini Odununun Dielektrik Özellikleri.....	146
4.1.2.2. Sarıçam Odununun Dielektrik Özellikleri.....	150
4.1.2.3. Melez Kavak Odununun Dielektrik Özellikleri.....	153
4.1.2.4. Sakallı Kızılağaç Odununun Dielektrik Özellikleri.....	156
4.1.2.5. Anadolu Kestanesi Odununun Dielektrik Özellikleri.....	158
4.1.2.6. Sapsız Meşe Odununun Dielektrik Özellikleri.....	161
4.1.2.7. Doğu Kayın Odununun Dielektrik Özellikleri.....	163
4.1.3. Rutubet Miktarının Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisinin Genel Olarak Değerlendirilmesi.....	166
4.1.4. Lif Yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisinin Genel Olarak Değerlendirilmesi.....	170
4.1.4.1. Liflere Paralel ve Liflere Dik Yöndeki Dielektrik Özelliklerin Karşılaştırılması.....	171
4.1.4.2. Teğet ve Radyal Yöndeki Dielektrik Özelliklerin Karşılaştırılması.....	172
4.1.4. Özgül Ağırlığın Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi.....	175
4.1.5. Dielektrik Özellikler Üzerine Frekansın Etkisi.....	181
4.2. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özellikleri.....	183
5. SONUÇLAR.....	192
5.1. Doğal Haldeki Odun Türlerinin Dielektrik Özellikleri.....	192
5.2. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özellikleri.....	196
6. ÖNERİLER.....	209
7. KAYNAKLAR.....	212
ÖZGEÇMİŞ.....	223

ÖZET

Bu çalışmada, doğal ve emprenye edilmiş odun türlerinin mikrodalga frekanslardaki dielektrik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, ülkemiz orman endüstri alanında önemli olan Doğu Ladini, Sarıçam, Melez Kavak, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını odun türlerinin doğal haldeki, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını odun türlerinin emprenyeli haldeki dielektrik özellikleri inceleme altına alınmıştır. Emprenye işleminde, ticari olarak yaygın kullanımı bulunan kimyasal maddeler (borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, immersol-WR, amonyum sülfat, polietilenglikol-1000) kullanılmıştır.

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. Doğal haldeki odun türlerinin, üç lif yönünde ve % 0-28 rutubet sınırları arasında olmak üzere 6 rutubet miktarındaki dielektrik özellikleri, emprenyeli odun türlerinin ise liflere paralel ve liflere dik yönde ve hava kurusu haldeki dielektrik özellikleri araştırılmıştır.

Çalışmada, odun türü, lif yönü, rutubet miktarı, özgül ağırlık, emprenye maddesi türü ve frekansın dielektrik özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, çalışılan tüm odun türlerinin dielektrik davranışı oldukça benzerdir. Rutubet miktarı ve özgül ağırlık arttıkça dielektrik özellikler artar; lif yönü dikkate alındığında ise genelde liflere dik yöndeki dielektrik özellikler liflere paralel yöndekinden küçük ve teğet yön ve radyal yön arasındaki fark ise önemsizdir. Ayrıca, frekansın artışıyla dielektrik sabiti ve kayıp faktörü azalırken kayıp tanjantı küçük bir artış gösterir. Emprenye edilmiş odun türlerinin dielektrik davranışları incelendiğinde ise emprenye maddesi türünün dielektrik özellikleri etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca, emprenyeli odunun, odun türü ve lif yönüne göre değişim karakteri doğal haldeki odunun dielektrik davranış değişim karakterine benzerdir.

Anahtar Kelimeler: Dielektrik sabiti, kayıp faktörü, kayıp tanjantı, doğal odun, emprenyeli odun, mikrodalga frekans.

SUMMARY

Dielectric Properties of Natural and Impregnated Wood Species at Microwave Frequencies

In this study, dielectric properties of natural and impregnated wood species at microwave frequencies were investigated. The wood species that were selected for dielectric measurements were Oriental spruce, Scotch pine, Euramerican hybrid poplar, Alder, Chestnut, Oak, Oriental beech, while in impregnation process, Scotch pine, Alder, and Oriental beech were used. Boric acid, borax, tanalith-C, phosphoric acid, ammonium sulphate, immersol-WR, PEG-1000 were used as the impregnation chemicals.

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 natural wood species were determined for the three principal structural directions at six different moisture conditions, covering the range of 0 % m.c. to 28 % m.c., while the dielectric properties of impregnated wood species were determined for two grain directions of wood at air-dry condition.

Results indicated that the behavior of all wood species studied is qualitatively similar. In general, the dielectric properties increase within the range studied with rising moisture content. Also the grain direction of the wood plays a significant role. The specific effect of the parameters of moisture content and grain direction on the dielectric properties also depends on the wood species. The dielectric properties increase linearly with increasing specific gravity. With respect to frequency, the dielectric constant and loss factor decrease as frequency increase except for loss tangent. Little increase in loss tangent is obtained as frequency increase. The influence of chemical impregnants on the dielectric properties of wood is significant. The dielectric behavior of impregnated wood according to grain direction and wood species is similar to that of natural wood.

Key Words: Dielectric constant, loss factor, loss tangent, natural wood, impregnated wood, microwave frequency.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

- Şekil 1. (a) Elektrik alanı yokken bir dielektrik kondansatörde rastgele dipol yönelişi.
(b) Sabit bir elektrik alanının, $E_{uygulanan}$ etkisi altında dipollerin yer değişimi [4]. 4
- Şekil 2. Tipik bir atom modeli [5] (a) Elektrik alanı yokken (b) Elektrik alanının etkisi altında (c) Eşit büyüklükte iki zıt yük Q arasında bir dipolün oluşumu... 5
- Şekil 3. Dielektriklerde elektrik kutuplaşmasını oluşturan mekanizmalar [5]..... 11
- Şekil 4. Odun hücre enine kesitinin gösterimi. 1. Hücre çeperi; 2. Mikrokapiler tüpler, 3. hücre lümeni (a) Elektrik alanı yokken (b) Elektrik alanının etkisi altında kutuplaşma [10]..... 12
- Şekil 5. (a) Su molekülünün elektronik şekli ve (b) Elektrik alanının etkisi altında dipol yönelişi..... 13
- Şekil 6. Elektrik alan şiddetindeki E artışa bağlı olarak odunun kutuplaşmasındaki P artış. P_m , P_r kutuplaşmanın anlık ve relaksasyon bileşenleri [10]..... 15
- Şekil 7. Farklı tür kutuplaşmaya sahip bir dielektrik olarak odunun eşdeğer devresi. C_e , C_a , C_d , C_v , C_z kondansatörün kapasite değerleri; R_d , R_v , R_z dipol, arayüzey ve elektroliz türü kutuplaşmalarda ortaya çıkan enerji kayıplarına ilişkin eşdeğer dirençlerdir; R_1 dielektriğin doğru akım direncidir [10]..... 16
- Şekil 8. Farklı tür kutuplaşmalarda odunun dielektrik sabiti ϵ' ve kayıp faktörünün ϵ'' frekans bağımlılığı [10]..... 16
- Şekil 9. Selülozun formülü: A β -D glukoz ünitesi; B sellobioz [10]..... 21
- Şekil 10. Bir glukoz biriminde metilol grubu için moleküler hareket modeli [23]..... 22
- Şekil 11. Hücre çeperi maddesi ve tam kuru odunun liflere dik yöndeki dielektrik sabitinin ϵ'_{\perp} frekansla değişimi ($t = 20^{\circ}C$) [10]..... 31
- Şekil 12. Hücre çeperi maddesi ve tam kuru odunun liflere dik yöndeki kayıp faktörünün ϵ''_{\perp} ve kayıp tanjantının $\tan \delta_{\perp}$ frekansla değişimi ($t = 20^{\circ}C$) [10]..... 31
- Şekil 13. Rutubetli odunun liflere dik yöndeki dielektrik sabitinin ϵ'_{\perp} frekansla değişimi ($t = 20^{\circ}C$); r = rutubet miktarı [10]..... 32
- Şekil 14. Rutubetli odunun liflere dik yöndeki dielektrik kayıp faktörünün ϵ''_{\perp} ve kayıp tanjantının $\tan \delta$ frekansla değişimi ($t = 20^{\circ}C$); r = rutubet miktarı [10]. 32

Şekil 15. Düşük frekanslarda liflere paralel yönde tam kuru odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi [35].....	33
Şekil 16. Mikrodalga frekanslarda liflere paralel yönde tam kuru odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi [35].....	34
Şekil 17. 2.45 GHz Frekansında liflere paralel yönde Douglas odununun dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün rutubet miktarının fonksiyonu olarak sıcaklıkla değişimi [36].....	35
Şekil 18. 2.45 GHz Frekansında liflere paralel yönde Douglas odununun kayıp tanjantının rutubet miktarının fonksiyonu olarak sıcaklıkla değişimi [36].....	35
Şekil 19. Selülozun moleküler bağları üzerine rutubet miktarının etkisi (a) İkincil kuvvetlerle bağlı selüloz makromolekülleri; (b) Su molekülleri tarafından zincirler arası bağların kırılması [10].....	39
Şekil 20. Odunun üç ana lif yönü. L, liflere paralel yön; R, radyal yön; T; teğet yön.....	44
Şekil 21. Örneklerin elde edildiği taslakların tomruktan alınış şekli.....	72
Şekil 22. Elektrik alan şiddeti yönüne göre örneklerin şekli.....	75
Şekil 23. Emprenye deneyi düzeneği.....	78
Şekil 24. Odunun dielektrik özelliklerini ölçmede kullanılan deney düzeneği.....	81
Şekil 25. Dalga kılavuzuna test örneğinin yerleşimi ve test örneklerinin elektrik alan şiddetine göre pozisyonları.....	82
Şekil 26. Dielektrik sabiti üzerine odun türünün etkisi.....	142
Şekil 27. Kayıp faktörü üzerine odun türünün etkisi.....	144
Şekil 28. Kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisi.....	144
Şekil 29. Doğu Ladini odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	147
Şekil 30. Doğu Ladini odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	148
Şekil 31. Doğu Ladini odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	149
Şekil 32. Sarıçam odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	150
Şekil 33. Sarıçam odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	151

Şekil 34. Sarıçam odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	152
Şekil 35. Melez Kavak odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	153
Şekil 36. Melez Kavak odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	154
Şekil 37. Melez Kavak odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	155
Şekil 38. Kızılağaç odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	156
Şekil 39. Kızılağaç odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	157
Şekil 40. Kızılağaç odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	158
Şekil 41. Kestane odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	159
Şekil 42. Kestane odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	160
Şekil 43. Kestane odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	160
Şekil 44. Meşe odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	161
Şekil 45. Meşe odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	162
Şekil 46. Meşe odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	163
Şekil 47. Doğu Kayını odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	164
Şekil 48. Doğu Kayını odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	164
Şekil 49. Doğu Kayını odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi.....	165

Şekil 50. (a) 2.45 GHz (b) 9.8 GHz frekanslarında teğet, radyal ve liflere paralel yönde rutubet miktarının fonksiyonu olarak dielektrik sabitinin özgül ağırlıkla değişimi.....	177
Şekil 51. (a) 2.45 (b) 9.8 GHz frekanslarında teğet, radyal ve liflere paralel yönde rutubet miktarının fonksiyonu olarak kayıp faktörünün özgül ağırlıkla değişimi	179
Şekil 52. (a) 2.45 (b) 9.8 GHz frekanslarında teğet, radyal ve liflere paralel yönde rutubet miktarının fonksiyonu olarak kayıp tanjantının özgül ağırlıkla değişimi	180
Şekil 53. Dielektrik özelliklerin frekansla değişimi.....	182
Şekil 54. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerin frekansa bağlı olarak odunun dielektrik sabiti üzerine etkisi.....	184
Şekil 55. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerin frekansa bağlı olarak odunun kayıp faktörü üzerine etkisi.....	185
Şekil 56. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerin frekansa bağlı olarak odunun kayıp tanjantı üzerine etkisi.....	186

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İletken, yarıiletken ve yalıtkanların bazı özellikleri [1].....	3
Tablo 2. Odunda serbest suyun nispi miktarı V_s ($t=20\text{ }^\circ\text{C}$) [10].....	19
Tablo 3. -40 ile $100\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık sınırlarında hücre çeperinin dielektrik özellikleri [10]...	20
Tablo 4. Odun selülozunun dielektrik özellikleri ($t=20\text{ }^\circ\text{C}$) [10].....	22
Tablo 5. Ligninin dielektrik özellikleri ($t=20\text{ }^\circ\text{C}$) [10, 19].....	23
Tablo 6. Suyun dielektrik özellikleri [10].....	26
Tablo 7. Buzun dielektrik özellikleri [10].....	27
Tablo 8. Tam kuru odunun frekansa göre dielektrik sabiti $k'_e \times 10^3\text{ K}^{-1}$ ve kayıp tanjantının $k''_{\tan} \times 10^3\text{ K}^{-1}$ sıcaklık katsayısı değerleri [10].....	36
Tablo 9. Rutubetli odunun dielektrik sabitinin sıcaklık katsayısı değerleri, $k'_e \times 10^3\text{ K}^{-1}$ [10].....	36
Tablo 10. % 5-100 Rutubet miktarına sahip odunun kayıp tanjantının sıcaklık katsayısı değerleri, $k''_{\tan} \times 10^3\text{ K}^{-1}$ [10].....	37
Tablo 11. Bazı kimyasal modifikasyon maddelerinin dielektrik özellikleri ($f=10^6\text{ Hz}$ ve $t=20\text{ }^\circ\text{C}$).....	48
Tablo 12. 0.86 gr/cm^3 özgül ağırlığa sahip düşük moleküler ağırlıklı polietilen ile muamele edilmiş huş odununun ($\delta_o : 0.605\text{ gr/cm}^3$) dielektrik özellikleri.....	49
Tablo 13. Reçine ile muamele edilmiş huş odununun dielektrik özellikleri ($t=20\text{ }^\circ\text{C}$, $r=\%5-6$, ($\delta_o : 1.1\text{ gr/cm}^3$)).....	50
Tablo 14. Fenol formaldehit reçinesi ile modifiye edilmiş odunun dielektrik parametreleri ($t=20\text{ }^\circ\text{C}$).....	51
Tablo 15. Amonyak ile plastikleştirilmiş ve basınçla muamele edilmiş huş odununun dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı ($f=50\text{ Hz}$ ve $t=20\text{ }^\circ\text{C}$).....	52
Tablo 16. Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri.....	71
Tablo 17. Deney örneklerinin bekletildiği bağıl nem ve sıcaklık şartları.....	74
Tablo 18. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerin çözelti konsantrasyonları.....	77
Tablo 19. Odun türlerinin tam kuru özgül ağırlık değerleri.....	86

Tablo 20. Tam kuru özgül ağırlığın odun türüne göre değişimine ait basit varyans analizi sonuçları.....	86
Tablo 21. Özgül ağırlık üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	87
Tablo 22. 2.45 GHz frekansında 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik sabiti değerleri.....	88
Tablo 23. 9.8 GHz frekansında 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik sabiti değerleri.....	89
Tablo 24. 2.45 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik sabiti üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları.....	90
Tablo 25. 9.8 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik sabiti üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları.....	90
Tablo 26. 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	91
Tablo 27. 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	92
Tablo 28. Odun türlerine göre lif yönünün dielektrik sabiti üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları.....	93
Tablo 29. Dielektrik sabiti üzerine lif yönünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	94
Tablo 30. 2.45 GHz frekansında ve 20 -24°C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre dielektrik sabiti (ϵ') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$].....	95
Tablo 31. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre dielektrik sabiti (ϵ') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$].....	96
Tablo 32. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik sabiti (ϵ') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 \delta_0$].....	97

Tablo 33. 9.8 GHz frekansında ve 20–24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik sabiti (ϵ') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 \delta_0$].....	98
Tablo 34. Dielektrik sabiti üzerine frekansın etkisine ait basit varyans analizi sonuçları.	99
Tablo 35. Dielektrik sabiti üzerine frekansın etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*.....	99
Tablo 36. 2.45 GHz frekansında 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp faktörü değerleri.....	100
Tablo 37. 9.8 GHz frekansında 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp faktörü değerleri.....	101
Tablo 38. 2.45 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları.....	102
Tablo 39. 9.8 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları.....	102
Tablo 40. 2.45 GHz frekansında dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*.....	103
Tablo 41. 9.8 GHz frekansında dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*.....	104
Tablo 42. Odun türlerine göre lif yönünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları.....	105
Tablo 43. Dielektrik kayıp faktörü üzerine lif yönünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*.....	106
Tablo 44. 2.45 GHz frekansında ve 20 -24°C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp faktörü (ϵ'') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon'' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$].....	107
Tablo 45. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp faktörü (ϵ'') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon'' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$].....	108

Tablo 46. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_o) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon'' = b_0 + b_1 \delta_o$].....	109
Tablo 47. 9.8 GHz frekansında ve 20–24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_o) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon'' = b_0 + b_1 \delta_o$].....	110
Tablo 48. Dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisine ait basit varyans analizi sonuçları.....	111
Tablo 49. Dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	111
Tablo 50. 2.45 GHz frekansında 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri.....	112
Tablo 51. 9.8 GHz frekansında 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri.....	113
Tablo 52. 2.45 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları.....	114
Tablo 53. 9.8 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları.....	114
Tablo 54. 2.45 GHz frekansında dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	115
Tablo 55. 9.8 GHz frekansında dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	116
Tablo 56. Odun türlerine göre lif yönünün dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları.....	117
Tablo 57. Dielektrik kayıp tanjantı üzerine lif yönünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	118

Tablo 58. 2.45 GHz frekansında ve 20 -24°C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp tanjantı ($\tan \delta$) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]..	119
Tablo 59. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp tanjantı ($\tan \delta$) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]..	120
Tablo 60. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp tanjantı ($\tan \delta$) ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = b_0 + b_1 \delta_0$].....	121
Tablo 61. 9.8 GHz frekansında ve 20–24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp tanjantı ($\tan \delta$) ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan \delta = b_0 + b_1 \delta_0$].....	122
Tablo 62. Dielektrik kayıp tanjantı üzerine frekansın etkisine ait basit varyans analizi sonuçları.....	123
Tablo 63. Dielektrik kayıp tanjantı üzerine frekansın etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*.....	123
Tablo 64. Emprenye çözeltilerinin özellikleri.....	124
Tablo 65. 2.45 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin retensiyon miktarları (kg/m^3).....	125
Tablo 66. 9.8 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin retensiyon miktarları (kg/m^3).....	126
Tablo 67. 2.45 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin tam kuru odun ağırlığına oranla retensiyon miktarları (%).....	127
Tablo 68. 9.8 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin tam kuru odun ağırlığına oranla retensiyon miktarları (%).....	128
Tablo 69. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik sabiti değerleri.	129
Tablo 70. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik sabiti değerleri.	129

Tablo 71. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	130
Tablo 72. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	130
Tablo 73. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*.....	131
Tablo 74. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*.....	132
Tablo 75. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp faktörü değerleri.....	133
Tablo 76. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp faktörü değerleri.....	133
Tablo 77. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	134
Tablo 78. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	135
Tablo 79. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*.....	135
Tablo 80. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*.....	136

Tablo 81. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri.....	137
Tablo 82. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri.....	138
Tablo 83. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	139
Tablo 84. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları.....	139
Tablo 85. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	140
Tablo 86. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P<0.05)*	140
Tablo 87. Odun türlerinin 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında özışını oranına bağlı olarak $k_1 = \epsilon'_{//} / \epsilon'_{\perp}$, $k_2 = \tan\delta_{//} / \tan\delta_{\perp}$, $k_3 = \epsilon''_{//} / \epsilon''_{\perp}$ ve $k_{1(R/T)} = \epsilon'_{R} / \epsilon'_{T}$, $k_{2(R/T)} = \tan\delta_{R} / \tan\delta_{T}$ ve $k_{3(R/T)} = \epsilon''_{R} / \epsilon''_{T}$	174
Tablo 88. Doğu Ladini [<i>Picea orientalis</i> (L.) Link.] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	198
Tablo 89. Sarıçam [<i>Pinus sylvestris</i> L.] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	199

Tablo 90. Melez Kavak [<i>Populus x. Euramericana cv. I-214</i>] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	200
Tablo 91. Sakallı Kızılağaç [<i>Alnus glutinosa subsp. Barbata (C.A.Mey) Yalf</i>] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	201
Tablo 92. Anadolu Kestanesi [<i>Castanea sativa Mill.</i>] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	202
Tablo 93. Sapsız Meşe [<i>Quercus petraea ssp. iberica</i>] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	203
Tablo 94. Doğu Kayını [<i>Fagus orientalis Lipsky.</i>] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	204
Tablo 95. Tam kuru özgül ağırlığın fonksiyonu olarak 2.45 GHz frekansında rutubet gruplarına göre liflere dik ve liflere paralel yönde odunun dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	205
Tablo 96. Tam kuru özgül ağırlığın fonksiyonu olarak 9.8 GHz frekansında rutubet gruplarına göre liflere dik ve liflere paralel yönde odunun dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	206
Tablo 97. Çeşitli kimyasal maddelerle empenye edilmiş odunun retensiyon oranları ve buna bağlı olarak 2.45 GHz frekansında ve % 12 rutubet miktarında liflere dik (\perp) ve liflere paralel ($//$) yönde dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....	207

Tablo 98 . Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun retensiyon oranları ve buna bağlı olarak 2.45 GHz frekansında ve % 12 rutubet miktarında liflere dik (\perp) ve liflere paralel (\parallel) yönde dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C).....208



SEMBOLLER DİZİNİ

c	: Işık hızı
d_p	: Penetrasyon derinliği
E	: Elektrik alan şiddeti
f	: Frekans
ISM	: Industrial Scientific Medical
k_1, k_2, k_3	: Liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti, kayıp tanjantı ve kayıp faktörünün liflere dik yöndeki dielektrik sabiti, kayıp tanjantı ve kayıp faktörüne oranını karakterize eden katsayılar
$k_{1(R/T)}, k_{2(R/T)}$: Radyal yöndeki dielektrik sabiti, kayıp tanjantı ve kayıp faktörünün
$k_{3(R/T)}$	liflere dik yöndeki dielektrik sabiti, kayıp tanjantı ve kayıp faktörüne oranını karakterize eden katsayılar
$k_{\epsilon}^t, k_{\tan \delta}^t$: Dielektrik sabiti ve kayıp tanjantının sıcaklık katsayısı değerleri
K	: Kelvin
L	: Liflere paralel yön
LDN	: Lif doygunluk noktası
P	: Kutuplanma (polarizasyon)
r	: Rutubet miktarı
R	: Radyal yön
t	: Sıcaklık
$\tan \delta$: Kayıp tanjantı
$\tan \delta_{//}, \tan \delta_{\perp}$: Liflere paralel ve liflere dik yönde kayıp tanjantı
$\tan \delta_T, \tan \delta_R$: Teğet, radyal ve liflere paralel yönde kayıp tanjantı
$\tan \delta_L$	
T	: Teğet yön
V	: Hacim
δ_o	: Odunun tam kuru özgül ağırlığı
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti (8.854×10^{-12} F/m)
ϵ'	: Dielektrik sabiti
$\epsilon'_{//}, \epsilon'_{\perp}$: Liflere paralel ve liflere dik yönde dielektrik sabiti

- $\epsilon'_{T, \epsilon'_{R, \epsilon'_{L}}$: Teğet, radyal ve liflere paralel yönde dielektrik sabiti
 ϵ'' : Kayıp faktörü
 $\epsilon''_{//, \epsilon''_{\perp}}$: Liflere paralel ve liflere dik yönde kayıp faktörü
 $\epsilon''_{T, \epsilon''_{R, \epsilon''_{L}}$: Teğet, radyal ve liflere paralel yönde kayıp faktörü
 λ : Dalga boyu
 λ_0 : Boşlukta ilerleyen dalganın boyu
 λ_b : Boru içinde ilerleyen dalganın boyu
 τ_0 : Relaksasyon süresi



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Mikrodalgalar özel yapılarından dolayı çeşitli endüstri kollarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Odun farklı moleküllerden oluşmuş karmaşık bir yapıya sahip bir yalıtkandır. Bu özelliği onu mikrodalgalarla kullanım için cazip hale getirmektedir. Son 50 yıldır, odun ve odun kökenli malzemelerde mikrodalga enerjisinin kullanımı gerek materyallerin tanımı gerekse muamele edilmesi açısından gelişme göstermektedir. Bu nedenle, odun ve odun kökenli malzemelerin ısıtılması, kurutulması, tutkalanması ve ürün kalitesinin geliştirilmesi işlemlerinde yüksek frekans ve mikrodalga teknolojisinin gittikçe yaygınlaşmasının bir sonucu olarak odunun dielektrik özelliklerinin araştırılması artan bir ilgiye sahiptir. Ayrıca odun ve odun kökenli malzemelerin ve son ürünlerin nitel ve nicel karakteristiklerinin belirlenebilmesi için modern cihazların tasarımına gerek vardır. Bu nedenle elektrik alanını kullanan teknolojilerin gelişimi için odunun dielektrik özelliklerinin bilinmesi zorunlu bir hale gelmiştir. Bunlardan yola çıkarak odunun dielektrik özelliklerinin önemi teorik ve pratik olmak üzere iki bakımdan ele alınabilir.

Teorik olarak, dielektrik özellikler odunun moleküler yapısını ve odun-su ilişkilerinin daha iyi bir şekilde anlaşılması için bir yaklaşım oluşturur. Çünkü odunun dielektrik özelliklerinin hücre çeperini oluşturan kimyasal maddelerin moleküler yapısı, hücre çeperinin mikro yapısı ve yaz odunu yüzdesi gibi faktörlerle etkilendiği bilinmektedir.

Dielektrik özelliklerin pratik uygulamalar açısından yararları arasında ise odunun özgül ağırlığı, rutubet miktarı gibi fiziksel özellikleri ve ayrıca budaklar, çatlaklar, lif sapması, çürüklük vb. odun kusurlarının odun yapısına zarar vermeden belirlenebilmesi amacıyla geliştirilecek cihazların tasarımında anahtar görevi görmesi sayılabilir. Ayrıca dielektrik özellikler, odunun mikrodalgalarla ısıtılması, kurutulması, tutkalanması işlemlerinde önemli bir yere sahiptir. Mikrodalgalarla kurutma eğer uygun bir teori çerçevesinde yürütülürse hızlı ve üniform, sonuçta da kaliteli bir ürün elde edilebilir. Ancak bu uygulamaların hepsi ilgilenilen odun türlerinin dielektrik özelliklerinin güvenilir

verilerine ihtiyaç duyarlar. Bu özelliklerin bilinmesi mikrodalga ile kurutmanın seçimi veya bir odunun diğerine göre daha hızlı ısıtılması gibi bir seri olayın anlaşılması bakımından yararlıdır. Diğer taraftan, dielektrik verilerin mikrodalgalarla kurutma esnasında kurutma cetvellerinin hazırlanmasında kullanılabilmesi belirtilmektedir. Böylece, kurutma işlemi esnasında kuruma hızı ve böylece işlem kontrolü sağlanabilir. Ayrıca kurutma sırasında aynı anda odunun dielektrik özellikleri aracılığıyla hem rutubet miktarı belirlenebilir hem de odunun özgül ağırlığı hakkında bilgi edinilebilir.

Mikrodalga teknolojisi, ülkemiz odun endüstrisinde bugün henüz çok sınırlı bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte gelecekte büyük bir artışa sahne olacaktır. Çünkü bugünün rekabet ortamında istenen kalitedeki ürünü en hızlı şekilde sunan başarılı olacaktır. Bu bağlamda, diğer ülkeler tarafından benimsenen mikrodalga teknolojisinin hızlı bir şekilde ülkemiz odun endüstrisine transfer edilmesi düşünüldüğünde, bu materyal ile elektromanyetik alan arasındaki etkileşim hakkındaki bilgi yetersizliği bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bundan yola çıkarak, ülkemizde yaygın olarak kullanılan odun türlerinin mikrodalga frekanslarda dielektrik özelliklerinin araştırılmasının hem teorik hem de pratik açıdan yararlı olacağı düşünülmüştür.

Bu çalışmada öncelikle teorik olarak odunun fiziksel modeli ve odunu oluşturan maddelerin dielektrik özellikleri ve ayrıca emprenyeli odunun dielektrik özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra odun ile mikrodalgaların karşı karşıya kalabileceği mühendislik uygulamalarında kullanılacak formüller tanımlanmıştır.

Deneysel olarak ise birinci aşamada Melez Kavak, Sarıçam, Doğu Ladini, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını odun türlerinin dielektrik özelliklerinin rutubet miktarı, lif yönü ve özgül ağırlığa göre değişimi incelenmiştir. İkinci aşamada, emprenye işleminde yaygın olarak kullanılan çeşitli kimyasal maddelerle muamele edilmiş odunun dielektrik özellikleri incelenmiştir. Bütün ölçümler 2.45 GHz ve 9.8 GHz ISM (Industrial Scientific Medical) frekanslarında gerçekleştirilmiştir. Bu frekansların seçilmesinin nedeni odunun ısıtılması ve kurutulması ve ayrıca cihazların tasarımında kullanılmasına izin verilen ve en yaygın olarak kullanılan frekanslar olmasıdır.

1.2. Genel Kavramlar ve Tanımlar

Elektromanyetik teori açısından malzemelerin davranışlarını değerlendirebilmek için bazı kavramları vermek gerekir. Bu nedenle bu bölümde dielektrikler ve elektromanyetik alanda dielektriklerin davranışları hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmada odun dielektrik bir malzeme olarak ele alınmış ve bu teorilerin aynı şekilde oduna uygulanabileceği kabul edilmiştir.

1.2.1. Dielektrik Davranış Teorileri

Elektromanyetik teori yönünde, bütün maddeler iletkenler, yarı iletkenler ve dielektrikler (yalıtkanlar) olmak üzere üç sınıfta toplanırlar. Elektriksel malzemelerin, iletken, yarıiletken ve yalıtkan olmaları özdirencinin değerine, özdirencinin ısıl katsayısının değerine ve elektriksel iletkenliğinin türüne bağlıdır (Tablo 1) [1].

Tablo 1. İletken, yarıiletken ve yalıtkanların bazı özellikleri [1].

Madde	Özdirenç ($\Omega.m$)	Özdirencinin ısıl katsayısının (α,ρ) işareti	Elektrik iletkenliği
İletkenler	$10^{-8}-10^{-5}$	artı	elektron
Yarıiletkenler	$10^{-6}-10^{+8}$	eksi	elektron
Yalıtkanlar (Dielektrikler)	$\geq 10^{+7}$	eksi	iyon ve elektron

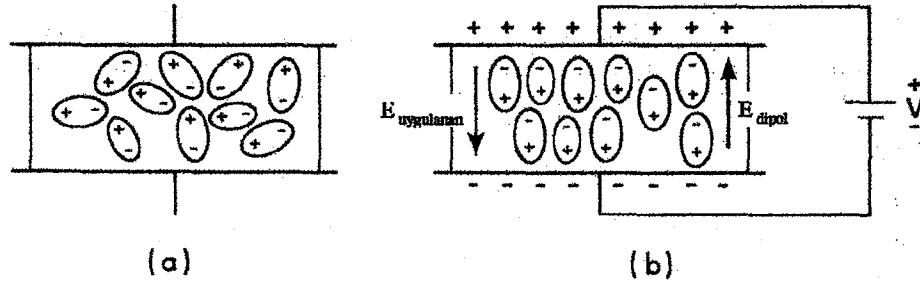
Bütün maddeler kendilerine özgü birer atomik yapıya sahiptirler ve bir elektromanyetik alanın etkisi altında atomik yapılarındaki yüklü parçacıkların hareketleri değişikliğe uğrar.

İletkenlerin atomik yapısında çok sayıda serbest elektron vardır. Bu nedenle elektriği çok iyi iletirler. İletkenler elektrik alanı içine sokulunca içinde serbest bir yük hareketi meydana gelmekte ve bu nedenle iletkenin bir tarafında pozitif diğer tarafında negatif yükler belirmektedir. Böylece bir iletken, yüksek frekanslı elektromanyetik alan

içine sokulduğu zaman, yüzeyinde bir akım (yüzey akımı) oluşur ve elektromanyetik dalga, pratik olarak iletkenin içine nüfuz edemez [1, 2].

Katı yalıtkanlar ise genellikle çok sayıda ve karmaşık moleküllerden oluşmuştur. Elektriksel anlamda böyle moleküller artı ve eksi yüklerin toplamı olarak düşünülebilir. Dielektrik bir malzeme elektrik alanına yerleştirildiğinde eksi ve artı yüklerin kısmi bir ayrımı görülür ve bu dielektrik kutuplaşma (polarizasyon) olarak adlandırılır. Bu olay 2 şekilde gerçekleşir [3].

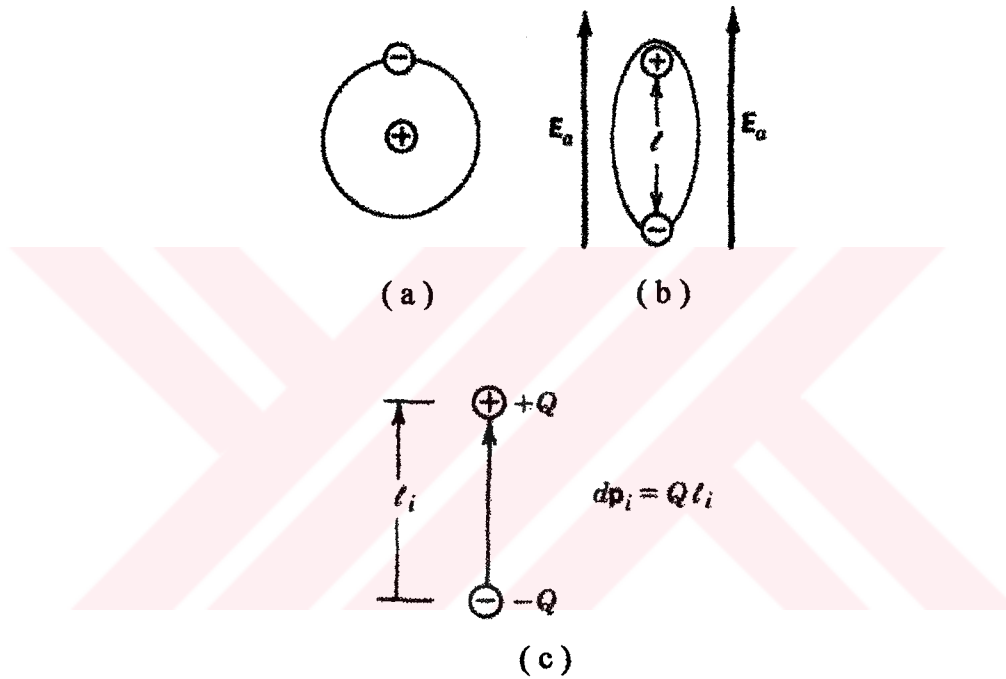
1. Malzeme eğer polar moleküllerden oluşuyorsa, yani molekülde artı ve eksi yükler farklı pozisyonlarda bulunuyorsa, molekül sabit dipol momentine sahiptir. Dipol karakterinde olan polar moleküller elektrik alanının bulunmaması durumunda ısı hareketlerinden dolayı dielektrik içinde birbirini kompanse edecek (dengeleyecek) şekilde düzensiz rastgele bir dağılım halindedirler ve toplam dipol moment sıfırdır. Elektrik alanının etkisi altında, uygulanan elektrik alan şiddeti her bir dipol üzerinde bir dönme momenti oluşturur ve dielektrik içindeki bütün dipoller elektrik alan yönüne göre kendilerini yönlendirmeye çalışırlar (Şekil 1). Bu durumda komşu dipoller arasında sürtünme kuvvetlerine karşı çalışma meydana gelir [3, 4].



Şekil 1. (a) Elektrik alanı yokken bir dielektrik kondansatörde rastgele dipol yönelişi.
(b) Sabit bir elektrik alanının, $E_{uygulanan}$ etkisi altında dipollerin yer değişimi [4].

2. Malzemenin apolar olması durumunda, molekülde yüklerin dağılımı simetriktir yani artı ve eksi sabit yüklerin ağırlık merkezleri üst üste çakışık durumdadır. Bu durumda molekül normal durumda nötrdür ve sabit dipol momentini sıfırdır. Ancak elektrik alanı uygulandığında sabit yükler zıt yönlerde çekilirler. Bu yüklerin yer değiştirmesinin bir

sonucu olarak iç bağlanma kuvvetlerine karşı çalışma meydana gelir. Böylece molekül elektrik alanı etkisiyle dipol hale gelir. Diğer bir deyişle, apolar moleküller elektrik alanı içine girince pozitif yükler alan yönünde ve negatif yükler ters yönde kayarlar. Böylece ağırlık merkezleri de kaymış olacağından molekül dipol hale gelir (Şekil 2). Dipollerin meydana gelmesini sağlayan bu kaymalar dielektriğin bir tarafında pozitif diğer tarafında negatif yüklerin belirmesine neden olur. Bu olay kayma kutuplaşmasıdır ve az çok bütün dielektriklerde görülür. Moleküllerin polarlığı, kimyasal formüllerine ve molekülün uzayda yerleşimine bağlıdır [1, 3, 5].



Şekil 2. Tipik bir atom modeli [5].

- (a) Elektrik alanı yokken (b) Elektrik alanının etkisi altında
(c) Eşit büyüklükte iki zıt yük Q arasında bir dipolun oluşumu

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. Bu şekilde, kutuplaşmış bir dielektrikte dış alana ters yönde ve onu zayıflatan bir iç alan E_{dipol}

oluşur. Bu zayıflamanın derecesi dielektriğin türüne bağlıdır yani onun dielektrik sabiti ϵ' katsayısı ile ilişkilidir [2, 4, 6].

Yer değişim büyüklüğü yani kutuplaşma, elektrik alan şiddeti artarken artar. Çünkü alan şiddetinin artışıyla,

1. Polar maddelerde, zaten varolan sabit dipoller daha büyük dönme hareketine sahip olacak ve bu durumda dipoller kısmen veya tamamen yönelecektir.

2. Apolar maddelerde, elektrik alan şiddetiyle oluşan dipollerin sayısı artacaktır [3].

Kutuplaşma, bir dielektriğe sabit bir voltaj uygulandıktan sonra yalnızca belli bir zamanda gerçekleşir ki bu dielektriğin tamamen kutuplaşabilmesi için gerekli zamandır. Eğer malzeme ideal bir dielektrik değilse, yani bir miktar serbest iyon içeriyorsa, yüklenen statik alandan kaynaklanan akım sıfıra düşmez ve serbest iyonlardan kaynaklanan iletkenlik nedeniyle düşük bir değere sahip olur. Bu durumda dielektrikteki kutuplaşma sabit iletim akımı tarafından artırılır ve yükleme tamamlandıktan sonra sabit kalır. Bir alternatif alanda ise akım dielektrik içindeki bağlı yüklerin periyodik yerdeğişimi vasıtasıyla ilerler. Bu akım kapasite veya yerdeğiştiren akım olarak adlandırılır. Alternatif akım voltajına bağlı bir kondansatör, her bir yarım dönüşümde yüklenir ve boşaltılır. Sonuç olarak alternatif akımlar doğru akım için yalıtkan olan malzemeler tarafından iletilirler [3]. Böylece, elektromanyetik alan zamanla değiştiğinde (pratikte belirli bir f frekansı ile sınısoidal olarak) Şekil 1 deki $E_{uygulanan}$ alanı zamanla değişir ve bunun etkisiyle oluşan E_{dipol} alanı da aynı değişmeye ayak uydurur, dolayısıyla eşdeğeri olan elektrik dipolün yükleri uygulanan alan yönünün değiştiği her bir zaman periyodunda 180° lik bir açıyla dönmeye çalışarak, zamanla aynı salınımları yapar. Diğer bir deyişle, uyarılmış moleküllerin yükleri her periyot esnasında yani saniyede f defa kutup değiştirerek, molekülün iki ucu arasında gidip gelirler. Enerjinin korunumundan, bu salınımların devam etmesi için elektronlar, elektromanyetik dalgalardan enerji alırlar ve bu enerji alanın mevcudiyetinde dipoller tarafından depolanmış potansiyel enerji olarak tutulur. Alan kaldırıldığında dipoller yeni bir denge pozisyonuna relaksa geçerler ve enerji sisteme rastgele kinetik enerji olarak ısı şeklinde serbest bırakılır. Bu durumda yalıtkanın kayıplı olduğu söylenir. Bu kayıplar, yalıtkanın yapısına bağlıdır [2, 4, 7].

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

Bir dielektrik tarafından absorbe edilen bu enerji, kapasite vasıtasıyla çok kolay bir şekilde ölçülebilir. Bu yüzden bir malzemenin dielektrik sabiti, genellikle belirli bir kondansatörün iki elektrodu arasına yalıtıcı olarak bu malzemenin yerleştirilmesi durumunda elde edilen kapasitesinin, aynı kondansatörde malzeme olmaksızın yalıtıcı olarak vakum (pratik olarak hava) bulunması durumunda elde edilen kapasiteye oranıdır. Dielektrikteki enerji kaybı oranı genellikle kayıp tanjantı ile ifade edilir [3, 4, 8, 9, 10]. Bir malzemenin dielektrik özellikleri, bir kondansatörle ilgili kavramlara benzer olarak, kompleks dielektrik sabiti ile tanımlanabilir.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

veya

$$\epsilon = \epsilon' (1 - j \tan \delta) \quad (2)$$

yazılır.

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad (3)$$

ise yalıtkanın kayıp açısı olarak tanımlanır.

Burada, gerçel kısım ϵ' , dielektrik sabiti olup elektrik alanı şeklinde bir malzemede depolanabilen enerjinin miktarını doğrudan belirtirken, sanal kısım ϵ'' kayıp faktörü olarak adlandırılır ve malzeme içinde ısı şeklinde yayılan enerjinin ölçüsüdür. Böylece **dielektrik sabiti** belirli bir elektrik şiddeti ile bir dielektrikte oluşturulan elektrik 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_{dipol} arasındaki faz farkı (δ) dır. Elektriksel analogide, saf kapasite devresinde, akım ile uygulanan voltaj arasında açı 90° dir ve harcanan ortalama enerjinin sıfır olduğu kabul edilir. Böyle bir dielektrikte, elektrik yerdeğişim ve elektrik

şiddeti arasında faz farkı yoktur ve ısı meydana gelmez. Isınma olmaksızın dielektrik olarak fonksiyonlarını yerine getiren böyle malzemeler, mükemmel dielektriklerdir ve mükemmel bir dielektrikte elektromanyetik dalgalar zayıflamadan yayılırlar. Ancak gerçek dielektriklerde, elektrik alan şiddeti ile yer değiştiren akım arasında bir faz farkı vardır ve bu dielektrikte ısı oluşmasına neden olur. Bu kayıp açısının tanjantı, **kayıp tanjantı** olarak tanımlanır ve elektriksel yerdeğişim ve elektrik alan şiddeti arasındaki faz farkı ve böylece oluşan ısının göstergesini ifade eder [2, 3, 6, 7, 8, 10, 11,12 ,13].

Yalıtkan bir malzemenin dielektrik özellikleri, sonuçta aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [3].

1. Belirli bir elektrik alan şiddeti ile dielektrikte üretilen elektriksel yerdeğişim,
2. Belirli bir elektrik alanına maruz kaldığında bir dielektrikte depolanan enerji,
3. Yalıtıcı madde olarak dielektrik içeren bir kondansatörün kapasitesinin aynı boyuttaki kondansatörde dielektrik yerine boşluk bulunması durumundaki kapasiteye oranı,
4. Belirli bir dielektrikteki kapasite akım yoğunluğunun, aynı şiddete ve dağılıma sahip elektrik alanına maruz kalan boşluğun kapasite akım yoğunluğuna oranının bir ölçüsüdür.

Buna göre, malzemenin kutuplaşması ne kadar büyük olursa dielektrik sabiti ve malzemede depolanan enerji miktarı o kadar büyük olur.

1.2.2. Dielektriklerde Kutuplaşma

Alternatif akım veya doğru akımda dielektrik kutuplaşma sayısal olarak, üç büyüklük; deplasman (D), kutuplanma (P) ve bağıl dielektrik sabiti (ϵ') ile nitelenebilir [1,10,11].

Elektriksel yer değiştirme, elektrik alan yönüne dik yerleştirilmiş dielektriğin yüzeyinde yer değiştiren yüklerin miktarıdır. Buna dielektrik akısı veya yük yoğunluğu (deplasman) da denir [1, 10, 11].

$$D = \epsilon' \cdot \epsilon_0 \cdot E \quad (\text{C/m}^2) \quad (4)$$

Burada; ϵ_0 : boşluğun dielektrik sabiti = 8.854×10^{-12} (F/m), ϵ' : bağıl dielektrik sabitidir.

Kutuplaşma olayını niteleyen büyüklüklerden birisi de kutuplanmadır (P). Elektrik alanı bulunmadığında dielektriğin hiçbir elementinin elektrik momenti yoktur. Çünkü dielektriğin tüm moleküllerinde yüklerin aritmetik toplamı sıfır olur, artı ve eksi yüklerin ağırlık merkezleri üst üste çakışır. Elektrik alanı uygulandığında dielektriğin hacmindeki moleküller kutuplaşmadan dolayı elektrik momentine sahip olurlar. Dielektrikler için kutuplanma, elektrik alan şiddeti ile orantılı olduğundan (P ve E aynı yönde) elektrik alan şiddeti ve elektrik yer değiştirmesi arasındaki bağıntı,

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (5)$$

olup kutuplanma için,

$$P = \epsilon_0 (\epsilon' - 1) E \quad (6)$$

yazılır. Burada; $(\epsilon' - 1) = \chi$ dielektriğin duyarlılığıdır.

Bir dielektrik, elektrik alanı etkisiyle polarize olduğunda (kutuplaştığında) kutuplaşma, anlık kutuplaşma ve relaksasyon kutuplaşması olmak üzere iki şekilde tanımlanır. Dielektriklerde toplam 5 tip kutuplaşma meydana gelmektedir.

1.2.2.1. Elektron Kutuplaşması

Elektron kutuplaşması; dış elektrik alanının etkisi altında, atom, molekül yada iyonların elektron yörüngelerinin çekirdeğe göre elastik yer değişimi ve biçimsel bozulmaya uğramasıdır (Şekil 3). Bu tür kutuplaşmanın oluşma süresi elektrik alanı uygulandıktan sonra 10^{-15} - 10^{-14} saniye olduğundan buna *ani kutuplaşma* da denir. Güçlü elektron kutuplaşması oluşan malzemelerde elektrik alan şiddeti (E) ile yük yoğunluğu (D) arasında doğru orantılı bir değişim vardır. Bu nedenle dielektrik sabiti (ϵ') frekansa bağlı değildir. Elektron kutuplaşması olan malzemelerde sıcaklığın yükselmesiyle ϵ' düşer. Sıcaklığın yükselmesiyle ϵ' nin düşmesinin nedeni maddenin yoğunluğunun azalması,

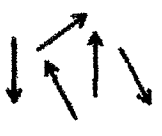
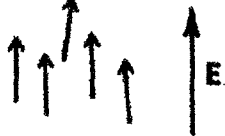
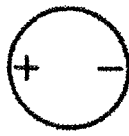

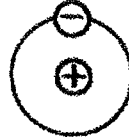

yani birim hacimdeki parçacık sayısının azalmasıdır. Elektron kutuplaşması bütün dielektriklerde olabilir ve bu tür kutuplaşmada enerji kaybı yoktur [1, 3, 5, 10].

1.2.2.2. İyon (Moleküler) Kutuplaşması

İyon (atom) kutuplaşması iyon kristalli dielektriklerde kristal kafese yerleşen elastik bağlı iyonların yer değiştirmesinden kaynaklanır (Şekil 3). İyonların boyutu elektronlara göre daha büyük ve eylemsizliği çok olduğu için iyon kutuplaşması elektron kutuplaşmasına göre daha yavaş gerçekleşir ($\tau = 10^{-12}-10^{-13}$ sn). İyon kutuplaşmasında $10^{10}-10^{11}$ frekans değerine kadar ϵ' frekansa bağlı değildir. Sıcaklık yükseldikçe maddenin iyonları arasındaki bağlar zayıflar ve iyonlar kolay yer değiştirir, malzemenin dielektrik sabiti de artar [1, 3, 5, 10].

1.2.2.3. Dipol Relaksasyon (Yöneysel) Kutuplaşması

Dipol relaksasyon kutuplaşması sabit dipol momentli olan polar dielektriklerin moleküllerinin elektrik alanı doğrultusunda yönelmesi ile oluşur (Şekil 3). Bu tür kutuplaşmanın oluşum süresi $10^{-6}-10^{-12}$ sn'dir. Dipollerin yönelmesi durumunda enerji kayıpları oluşur. Elektrik alan frekansının kutuplaşma süresinden küçük değerlerinde dipoller elektrik alan yönünde dönebildiğinden kutuplaşma da yüksek olur. Frekansın kutuplaşma süresine yakın değerlerinde ise dipoller alan yönünde yönelemediği için kutuplaşma zayıflar ve ϵ' nin değeri düşer. Dipol kutuplaşmasında elektrik alan kaldırıldığında dipoller önceki durumlarına aniden değil, belli bir süre sonra dönebilirler. Elektrik alan kaldırıldıktan sonra yönelmiş dipollerin sayısının, sıcaklık devinimi nedeniyle başlangıç değerinden 2.72 ($1/e$) kat azalmış olduğu ana kadar geçen süreye **relaksasyon süresi** (τ_0) denir. Bu durum parçacıklar arasındaki elastik kuvvetler etkisiyle olmayıp düzensiz ısı devinimi sonucu oluşur. Frekans büyüdükçe moleküllerin yönelmesi zorlaşır ve ϵ' nin değeri düşerek gittikçe elektron kutuplaşmasındaki değerine (ϵ'_∞) yaklaşır. Bu tür kutuplaşma ani olmadığından dipol kutuplaşmasına dipol relaksasyon (zayıflama) kutuplaşması da denir [1, 3, 5, 10].

Mekanizma	Elektrik alan yokken	Elektrik alan etkisi altında
Dipol veya yöneysel kutuplaşma		
İyon veya moleküler kutuplaşma		
Elektron kutuplaşma		

Şekil 3. Dielektriklerde elektrik kutuplaşmasını oluşturan mekanizmalar [5].

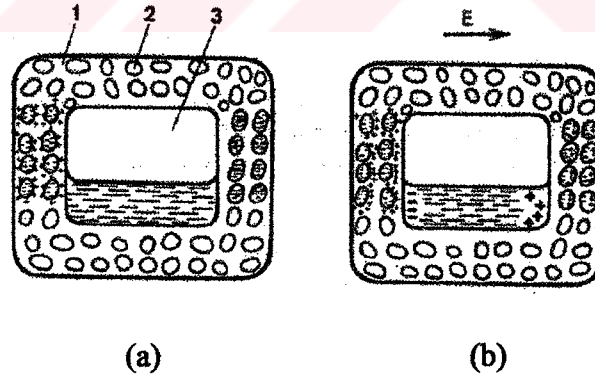
Sıcaklığın eksi değerlerinde dipoller durağandır ve dielektrik sabitinin değeri elektron kutuplaşmasındaki değerine eşit olur. Sıcaklık yükseldikçe dipoller arasındaki bağlar zayıflar ve dipoller alan etkisinde yönlenmeye başlarlar. ϵ' gittikçe yükselir ve sıcaklığın belirli bir değerinde dipollerin kendi ısıl devinimlerinin artması nedeniyle dipol moleküllerinin yönlenmesi zorlaşır ve en büyük değerden sonra kutuplaşma zayıflar, ϵ' küçülmeye başlar. Belirli bir en düşük değerden sonra elektriksel iletkenlik yükselmeye başlar ve ϵ' yeniden artar [1].

Dipol relaksasyon kutuplaşması genellikle polar yapılu gaz ve sıvılarda olur. Katı polar yalıtkanlarda da görülebilir. Bazı katı polar yalıtkanlarda yönelen, polar moleküller değil, polar gruplardır (-OH; -COOH; -NH₃... gibi). Bu kutuplaşma türüne “Dipol-grup kutuplaşması” denir. Odun hücre çeper yapısını oluşturan selüloz, hemiselüloz ve lignin makromolekülleri bu tür kutuplaşma ile ilişkilidir. Böyle bir mekanizma makromoleküllerin hareketsiz kısımlarıyla bağlantılı -OH veya -CH₂OH gibi polar grupların yer değiştirmesi ile meydana gelir. Örneğin selülozda kutuplaşma anında onun makromolekülünde bulunan üç adet -OH grubu yönelmektedir [1].

1.2.2.4. İyon Relaksasyon (Arayüzey, Yapısal) Kutuplaşması

Farklı özelliklerdeki maddelerden oluşan, iyonları sıkı yerleşmeyen iyon yapılı heterojen dielektriklerde meydana gelir. Dış elektrik alan etkisiyle zayıf bağlı iyonlar alan yönünde yer değiştirirler. Alan kaldırıldığında iyonlar yavaş yavaş denge konumlarına dönerler. Bu da relaksasyon kutuplaşma türüdür. Bu tür kutuplaşmada enerji kayıpları da olur [1].

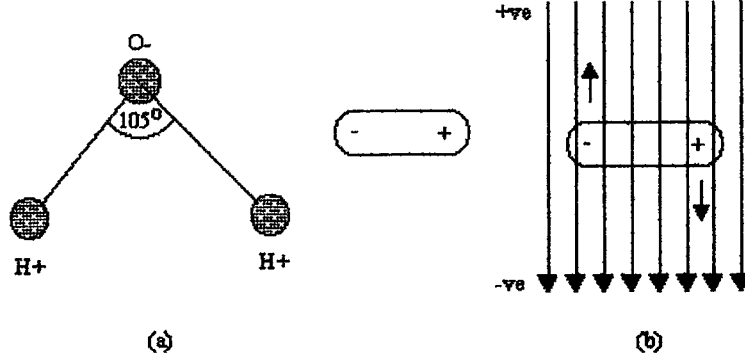
Rutubetli odun katı, sıvı ve gazdan oluşan heterojen bir malzemedir. Katı hal yüzeyleri bağlı su şeklinde rutubeti absorplamış odun hücre çeperini içermektedir. Hücre çeperlerinde interfibriler kanallar ve hücre çeperi boşlukları kısmen hava ve buharla doludur. Rutubet lif doyum noktasını (LDN) aştığında hücre çeperi boşlukları su ile dolar. Su ve hücre çeperi arasındaki güçlerin farklılığı nedeniyle, su molekülleri aynı işaretli yüke, hücre çeperi ise zıt işaretli yüke sahip olur. Hücre çeperi suya oranla oldukça düşük elektrik iletkenliğe sahiptir. Elektrik alanı uygulandığında, hücre çeperinin iletken ve yarı iletken elementlerinde mevcut olan serbest elektronlar ve iyonlar herbir element hacminde taşınır ve sonuçta element bir dipol moment kazanır. Şekil 4'de elektrik alan etkisiyle odundaki kutuplaşma olayı şekilsel olarak gösterilmektedir [10].



Şekil 4. Odun hücre enine kesitinin gösterimi. 1. Hücre çeperi; 2. Mikropapiller tüpler, 3. Hücre lümeni (a) Elektrik alanı yokken (b) Elektrik alanının etkisi altında kutuplaşma [10].

Odunun heterojenliği yüklerde sınırlı bir yer değişimine neden olur ve her bir boşluk ve kanal içindeki serbest olan yükler bağlı yüklermiş gibi davranırlar. Hücre boşluklarında serbest su içindeki iyonlar, elektrik alanının etkisi altında pozisyonlarını değiştirirler ve

böylece su polarize olur (Şekil 5). Elektrik alanının etkisiyle birim hacimdeki ortalama dipol moment, ki bu iyon relaksasyon kutuplaşması olarak adlandırılır, relaksasyon süresi ile belirlenen bu işlemi tedrici olarak artırır. Rutubetli odunda meydana gelen element iletkenliğinin iyonik türü için, iyon relaksasyon zaman sabiti 10^{-3} - 10^{-8} sn'de gerçekleşir [10].



Şekil 5. (a) Su molekülünün elektronik şekli ve (b) elektrik alanının etkisi altında dipol yönelişi [14].

1.2.2.5. Kendiliğinden (Elektroliz) Kutuplaşma

Elektrik alan olmadığında bile iyon yapılı bir grup dielektriğin yapısında farklı bölgeler oluşur ve bunlar dipol momentini oluşturur. Ancak bu bölgelerin dipol momentlerinin yönü farklı olduğundan toplam kutuplaşma sıfırdır. Elektrik alan uygulandığında bu bölgeler elektrik alan yönünde yönelirler ve çok güçlü kutuplaşma olur ve bu sırada ϵ' yükselir [1].

Rutubetli materyallerde doğru akım voltajının uygulanması ayrılmış iyonların yer değişiminden kaynaklanan elektroliz işlemine neden olur. Bu malzeme daima elektrokimyasal ve ya elektroliz kutuplaşmasına sahiptir. Bir elektrik alanının uygulanması anında elektroliz kutuplaşmada artış gözlenir. Kutuplaşmanın bu türündeki artış yukarıda bahsedilen diğer kutuplaşma tiplerinden çok daha yavaştır. Odunun elektroliz kutuplaşması zaman sabiti ile karakterize edilebilir ki bu yaklaşık 10^{-4} - 10^{-2} sn eşittir [10].

1. 3. Elektromanyetik Alan ve Odun Arasındaki Etkileşim

Odun çok sayıda, karmaşık ve elektriksel anlamda simetrik olmayan moleküllerden oluşmuştur. Elektriksel anlamda böyle moleküller pozitif ve negatif yüklerin toplamı olarak tanımlanabilir. Böylece odunu oluşturan farklı bileşiklerin yapısı odunun dielektrik özelliklerini belirler [3,15].

Elektromanyetik alan, elektrik alanı ve manyetik alan olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin odun üzerindeki etkisi farklıdır. Odun üzerinde manyetik alanın etkisi önemsizdir ve pratik olarak dikkate alınmaz. Elektrik alanının etkisi ise çok güçlüdür ve odun içinde elektrik akımlarının oluşmasını sağlar [3, 8, 10, 15] .

Elektromanyetik alan ve odun arasındaki etkileşim sayesinde odunun spesifik özellikleri açıklanabilir. Odunun dielektrik özellikleri, elektromanyetik alanın etkisi altında elektrik alanı ve odun arasındaki etkileşim dolayısıyla oluşan kutuplaşma mekanizmaları sonucu meydana gelir ki, bu durumda rutubetli odunun yanı sıra tam kuru odun da polar bir dielektrik olarak ele alınır. Odunun dielektrik özellikleri, yukardaki bölümde bahsedildiği üzere bağıl dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ve kayıp faktörü (ϵ'') dür [3, 8, 7, 10, 15].

1.3.1. Odunun Kutuplaşması

Tam kuru odun 10^{+13} - 10^{+15} ohm.m özgül dirence sahip, polar bir dielektrik olarak sınıflandırılır. Odunun rutubet miktarı arttıkça odunun özgül direnci düşer ve iletkenliği yarı iletkenlerinkine yaklaşır. Rutubet miktarı lif doygunluk noktasını (LDN) aştığında, odun iyonik iletkenliğe sahip olur. Rutubetli odun dipollerden ve iyonlardan oluşmuş bir madde olarak kabul edilir. Bir yüksek frekans elektrik alanında odunun davranışı bu dipoller ve iyonlarla belirlenir [3,10].

Odunun toplam kutuplanması rutubetli heterojen dielektriklerde meydana gelen 5 tip kutuplanmayı içermektedir. Bununla beraber, elektrik alan frekansına bağlı olarak genel kutuplaşma işlemi üzerinde her bir tür kutuplaşmanın etkisi farklıdır ve odunun dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri de değişir [3, 10].

$$P = P_e + P_a + P_d + P_v + P_z \quad (7)$$

Burada, P_e : Elektron kutuplaşması

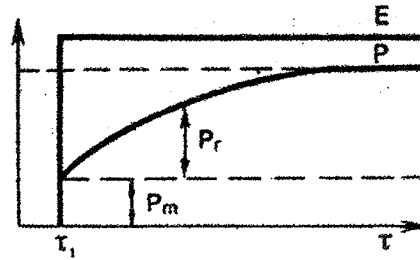
P_a : İyon (atom) kutuplaşması

P_d : Dipol Relaksasyon kutuplaşması

P_v : Kendiliğinden (arayüzey) kutuplaşma

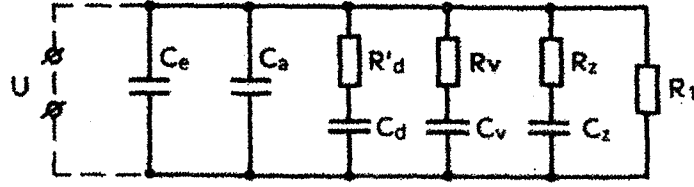
P_z : Elektroliz kutuplaşma

Odunun genel kutuplaşması, P , anlık kutuplaşma (P_m) ve relaksasyon kutuplaşması (P_r) olmak üzere 2 bileşenin toplamı olarak kabul edilebilir, Böylece $P = P_m + P_r$ olur. Anlık kutuplaşma elektron ve iyon kutuplaşmalarının toplamıdır. Bu kutuplaşma türleri elektrik alan şiddeti değişimlerini anlık olarak izler. Dipol relaksasyon, iyon relaksasyon, kendiliğinden kutuplaşma türlerinin toplamı genel kutuplaşmanın relaksasyon bileşenlerini oluşturur. Dipol ve iyon relaksasyon kutuplaşması işlemlerinde dielektrik partiküllerin yer değişimi elektrik alan şiddetini izleyemez. Bu durumda kutuplaşma vektörü alan şiddeti vektörü ile eşdeğer değildir ve yer değiştirme akım yoğunluğu $\pi/2$ radyandan daha az olarak tahmin edilir. Bu durumda kutuplaşmaya zıt yöndeki sürtünme kuvvetlerini yenmek için harcanan belirli bir enerji açığa çıkar. Bu enerji dielektrik içinde ısı şeklinde açığa çıkar. Şekil 6 elektrik alan şiddeti E 'nin anlık artışından sonra odunun genel kutuplaşmasındaki artışı göstermektedir [10].



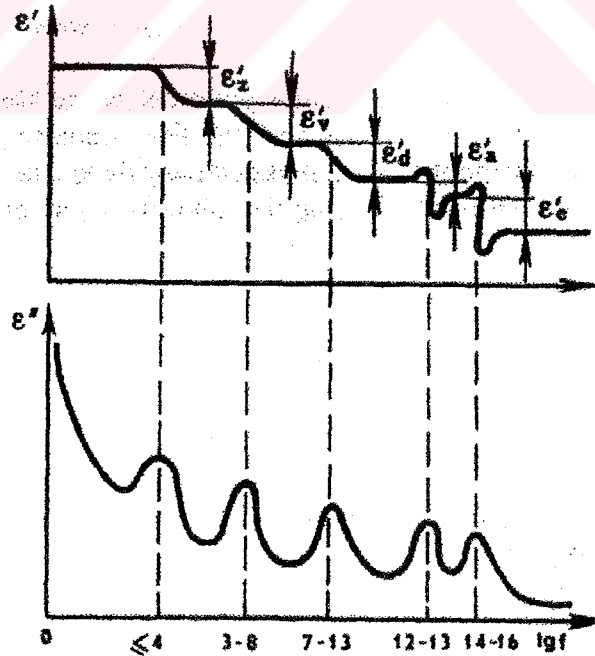
Şekil 6. Elektrik alan şiddetindeki E artışına bağlı olarak odunun kutuplaşmasındaki P artış. P_m , P_r kutuplaşmanın anlık ve relaksasyon bileşenleri [10].

Farklı kutuplaşma mekanizmalarına sahip dielektrik bir malzeme olarak odunun eşdeğer devresi kapasitörler C ve dirençler R içeren bir eşdeğer devre ile ifade edilebilir (Şekil 7).



Şekil 7. Farklı tür kutuplaşmaya sahip bir dielektrik olarak odunun eşdeğer devresi. C_e , C_a , C_d , C_v , C_z kondansatörün kapasite değerleri; R_d , R_v , R_z dipol, arayüzey ve elektroliz türü kutuplaşmalarda ortaya çıkan enerji kayıplarına ilişkin eşdeğer dirençlerdir, R_1 dielektriğin doğru akım direncidir [10].

Odunun genel kutuplaşmasına tüm kutuplaşma türlerinin katılımı aynı değildir. Bu frekansa bağlı olarak belirli şartlarda bazı tip kutuplaşmaların dikkate alınmamasına neden olur. Bu nedenle yüksek frekans ve mikrodalga frekansla kurutmanın gerçekleştirildiği 10^5 - 10^{10} Hz frekans sınırlarında elektroliz (kendiliğinden) kutuplaşma (zaman sabiti 10^{-4} - 10^2) ve elektron ve iyon kutuplaşmanın (10^{-12} - 10^{-16}) etkisi önemsenmez. Dipol relaksasyon ve iyon relaksasyon kutuplaşması odunun kutuplaşmasında ana rolü oynar [10]. Odunun dielektrik sabiti ϵ' ve kayıp faktörü ϵ'' üzerine frekansa bağlı olarak farklı tür kutuplaşmaların etkisi Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Farklı tür kutuplaşmalarda odunun dielektrik sabiti ϵ' ve kayıp faktörünün ϵ'' frekans bağımlılığı [10].

Frekansın artışıyla birlikte relaksasyon kutuplaşması dielektrik sabitinde monoton bir azalışa neden olur. Kayıp faktörünün maksimum değeri relaksasyon ve rezonans frekanslarına bağlıdır. Düşük frekanslarda kayıp faktöründeki artış doğru akım iletkenliğinden kaynaklanır. 10^{12} - 10^{16} Hz frekanslarında elektron ve iyon kutuplaşması gözlenir. Rezonans frekansa yaklaşıldığında yani elektron yörüngelerinin veya iyonların yapısal titreşim frekansına yakın frekanslarda atomik titreşimlerin artışı nedeniyle dielektrik sabitinde artış gözlenir [4, 10].

Frekans artarken hareketsizlik ve diğer etkiler yüzünden toplam kutuplaşmanın azalması beklenir ve bu yüzden dielektrik sabiti frekansın artışıyla azalır. Sonuç olarak uygulanan alan tarafından malzemeye verilen enerji tamamen dipollerin yönelmesi için kullanılamaz ve bu yüzden enerjinin bir kısmı her maddenin içinde var olan gelişigüzel termal hareketin artmasıyla malzemeye geçmiş olur. Bu yüzden dielektrik sabiti azalırken kayıp faktörü artış gösterir.

1.4. Odunun Bileşimi ve Bu Bileşiklerin Dielektrik Özellikleri

1.4.1. Çok Bileşenli Bir Dielektrik Olarak Odunun Fiziksel Modeli

Odun çok farklı elementlerden ve maddelerden oluşmaktadır. Rutubetli odunun dielektrik özellikleri üzerinde etkili olan faktörler, hücre ve odun yapısı, tam kuru odun maddesinin kimyasal bileşimi ve rutubetli odundaki su miktarıdır. Odun yapısı ve bileşimi, makroskopik yapı (ilkbahar ve yaz odunu, özışınları ve traheler), mikroskopik yapı (hücreler, hücrelerin ve trahelerin çeperleri, hücre çeperi tabakaları ve reçine kanalları) ve moleküler yapı (selüloz, hemiselüloz, lignin, ekstraktif maddeler, tuzlar, su ve diğer maddelerin molekülleri) olmak üzere üç seviyede incelenebilir. Pratik olarak tüm odun yapılarının dielektrik özellikler üzerindeki etkisini gözönüne almak mümkün değildir. Bu nedenle odunun dielektrik özellikleri teorik olarak incelenirken, basitleştirme yapılarak yalnızca birkaç bileşenin fiziksel bir karışımı olarak ele alınır. Böylece odun bileşeni tabakalarının üniform ve isotropik çok sayıda molekülden oluştuğu ve bunların tüm tabaka boyunca üniform parametrelere sahip olduğu farzedilerek analizler gerçekleştirilir [3, 10, 15].

Tam kuru odunun hücre çeperi maddesi ve havadan oluştuğu kabul edilir. LDN rutubet miktarının altında rutubete sahip odunda 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. Yukarıda bahsedilen tüm bileşenler odunun dielektrik parametrelerini etkiler ve rutubetli odun tüm bu 4 bileşenin bir karışımı olarak kabul edilir. Bu yüzden elementer düzeyde rutubetli odunun fiziksel modeli hücre çeperi maddesi, hava, bağlı su ve serbest suyu içermektedir [10, 16, 17].

Böyle bir bileşenin dielektrik parametrelerinin onu oluşturan bileşenlerin dielektrik özelliklerini kullanarak analitik ifadesi için, Weigner, Bruggman, Kraszewski, Looyenga, Lichtenecker, Ruther ve Büchner dielektrik karışım eşitliklerinin kullanılabileceği belirtilmektedir. Hücre çeperi maddesi, bağlı su, hava ve serbest sudan oluşan bir karışım olarak odunun dielektrik sabiti aşağıdaki genelleştirilmiş karışım eşitliği ile ifade edilebilir.

$$(\epsilon')^k = V_{\varphi} (\epsilon'_{\varphi})^k + V_h (\epsilon'_h)^k + V_b (\epsilon'_b)^k + V_s (\epsilon'_s)^k \quad (8)$$

Burada, ϵ'_{φ} , ϵ'_h , ϵ'_b , ϵ'_s , V_{φ} , V_h , V_b , V_s sırasıyla hücre çeperi maddesi, hava, bağlı su ve serbest suyun dielektrik sabiti ve hacmidir. k değeri ise 0 ile 1 arasında değişen deneysel veya teorik olarak belirlenen katsayıdır. Yukarıdaki eşitlikte, $k = 1/2$ olduğunda Kraszewski eşitliği, $k = 1/3$ olduğunda Looyenga eşitliği elde edilir [16].

Eğer LDN rutubet miktarına sahip odunun dielektrik parametreleri biliniyorsa, LDN aşan bir rutubet miktarına sahip odunun dielektrik parametrelerini belirlemek mümkündür. LDN üzerinde rutubet miktarına sahip odunun dielektrik sabitini belirlemek için, aşağıdaki kabullenmelere dayanarak bir eşitlik çıkartılabilir. Serbest su odundan bağımsız olarak elektrik alanıyla etkileşim halindedir ve böylece birim hacimde serbest su miktarındaki artışa bağlı olarak dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı değerleri değişecektir.

Odun rutubetlendiğinde hava su ile yer değiştirir. Su ile yer değiştiren havanın hacmi eşittir ve böylece odunun dielektrik sabitinde havanın hissesi kadar azalma olur. Odunun rutubet miktarı ve özgül ağırlığına göre değişen odundaki serbest suyun miktarı biliniyorsa, (9 ve 10) eşitlikleri kullanılarak LDN üzerindeki dielektrik sabiti ve kayıp

tanjantı değerleri belirlenebilir. % 1'lik rutubet miktarı kaybı ile odunda % 5'lik hacimsel daralma meydana geliyorsa Tablo 2'den serbest suyun nispi miktarı V_s bulunabilir. Böylece, LDN aşan rutubet miktarına sahip odun için aşağıdaki eşitlikler elde edilebilir [10].

$$\epsilon' = \epsilon'_{LDN} + V_s(\epsilon'_s - \epsilon'_h) = \epsilon'_{LDN} + V_s(\epsilon'_s - 1) \quad (9)$$

$$\tan \delta = \tan \delta_{LDN} + V_s \tan \delta_s \quad (10)$$

Burada; ϵ'_s , ϵ'_{LDN} , ϵ'_h sırasıyla serbest su, LDN eşit rutubete sahip odunun ve havanın ($\epsilon'_h = 1$) dielektrik sabiti ve $\tan \delta_{LDN}$, $\tan \delta_s$ LDN eşit rutubet miktarına sahip odunun kayıp tanjantı ve serbest suyun kayıp tanjantıdır.

Tablo 2. Odunda serbest suyun nispi miktarı V_s ($t= 20^\circ\text{C}$) [10].

Rutubet Miktarı (%)	Tam Kuru Özgül Ağırlık (δ_0 , gr/cm ³)					
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
40	0.026	0.035	0.044	0.052	0.061	0.070
60	0.078	0.105	0.130	0.156	0.183	0.210
80	0.130	0.174	0.218	0.260	0.305	0.350
100	0.182	0.244	0.305	0.365	0.426	-
120	0.235	0.313	0.392	0.470	-	-

Norimoto [18], hücre yapısıyla ilişkili olarak odunun dielektrik sabiti değerinin teorik olarak hesaplanabileceğini belirtmiştir. Norimoto [18]'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.

Hücre çeperinin dielektrik sabiti sıcaklığın artışıyla birlikte lineer olarak artar. Tablo 3'de hücre çeperinin dielektrik özelliklerinin sıcaklık ve frekansa göre değişimi verilmektedir. Odun yapısı bir ağaçtan diğerine değişim göstermekle birlikte hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerinin ağaç türünden bağımsız olduğu kabul edilir.

Tablo 3. -40 ile 100 °C sıcaklık sınırlarında hücre çeperinin dielektrik özellikleri [10].

Hücre Çeperinin Dielektrik Özellikleri												
F (Hz)	Sıcaklık (°C)											
	-40		-20		20		40		60		100	
	ϵ_1'	$\tan\delta_1$	ϵ_1'	$\tan\delta_1$	ϵ_1'	$\tan\delta_1$	ϵ_1'	$\tan\delta_1$	ϵ_1'	$\tan\delta_1$	ϵ_1'	$\tan\delta_1$
10^2	5.9	0.031	6.1	0.025	6.5	0.014	7.2	0.013	7.5	0.011	7.8	0.008
10^3	5.8	0.040	6.0	0.032	6.4	0.018	7.0	0.016	7.4	0.014	7.7	0.009
10^4	5.7	0.048	5.9	0.040	6.3	0.025	6.9	0.022	7.2	0.019	7.6	0.013
10^5	5.4	0.059	5.5	0.052	5.9	0.037	6.5	0.031	6.8	0.025	7.1	0.015
10^6	5.0	0.056	5.2	0.055	5.5	0.053	6.1	0.046	6.3	0.038	6.6	0.023
10^7	4.7	0.047	4.8	0.054	5.0	0.067	5.3	0.064	5.5	0.062	5.6	0.056
10^8	4.2	0.035	4.3	0.038	4.5	0.061	4.8	0.066	4.9	0.071	5.0	0.081
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

1.4.2. Hücre Çeperi Maddesi Bileşenlerinin Dielektrik Özellikleri

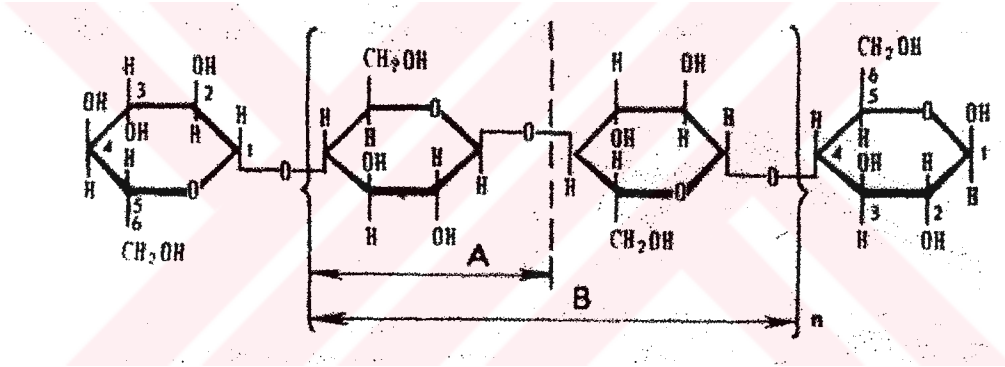
Hücre çeperi maddesi, selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktif maddelerden (reçineler, nişasta, tanen vb.) oluşmaktadır. Diğer bir deyimle, selüloz, hemiselülozlar ve lignin hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerini belirleyen polar polimerlerdir. Bunların odunun dielektrik özellikleri üzerindeki etkileri kendilerine has özelliklerine ve odundaki miktarlarına bağlıdır [10,18,19].

Selüloz ve hemiselülozlar holoselüloz olarak adlandırılır ve hücre çeperinin % 60-85'ini oluştururlar. Odun hücre çeperinin, % 40-50'sini selüloz ve % 20-35'ini hemiselüloz oluşturur. Lignin oranı ise %15-25 kadardır. Ekstraktif madde oranı ise çok düşüktür [20].

Selüloz hücre çeperinin büyük bir kısmını oluşturduğundan, hücre çeperinin dielektrik özelliklerini büyük ölçüde selülozun dielektrik özelliklerinin belirlediği söylenebilir. 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 9) [10, 20, 21]. Selüloz β -D-glukozidik

bağlarını içerir ve selülozun dielektrik özelliklerini β -D-glukozun özellikleri belirler. Selülozdaki her bir glukoz ünitesi 3 hidroksil grubu içerir.

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 bölgede bulunan selüloz zincir moleküllerindeki anhidrid glikoz üniteleri birbirlerine yalnız selüloz zincir molekülü boyunca bağlı olmayıp, bu eksene dik yönde de primer bağlarla bağlanmışlardır. Kristal bölgeler arasında selüloz zincir molekülleri kısmen paralel veya düzensiz bir hal almaktadır. Bu kısımlara ise amorf bölge denir. Amorf bölgedeki moleküllerde eksene dik yöndeki primer bağlar ya hiç bulunmaz veya az miktarda bulunur [21, 22].



Şekil 9. Selülozun formülü: A β -D glukoz ünitesi; B sellobioz [10].

Selülozun dielektrik özellikleri, kristal ve amorf bölgelerin oranlarına bağlıdır. Kristalite derecesinin artışıyla dielektrik sabiti azalır. Ayrıca mannan, ksilan ve selüloz üzerinde yapılan çalışmaların sonuçlarına göre metilol grubu olmayan ksilanda relaksasyon işleminin gerçekleşmediği, bu nedenle hem selüloz hem de mannan da meydana gelen relaksasyon mekanizmasına metilol gruplarının sebep olduğu belirlenmiştir [18, 19]. Bu nedenle, bir elektrik alanının etkisi altında selülozun kutuplaşma işlemine amorf bölgedeki selüloz moleküllerindeki hidroksil grupları (-OH) ve metilol gruplarının (-CH₂OH) yöneysel kutuplaşması katkıda bulunur yani selülozun kutuplaşmasından bu gruplar sorumludur. Bu işlem dipol relaksasyon kutuplaşmasının etkisinden kaynaklanır. Şekil 10'da bir glukoz ünitesindeki metilol grupları için moleküler hareket modeli verilmektedir [18, 19, 23, 24].

meydana gelen dielektrik yayılım su moleküllerinin hidrojen bağları ile bağlı bulunduğu karbonil gruplarının hareketinden kaynaklanır, düşük sıcaklıklardaki yayılım metilol gruplarının hareketinden kaynaklanır [10,19]. Ligninin dielektrik özellikleri frekansa ve özgül ağırlığa bağlı olarak Tablo 5’de verilmektedir.

Tablo 5. Ligninin dielektrik özellikleri (t = 20 °C) [10, 19].

Ligninin Dielektrik Özellikleri							
	δ_0 (gr/cm ³)	Frekans (Hz)					
		10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	3x10 ⁶
ϵ'	1.34	4.24	4.19	4.13	4.06	3.96	3.89
ϵ''	1.23	3.97	3.93	3.87	3.81	3.72	-
tan δ	1.23	0.004	0.006	0.007	0.009	0.013	-

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. Pratik olarak odun ekstraktif maddeleri dielektrik sabitini üzerinde etkili değildir. Kayıp tanjantı üzerinde ekstraktiflerin etkisi anatomik yöne bağlıdır ve liflere paralel yönde kayıp tanjantı ekstraktif madde miktarından etkilenmezken, ekstraktif içerik artarken kayıp tanjantı radyal yönde artar ve teğet yönde azalır [10, 15].

Sonuç olarak, selüloz, hemiselülozlar ve lignin hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerini belirleyen polar polimerlerdir. Bunların karakteristikleri, büyük relaksasyon değerine sahip olmalarından kaynaklanan enerji kayıplarına sebep olan dipol relaksasyon kutuplaşmanın yanında, enerji kayıpları olmayan elektron ve iyon tipi kutuplaşmadır. Bir seri polar gruba sahip yüksek moleküler ağırlıklı bu maddeler elektrik alanının etkisi altında dipol relaksasyon kutuplaşmasına maruz kalırlar. Bu tip kutuplaşma makromoleküllerin hareketsiz kısımlarına bağlı polar grupların yer değişiminden kaynaklanır. Bir elektrik alanının etkisi altında selüloz, hemiselüloz ve lignin makromolekülleri hücre çeperindeki diğer iletken maddelerin mevcudiyetinden de kaynaklanan ayrıca bir iyon iletkenliğine sahiptir [10, 18, 19, 23, 24].

1.4.3. Hava, Serbest Su, Bağlı Su ve Buzun Dielektrik Özellikleri

Hava mükemmel bir dielektriktir ve kayıp tanjantı sifira eşittir. Kuru havanın dielektrik sabiti -50 ile $+80$ °C sıcaklık sınırlarında 1.0007 ile 1.0004 arasında değişir ve ortalama olarak 1.0006'dır. Bağlı nemin % 90-100' e kadar artmasıyla havanın dielektrik sabiti 1.002-1.003'e yükselir. Normal şartlar altında havanın dielektrik sabiti çok az değiştiği için pratik hesaplamalarda nemli havanın dielektrik sabiti 1'e eşittir ve frekanstan bağımsız olduğu kabul edilir [10, 25].

Odunun rutubet miktarı tam kuru ağırlığa oranlandığında % 0 ile 250 arasında değişir. Odun sahip olduğu rutubet miktarına göre birkaç halde ele alınabilir. Bu hallerde odun ve rutubet arasında meydana gelen bağlar önemli farklılıklar gösterir ve bunlar rutubetli odunun dielektrik özelliklerini belirler.

103 ± 2 °C de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş odun tam kuru odun olarak adlandırılır ($r = \%0$). Bu durumda odunda yalnızca hücre çeperi maddesi ve hava vardır. Hücre çeperi boşlukları su ile doymuş ancak hücre lümenlerinin boş olduğu durumda odun lif doymuşluk noktasındadır (LDN). LDN rutubet miktarı % 28 olarak kabul edilir. Hücre çeperi rutubet miktarının maksimum değerine higroskopisite sınırı denir. Bu durumda hücre lümenlerinde su yoktur ve odunda hücre çeperi maddesi, hava ve bağlı su vardır. LDN rutubet miktarının üzerinde odunda hücre çeperi maddesi, bağlı su ve serbest su bulunur. Buna göre, rutubet miktarına bağlı olarak odunda bağlı su ve serbest su olmak üzere iki halde su bulunur. Serbest su hücre boşluklarının (lümenlerin) içerisinde bulunur ve burada mekanik olarak ve karşılıklı kapiler kuvvetlerle tutunur. Bağlı (veya higroskopik) su hücrelerin çeperlerinde bulunur [22, 26]. Bu su iki gruba ayrılır: adsorpsiyon su ve kapiler-kondense su. Mikro fibrillerin yüzeyleri tarafından adsorbe edilen su, adsorpsiyon su olarak adlandırılır. Bu su hücre çeperine fiziksel ve kimyasal kuvvetlerle bağlıdır. Adsorpsiyon su monomoleküler ve polymoleküler su olmak üzere ikiye ayrılır. Kapiler kondense su hücre çeperi porlarında bulunur ve oduna kapiler kuvvetlerle bağlıdır. Böylece odunda bağlı su azalan bağ enerjileri sırasıyla monomoleküler, polymoleküler ve kapiler kondense su olmak üzere üç formda bulunur.

Suyun monomoleküler tabakaları hücre çeperiyle etkileşim halindedir. Tabaka sayısı artarken adsorbe edilen su ile odun arasındaki etkileşim azalır. Kapiler-kondense rutubetin özellikleri adsorpsiyon ve serbest suyunkiler arasındadır. Adsorpsiyon suyuyla ilişkili olarak hücre çeperinin rutubet tutma kapasitesi ağaç türüne çok az bağlıdır, ancak kapiler kondense suyla ilişkili olarak hücre çeperinin rutubet tutma kapasitesi tamamen anatomisine ve hücre çeperinin ultra yapısına bağlıdır [3, 10, 22].

Odunun dielektrik özellikleri üzerine farklı hallerdeki suyun etkisini tahmin etmek için şu 4 rutubet aşaması dikkate alınır:

1. Monomoleküler rutubet : Tam kuru halden % 5 rutubet miktarına kadar
2. Polymoleküler rutubet: % 6' dan %15-18'e kadar
3. Kapiler-kondense rutubet: %15-18' den LDN (%28)'e kadar
4. Serbest su: LDN üzerindeki rutubet miktarı ($r > \%28$)

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda odundaki rutubetin bir kısmı buz halindeyken, bir kısmı donmamış haldedir. Odundaki donmamış su miktarı, rutubet miktarına ve negatif sıcaklığın derecesine bağlıdır. Donma işlemi, odunun porozitesi, makroskopik ve mikroskopik iç boşluklardaki suyun özellikleri arasındaki farklılık, su ve kapiler çeperler arasındaki etkileşim kuvvetleri, suda çözünmeden kalan mineraller ve organik maddeler ve diğer faktörler gibi faktörlerden etkilenir [10]. Mikrokapiler tüpler içinde bulunan higroskopik suyun donması, sıcaklık değerlerine bağlı olarak karakterize edilir. Odunda buzun ve donmamış suyun miktarı arasındaki oran negatif sıcaklıklarda rutubetli odunun dielektrik özelliklerindeki değişmeyi belirleyen faktördür.

Rutubet LDN aştığında, serbest su molekülleri odundan ve bağlı sudan bağımsız olarak elektromanyetik alanla etkileşim halindedir [10, 27]. Odundaki serbest suyun hacmi, odunun dielektrik parametrelerini büyük ölçüde değiştirmeye yetecek kadar fazla olabilir. Su, hidroksil (-OH) ve hidronyum (H_3O) gibi iyonların doğal oluşumuna neden olur ve bunlar yüzünden elektrik iletkenliğe sahiptir. Aynı zamanda, su molekülleri karşılıklı olarak bağlanma eğilimindedir ve herbir molekül 4 komşu moleküle bağlanmıştır. Sonuç olarak, bitişik uzaysal bir sistem oluşur.

Suyun dielektrik özellikleri frekans ve sıcaklıkla birlikte büyük ölçüde değişir. Suyun dielektrik sabiti, dipollerin elektrik alan değişimini takip edebildiği yeterince düşük frekanslarda statik değerine yakındır. Frekans, moleküllerin elektrik alan değişimlerini takip edemediği frekans değerine yaklaşırken (yükselirken), dielektrik sabiti azalır ve değeri elektron kutuplaşmasında elde edilen değerine ulaşır. Suyun dielektrik özelliklerinin frekans bağımlılığı doğru akım iletkenliği ve relaksasyon işleminin karşılıklı etkileri ile ifade edilir. 10^7 Hz'in altındaki frekanslarda sudaki kayıplar esas olarak suyun iletkenliğinden etkilenir. 10^8 Hz'in üzerinde frekans artarken, relaksasyon kayıpları doğru akım iletkenliğinden kaynaklanan kayıplardan daha yüksektir. Pozitif ve negatif sıcaklıklarda suyun dielektrik özellikleri Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Suyun dielektrik özellikleri [10].

Suyun Dielektrik Özellikleri									
Frekans (Hz)		Sıcaklık (°C)							
		-30	-20	-10	0	20-25	40-45	65	85
10^6	ϵ'	-	-	-	87	78.2	71.5	64.8	58
	$\tan\delta$	-	-	-	0.019	0.022	0.059	0.086	0.124
10^7	ϵ'	-	-	-	87	78.2	71	64	58
	$\tan\delta$	-	-	-	0.002	0.0046	0.005	0.009	0.0125
10^8	ϵ'	-	-	-	87	78	71	64	58
	$\tan\delta$	-	-	-	0.007	0.005	0.004	0.0035	0.003
10^9	ϵ'	-	-	-	86	77	71	64	57
	$\tan\delta$	-	-	-	0.102	0.06	0.034	0.025	0.019
2.4×10^9	ϵ'	49	69	79	82	77	71	64	57
	$\tan\delta$	0.92	0.62	0.40	0.25	0.13	0.09	0.06	0.04
5.8×10^9	ϵ'	21	37	54	65	68	66	62	55
	$\tan\delta$	1.62	1.2	0.80	0.59	0.31	0.22	0.17	0.13
10^{10}	ϵ'	10.6	17.6	29	38	55	59	59	54
	$\tan\delta$	2.03	1.75	1.33	1.03	0.54	0.40	0.32	0.26
3×10^{10}	ϵ'	6.1	7.0	8.9	12.3	23.2	35.6	-	-
	$\tan\delta$	1.2	1.66	1.89	1.84	1.37	0.94	-	-
10^{11}	ϵ'	5.55	5.64	5.82	6.16	7.5	10.1	-	-
	$\tan\delta$	0.41	0.63	0.90	1.19	1.61	1.7	-	-

Birçok durumda suyun dielektrik özellikleri hücre çeperi maddesinin dielektrik özelliklerinden daha büyüktür. Bu nedenle, LDN aşan rutubet miktarına sahip odunun dielektrik özelliklerinin değişimi esas olarak serbest suyun dielektrik özellikleri ve serbest suyun odun içindeki hacmi belirler [10, 27].

Bağlı suyun dielektrik özellikleri henüz tam olarak açıklanamamıştır. Birçok araştırmacı, tam kuru odun ve farklı rutubetlerdeki odunun dielektrik ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak bunu açıklamaya çalışmıştır. Bu çalışmalarda hücre çeperinin yapısı dikkate alınmıştır. Çeşitli araştırmaların sonuçlarına göre bağlı suyun dielektrik sabiti oldukça farklıdır ve 2'den 77'ye kadar değişir. Serbest su ve buz belli sıcaklıklarda tek bir relaksasyon süresi ile karakterize edilirken, adsorpsiyon rutubeti geniş spektrumlu relaksasyon zamanları ile karakterize edilir. Monomoleküler rutubet hücre çeperiyle çok kararlı bağlara sahiptir. Alternatif elektrik alanının etkisi altında bu moleküller sınırlı hareket ederler. % 0'dan % 4-6 rutubete kadar artışla birlikte dielektrik sabiti ve kayıp tanjantındaki artış önemsizdir. Polymoleküler rutubet tabakaları, daha büyük hareket yeteneğine ve daha yüksek dielektrik parametrelerine sahiptir ve sonuçta rutubetli odunun dielektrik parametrelerine büyük ölçüde katkıda bulunur. Bağlı suyun dielektrik parametrelerini karakterize etme zorluğu nedeniyle, LDN altında rutubet miktarına sahip odunun dielektrik özelliklerini analiz etmek için odun hücre çeperi maddesini bağlı sudan ayırmaksızın üniform bir sistem olarak kabul edilir [10].

Negatif sıcaklıklarda serbest su ve bağlı suyun bir kısmı buz haline dönüşür, ancak bu odunun dielektrik parametrelerini etkilemez. Buzun dielektrik özellikleri suyun dielektrik özelliklerinden farklıdır. Buzun çeşitli frekanslardaki dielektrik parametreleri Tablo 7'de verilmektedir [10].

Tablo 7. Buzun dielektrik özellikleri ($t = -11$ ile -12 °C) [10].

Buzun Dielektrik Özellikleri									
	Frekans (Hz)								
	10^3	2×10^3	5×10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	3×10^9	10^{10}
ϵ'	83	60.6	22.5	9.5	4.8	4.15	3.7	3.2	3.17
$\tan\delta$	0.365	0.728	1.68	2.4	0.8	0.12	0.018	0.0009	0.0007
ϵ''	30.3	44.1	37.8	22.8	3.84	0.498	0.067	0.0029	0.0022

Odunun dielektrik sabiti üzerinde buzun etkisi 10^5 Hz'e kadar frekansın artışıyla birlikte aniden düşer ve sonra monoton bir şekilde azalır. Odunun kayıp tanjantı üzerinde buzun etkisi 10^7 Hz frekans sınırında farkedilir. Çok yüksek frekanslarda kayıp tanjantı üzerinde buzun etkisi önemsizdir ve dikkate alınmaz.

Genel olarak, tam kuru ve rutubetli odunun bileşimi, frekans ve sıcaklığa bağlı olarak dielektrik parametrelerde değişkenliğe neden olur. Özelliklerdeki bu değişkenlik moleküler seviyede, elektromanyetik alan ile etkileşimlerden kaynaklanan farklı tip mekanizmalar ile belirlenir. Odunun dielektrik özellikleri üzerinde bu maddelerin kendi dielektrik parametrelerinin etkisi, her bileşenin kendine has özellikleri, nispi miktarları ve karşılıklı etkileşimlerinin büyüklüğü ile belirlenir. Bu faktörlerin bilinmesi, bir elektromanyetik alanın etkisi altında odunun dielektrik özellikleri üzerinde herbir maddenin etkisini tahmin etmeyi kolaylaştırır ve odunun dielektrik karakteristiklerinin ölçümü için metod seçiminde yardımcı olur.

1.5. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerinde Etkili Olan Faktörler

1.5.1. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerine Frekansın Etkisi

Odun farklı moleküllerden oluşan dielektrik bir malzemedir. Elektrik alanının etkisi altında bir dielektrik karışımın frekansla ilgili olarak davranışı onu oluşturan bileşenlerin dielektrik davranışından büyük ölçüde farklıdır. Bu durumda dielektrik karışımdaki relaksasyon olayı tek bir frekansta gerçekleşmez ve geniş bir dağılım söz konusudur. Bu dağılımın büyüklüğü karışımı oluşturan maddelerin kendi özel yapılarına ve miktarlarına bağlıdır [10, 17].

Dielektriğin dipollerinin relaksasyon süresi aynı ise, dielektrik sabiti ve frekans arasındaki bağıntı Debye eşitliğinden bulunabilir. Eğer dielektrik farklı moleküllerden oluşuyorsa ve her bir molekül kendi özel kutuplaşma zamanına sahip ise relaksasyon zamanları dağılımı meydana gelir ve böylece en olası değer civarında dağılırlar. Polar maddelerde dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün frekans bağımlılığını belirlemek için Cole-Cole (1941) bir diyagram oluşturmuşlar ve aşağıdaki deneysel eşitliğin kullanılmasını önermişlerdir [10,18].

$$\epsilon^* = \epsilon_{\infty}' + [\epsilon_s' - \epsilon_{\infty}'] / [1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}] \quad (11)$$

Burada; ϵ_{∞}' : sınırlı yüksek frekans bağıl dielektrik sabiti, ϵ_s' : sınırlı düşük frekans bağıl dielektrik sabiti, ω : açısal frekans, τ : relaksasyon süresi, α : 0 ile 1 arasında değer alan ve relaksasyon süresi dağılımını karakterize eden parametredir. $\alpha = 0$ olduğunda (11) eşitliği Debye eşitliği haline gelir.

Odunu oluşturan madde molekülleri farklı relaksasyon sürelerine sahiptirler. Bu nedenle odunun dielektrik özelliklerinin frekans bağımlılığının belirlenmesi için (11) eşitliği kullanılır [10,18].

Daha önce belirtildiği üzere, bir elektrik alanının uygulanmasından sonra moleküllerin alanı takip etmesi için gereken süre relaksasyon süresi olarak tanımlanmıştır. Alan frekansı çok yüksek olduğunda, yani kutuplanma için gerekli zaman çok kısa olduğunda alan yönü değiştiğinde moleküllerin yer değişimi tamamlanmamış olacak yada henüz başlamış olacaktır. Bu nedenle hem yer değişim hem de güç absorpsiyonu çok küçük olacaktır ve böylece hem dielektrik sabiti hem de kayıp tanjantı küçük değere sahip olacaktır [6].

Frekans çok düşük olduğunda ise, kutuplaşma için verilen periyot nisbeten çok yüksek olduğundan (moleküllerin relaksasyon süresinden yüksek olduğundan) frekansın tam değerine ulaşması için geçen süre yerdeğişim için kullanılacağından moleküllerin yerdeğişimi gerektiğinden uzun bir zaman alacaktır. Büyük bir yerdeğişim oluşacaktır ancak elektrik yerdeğişim ve elektrik alan şiddeti arasında belirgin bir fark olmayacaktır. Bu durumda dielektrik sabiti yüksek bir değer alacak, ancak önemsiz bir güç kaybı olduğundan kayıp tanjantı tekrar minimum değere sahip olacaktır [6].

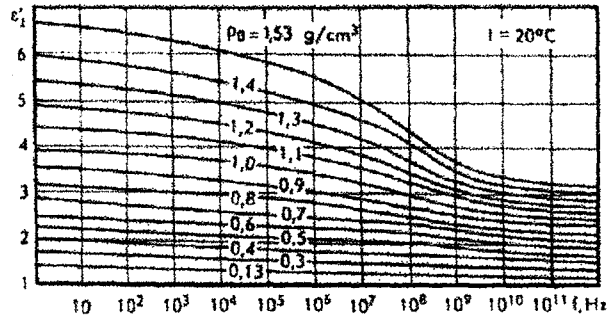
Çok düşük ve çok yüksek frekanslar arasında bir nokta vardır ki burada yerdeğişim ve elektrik alan şiddeti arasında farkedilebilir bir fark vardır ve absorbe edilen güç maksimuma ulaşır [6].

Düşük frekanslarda yapılan bazı çalışmalara göre [8, 12, 28], frekans ne kadar düşüğe dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün de o kadar yüksek olacağı belirtilmektedir. Düşük frekanslarda (10 kHz' in altındaki) elektrik kutuplaşma ara yüzey kutuplaşmasıdır ve selülozun amorf ve kristal bölgelerinden kaynaklanan süreksizlikle açıklanır. Kristal

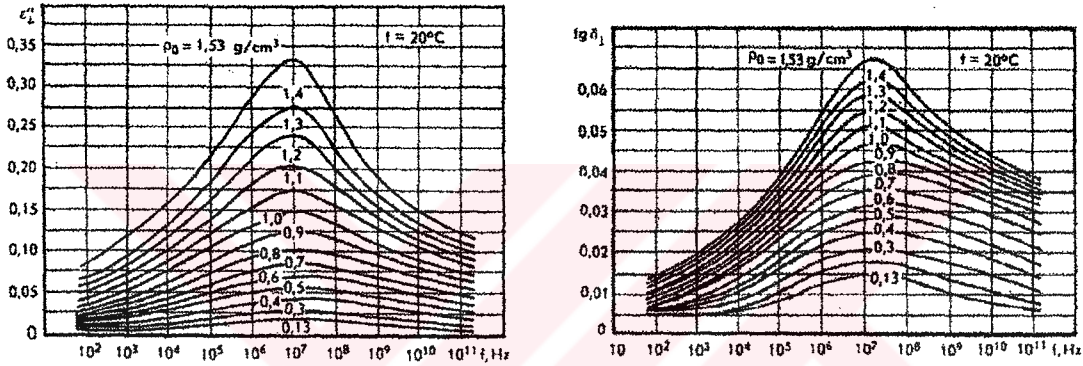
bölgeler nonhigroskopiktir ve suyun bulunması durumunda iletken değilken, amorf bölgeler rutubet miktarı artarken süratle çok iletken olurlar. Frekans artarken dielektrik sabiti homojen polar maddelerin tipik bir değerine azalır ve ara yüzey kutuplaşmasının katılımı önemsiz hale gelir ve moleküler (dipol) kutuplaşma baskın rol oynar. Dipol kutuplaşmasının baskın rol oynadığı frekans sınırlarında frekansın artışıyla kutuplaşabilen dipollerin sayısında monoton bir azalma olur [29]. Bu durum mikrodalga frekanslara kadar sürer (10 GHz). Bu durumda enerji, molekülde meydana gelen dipol momenti şeklinde ve sabit dipol momentine sahip moleküllerin elektrik alanına göre yer değiştirmeleri şeklinde absorbe edilir. Bu yüksek frekanslarda suyun rolü selüloz moleküllerine higroskopik olarak bağlı polar gruplarının ilavesiyle basit şekilde selüloz moleküllerinin kutuplaşabilirliğini arttırmaktır. Bu şekilde sabit dipol momenti artar ve elektrik alanının etkisi altında sapsmış moleküller tarafından absorbe edilen enerji artar [8, 12, 27, 29].

Mikrodalga frekanslarda bir maddenin molekülleri ile elektromanyetik alan arasındaki etkileşim karakteri düşük frekanslardakinden daha farklıdır. Çünkü 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. Bu özellik, yani dielektrik sabitinde azalış ve kayıp faktöründeki artış çeşitli çalışmalarda farklı odun türleri için belirlenmiştir. LDN üzerinde rutubet miktarına sahip odunun dielektrik özelliklerindeki değişimini serbest suyun dielektrik özellikleri ve nisbi hacmi ile belirler. Serbest su molekülleri hücre çeperi maddesi ve bağlı sudan bağımsız olarak mikrodalga alanıyla etkileşim halindedir [10,27, 29, 30]. Düşük frekanslarda rutubet miktarı ile dielektrik parametreler arasında üssel bir [10, 28] ilişkinin bulunduğu, mikrodalga frekanslarda ise 2.,3. veya 4. dereceden çok değişkenli eşitliklerin uygun olduğu belirtilmektedir [7, 27, 28, 31].

Tam kuru odun elektromanyetik alan içinde tipik bir polar dielektrik gibi davranır. Frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabiti monoton bir şekilde azalır. Çünkü polar moleküllerin daha az bir kısmı elektrik alan değişimlerini takip etmek için yeterli zamana sahiptir. Şekil 11-12'de çeşitli özgül ağırlıktaki tam kuru odunun dielektrik parametrelerinin frekansla değişiminin genel karakteri verilmektedir [10].

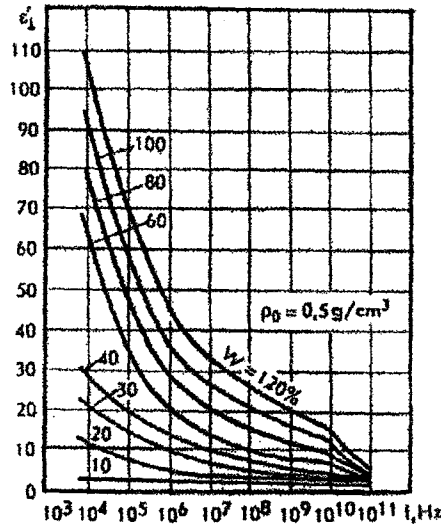


Şekil 11. Hücre çeperi maddesi ve tam kuru odunun liflere dik yöndeki dielektrik sabitinin ϵ'_{\perp} frekansla değişimi ($t = 20^\circ\text{C}$) [10].

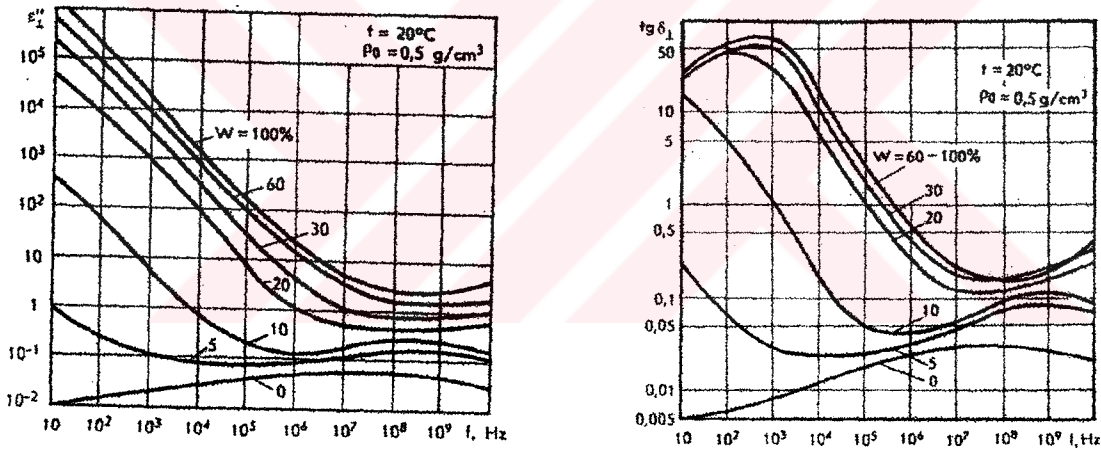


Şekil 12. Hücre çeperi maddesi ve tam kuru odunun liflere dik yöndeki kayıp faktörünün ϵ''_{\perp} ve kayıp tanjantının $\tan \delta_{\perp}$ frekansla değişimi ($t = 20^\circ\text{C}$) [10].

Rutubetli odunda ise frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabiti ve kayıp faktörü azalır. Düşük frekanslarda dielektrik sabitinin ve kayıp faktörünün daha yüksek değerde olması, rutubetli odunun bu frekanslarda yüksek bir iyonik iletkenliğe sahip olmasından kaynaklanır. Rutubetli odunun kayıp tanjantının frekans bağımlılığı ise oldukça karmaşıktır. Frekansın artışıyla iyonik iletkenliğin etkisi azalır ve relaksasyon kayıpları belirgin rol oynamaya başlar. 10^{10} - 10^{11} Hz frekans sınırlarında dielektrik sabiti değerindeki ani azalma serbest suyun dielektrik sabiti değerinin bu frekanslarda aniden düşüşü (60 dan 7.7 a kadar) ile açıklanır. Şekil 13-14'de rutubetli odunun dielektrik parametrelerinin frekansla değişiminin genel karakteri verilmektedir [10].



Şekil 13. Rutubetli odunun liflere dik yöndeki dielektrik sabitinin ϵ'_{\perp} frekansla değişimi ($t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$); r = rutubet miktarı [10].

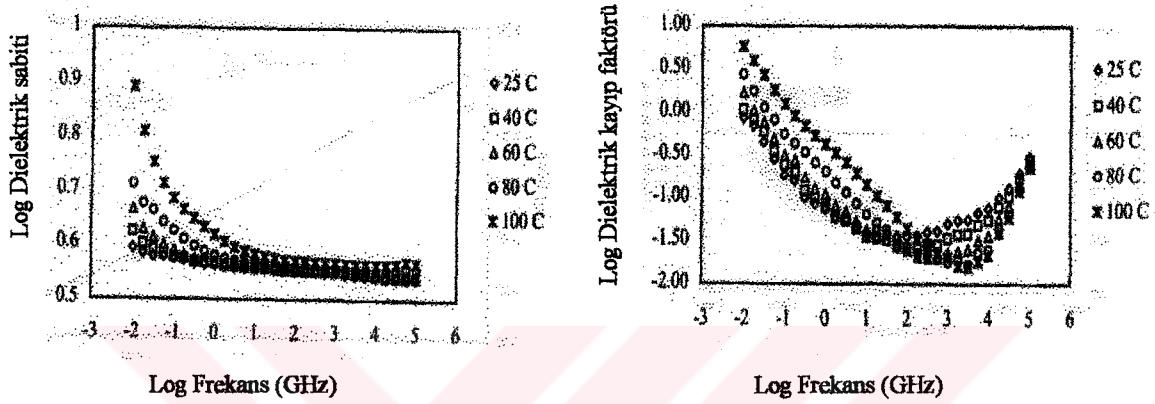


Şekil 14. Rutubetli odunun liflere dik yöndeki dielektrik kayıp faktörünün ϵ''_{\perp} ve kayıp tanjantının $\tan \delta$ frekansla değişimi ($t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$); r = rutubet miktarı [10].

1.5.2. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerine Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık odunun dielektrik özelliklerini oldukça büyük oranda etkiler. Çünkü, sıcaklıktaki artışla birlikte relaksasyon süresi azalır. Relaksasyon süresinin azalması odunun kayıp tanjantının maksimum değerine daha yüksek frekans bölgelerinde rastlanmasına neden olur. Yüksek sıcaklık ayrıca viskoziteyi (yani moleküler bağ kuvvetlerinin etkisini) azaltır ki bu kayıp tanjantının frekans bağımlılığının yüksek frekanslarda görülmesine neden olur.

Odunun dielektrik özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi düşük frekanslarda [8, 12, 24, 32, 33, 34, 35] ve mikrodalga frekanslarda [35, 36] çalışılmıştır. Düşük frekanslarda (10^2 - 10^5 Hz) tam kuru odunun dielektrik sabitinin oda sıcaklığından 100 °C'ye kadar sıcaklığın artışıyla bütün lif yönleri için artış gösterdiği belirlenmiştir. Kayıp faktörü de düşük frekanslarda aynı karaktere sahiptir, yani sıcaklığın artışıyla hızlı bir şekilde artar (Şekil 15) [35].



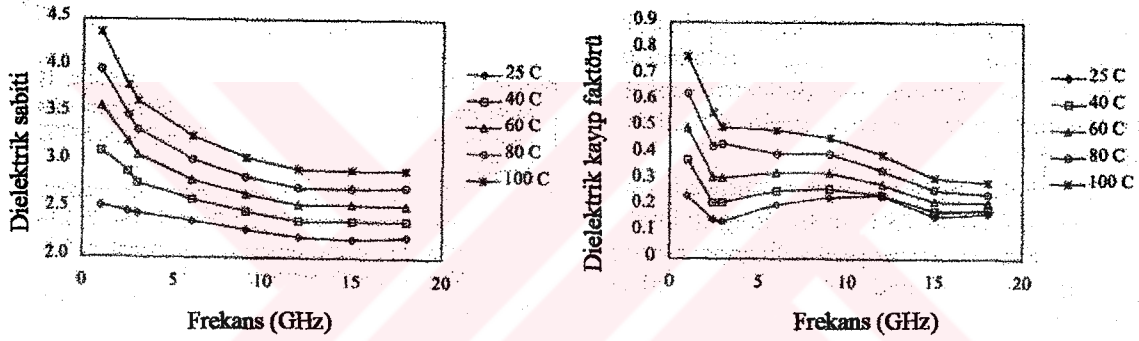
Şekil 15. Düşük frekanslarda liflere paralel yönde tam kuru odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi [35].

Sıcaklıkla birlikte dielektrik sabitindeki artış, oduna bağlı bulunan dipol gruplarının yani amorf bölgedeki metilol gruplarının varlığı ile açıklanır [34]. Odunun kutuplanabilirliği sıcaklığın artışıyla sürekli bir şekilde artar [8]. Sıcaklık yükseldikçe maddenin iyonları arasındaki bağlar zayıflar ve iyonlar kolay yer değiştirir. Böylece sıcaklığın etkisiyle dipoller enerji kazanırlar ve böylece yeniden yönelmelerine katkıda bulunurlar ve sonuçta dielektrik sabiti artar. Ayrıca frekansla birlikte güçlü bir ilişki içindedirler [12]. Düşük frekanslarda hem selüloz moleküllerinin sabit dipol momenti hem de arayüzey kutuplaşması termal enerjiyle aktive edilir [35]. Norimoto ve Yamada [24,33], enerji absorpsiyonunu 3 nedene bağlamaktadır: birincisi; selüloz, hemiselüloz ve lignin moleküllerinin farklı hareketi; ikincisi, selülozun kristal ve amorf bölgeleri arasındaki arayüzey kutuplaşması; ve son olarak lameler yapılar gibi odunun mikroskopik heterojen yapıları arasındaki arayüzey kutuplaşmasıdır. Arayüzey ve dipol kutuplaşma termal olarak aktive edilen mekanizmaları kapsar. Kutuplaşmanın termal olarak aktive olan mekanizmalarının bulunması dielektrik özelliklerin sıcaklıktan etkilenmesi sonucunu

doğurur [8,12]. Tam kuru odunun kayıp tanjantının sıcaklık bağımlılığı karmaşık bir yapıya sahiptir.

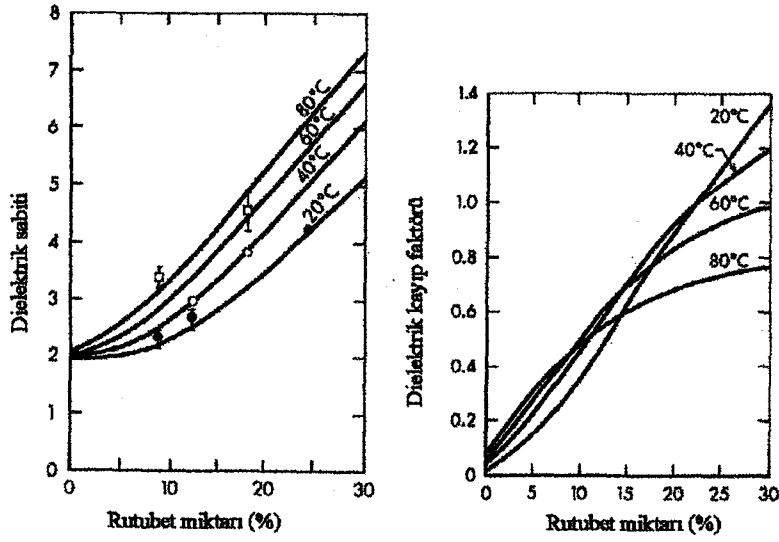
Düşük frekanslarda rutubetli odunun dielektrik sabitinin sıcaklıkla birlikte arttığı belirtilmiştir. Kutuplaşmanın aktivasyon enerjisi rutubet miktarının artışıyla artar [12].

Mikrodalga frekanslarda (1-18 GHz), tam kuru odunun dielektrik sabiti bütün lif yönlerinde ve sıcaklıklarda frekansla birlikte azalır ve ayrıca bütün lif yönlerinde sıcaklıkla dielektrik sabiti arasında lineer bir ilişki vardır. Dielektrik kayıp faktörü de ayrıca sıcaklıkla lineer bir şekilde artar (Şekil 16) [35].

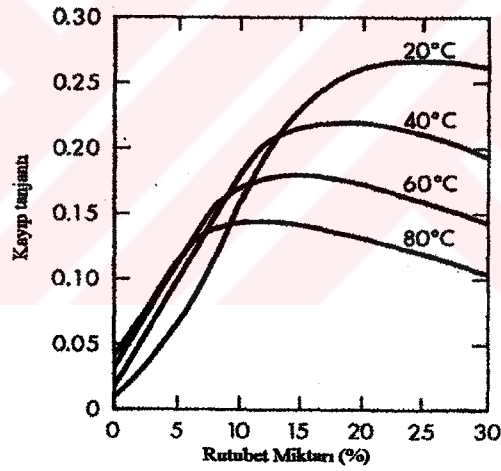


Şekil 16. Mikrodalga frekanslarda liflere paralel yönde tam kuru odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi [35].

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 (Şekil 17-18) [36].



Şekil 17. 2.45 GHz frekansında liflere paralel yönde Douglas odununun dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün rutubet miktarının fonksiyonu olarak sıcaklıkla değişimi [36].



Şekil 18. 2.45 GHz frekansında liflere paralel yönde Douglas odununun kayıp tanjantının rutubet miktarının fonksiyonu olarak sıcaklıkla değişimi [36].

Eğer dielektrik sabiti ve kayıp tanjantının sıcaklık bağımlılığı lineer ise herhangi bir T sıcaklığındaki tam kuru ve rutubetli odunun dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunabilir.

$$\epsilon' = \epsilon_{20}' [1 + k_{\epsilon'} (T-293)] \quad (12)$$

$$\tan\delta = \tan\delta_{20} [1 + k_{\tan\delta} (T-293)] \quad (13)$$

Tablo 10. % 5-100 rutubet miktarına sahip odunun kayıp tanjantının sıcaklık katsayısı değerleri, $k^t_{\tan\delta} \times 10^3 \text{ K}^{-1}$ [10].

f (Hz)	t (°C)	Rutubet miktarı (%)						
		5	10	20	30	40	80	100
10^6	20-90	-8	30	30	30	30	32	33
10^7	20-90	-6	10	17	24	25	33	37
10^8	20-90	-3	-5	15	23	23	24	25
10^9	20-90	1.5	0	-2	-2.5	-2.5	-2	-1.8
2.4×10^9	20-90	3.5	0	-2.7	-3.1	-3.1	-3.1	-3.2
10^{10}	0-30	12	17	28	28	-	-	-

1.5.3. Odunun Dielektrik Özellikler Üzerine Elektrik Alan Şiddetinin Etkisi

Odunun dielektrik özellikleri üzerine alan şiddetinin etkisi henüz ayrıntılı olarak araştırılmamıştır. Bunun nedeni elektrik alan şiddetinin etkisinin çok küçük olmasından kaynaklanır [10].

1.5.4. Odunun Dielektrik Özellikleri Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi

Odunda rutubet miktarı % 250 veya daha fazla olabilir. Odunda adsorpsiyon ve kapiler kondenzasyon şeklinde bulunan su (bağlı su), odun ile etkileşimi sonucu kendi dielektrik özelliklerini değiştirir ve böylece odunun dielektrik özelliklerinde değişimlere sebep olur. Hücre boşluklarını (lümenlerini) dolduran serbest su da ayrıca odun ve elektromanyetik alan arasındaki etkileşimlerin karakterini değiştirir. Bu değişimler özellikle suyun anormal yüksek dielektrik parametrelerine sahip olduğu frekans bölgelerinde rutubetli odunun dielektrik özelliklerinde önemli değişime neden olur. Serbest su, odunun dielektrik özelliklerinden çok daha yüksek dielektrik özellik değerine sahiptir. Su, odunda dielektrik özellikler üzerinde en etkili olan ve birçok durumda dielektrik özellikleri belirleyen maddedir.

Odunun dielektrik özellikleri üzerine rutubet miktarının etkisi düşük ve mikrodalga frekanslarında gerçekleştirilen birçok araştırmaya konu olmuştur [7, 8, 12, 17, 27, 28, 29, 31, 37, 38]. Bu çalışmalarda odunun dielektrik özellikleri üzerine rutubet miktarının etkisinin mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır.

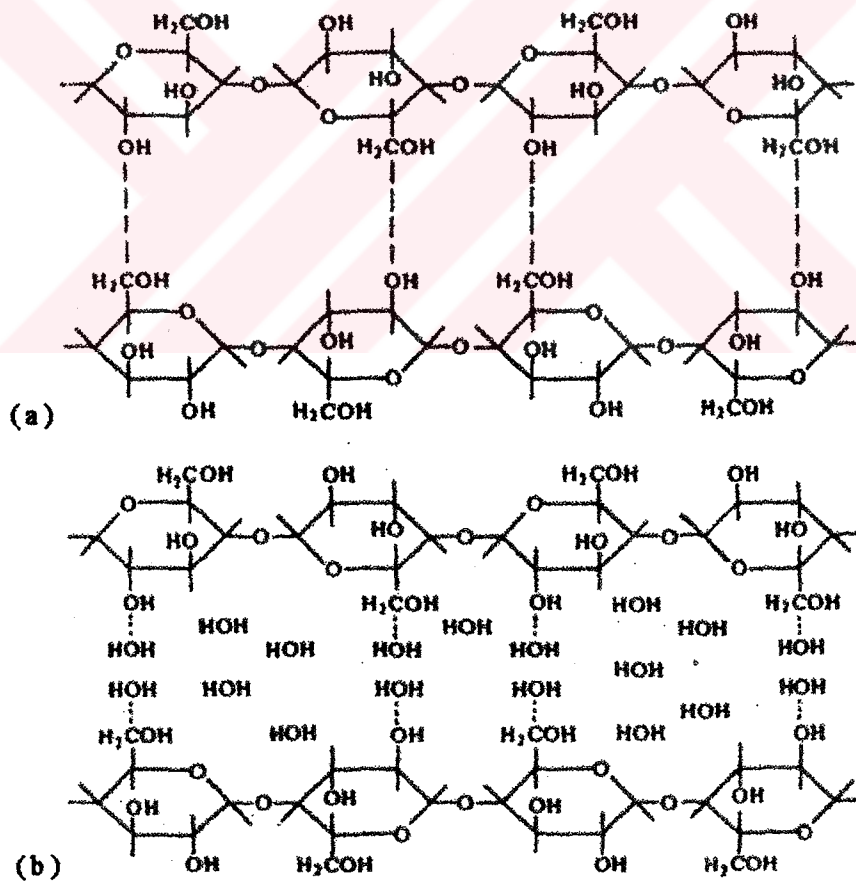
10^{10} Hz frekans sınırlarına kadar, tam kuru odun ve rutubetli odunun dielektrik özelliklerindeki değişim iyonik iletkenlik, odun dipolleri relaksasyon (dipol-kökenli) kutuplaşması, iyon relaksasyon kutuplaşması ve kendiliğinden kutuplaşmadır. Farklı frekanslarda rutubet miktarına bağlı olarak, dielektrik özellikler üzerine farklı tür kutuplaşmanın ve iletkenliğin etkisi farklıdır. Düşük frekanslarda, doğru akım iletkenliğine ilaveten kendiliğinden ve iyon relaksasyon kutuplaşması baskındır. Buna rağmen, yüksek frekanslarda dipol relaksasyon kutuplaşması hakimdir.

Dipol-kökenli kutuplaşma tam kuru odunda -OH ve -CH₂OH gruplarının yer değişimi ile iyonik iletkenliğin eşliğiyle oluşur. Ayrıca odun molekülleri tarafından absorbe edilen farklı maddelerin iyonları ve serbest iyonların mevcudiyetinden kaynaklanır. Tam kuru odunun en olası relaksasyon süresi hücre çeperi maddesinin relaksasyon süresiyle aynıdır ve 10^7 Hz frekansında kayıp faktörünün maksimum değeriyle ilişkili olarak 20°C de 1.59×10^{-8} sn'dir. Polar grupların hareket yeteneğinin liflere dik yöne kıyaslandığında liflere paralel yönde daha yüksek olması hücre çeperinin boyuna eksenine boyunca yönelmiş elektrik alan şiddeti vektörü yönünde dielektrik özelliklerin daha yüksek olmasına neden olacaktır [7, 23, 27].

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 ve böylece bariz şekilde dielektrik özelliklere katkıda bulunurlar. Rutubetlenmenin başlangıç aşamalarında bu iki faktörün kombinasyonu dielektrik özelliklerde hızlı bir artışa neden olurken, LDN'a yaklaşırken polar grupların önemi artık kalmaz çünkü onların devir serbestliği maksimuma ulaşır. LDN'dan sonra esas rolü serbest suyun dielektrik davranışı ve odun içindeki hacmi belirler [7, 17, 29]. Bu nedenle dielektrik özellikler üzerine rutubet miktarının etkisini 4 rutubet bölgesinde analiz etmek yararlı olacaktır: % 0-5 (monomoleküler) rutubet miktarında, %5 den % 15-18'e kadar (adsorpsiyon) rutubet miktarında, % 18' den LDN'a kadar (kapiler-kondense rutubet) ve LDN'ın üzerinde (serbest rutubet). Odun ile bu 4 tür rutubet bölgesi arasındaki etkileşim

farklıdır. Odun ve rutubet arasındaki her farklı tip bağ rutubetli odunun elektrik özellikleri üzerine kendine has etkiye sahiptir. Kural olarak, yukarıda bahsedilen rutubet bölgesi sınırlarında odunun dielektrik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana gelir.

Elektromanyetik alanın etkisi altında meydana gelen selülozun salınım (titreşim) mekanizması 3 hidroksil grubunun devinim olasılığına bağlı iken, glukoz kalıntıları arasındaki glukozidik oksijen hareketsiz kalır. Tam kuru halde odundaki selüloz makromolekülleri ikincil kuvvetlerle birbirine bağlıdır (Şekil 19a). Bu kuvvetler elektromanyetik alanın etkisi altında molekül dipollerinin yerdeğişimini önler. Rutubetlendirme işlemi, selülozun molekülleri arasında su moleküllerinin penetrasyonuna neden olur ve böylece enine bağların zayıflamasına yol açar (Şekil 19b). Bu durum dipollerin hareket yeteneğinin artışına neden olur.



Şekil 19. Selülozün moleküler bağları üzerine rutubet miktarının etkisi. (a) İkincil kuvvetlerle bağlı selüloz makromolekülleri; (b) Su molekülleri tarafından zincirler arası bağların kırılması [10].

Odun rutubetinin %1 artışıyla birlikte, selüloz molekülündeki herbir 10. glukoz halkası ve herbir 30. OH grubu 1 molekül suyu kabul eder. %3'e eşit bir rutubet miktarında herbir 10. OH grubu doyurulacaktır. % 5 rutubet miktarına kadar (20 °C'de) odunda mevcut monomoleküler suyun odunun dielektrik özellikleri üzerine etkisi önemsizdir. Bu iki şekilde açıklanabilir: Bu aşamada odun ile su arasındaki hidrojen bağlarının yüksek dirence sahip olması ve odundaki rutubet miktarının nispeten küçük olması. Bununla beraber, sıcaklığın artışıyla birlikte 20-10³ Hz frekans sınırlarında % 5 rutubete kadar odunun dielektrik özelliklerinde artış gözlenir. Bu suyun iletkenliğindeki artışa atfedilir.

Rutubet miktarı %5'den %15-23'e kadar arttığında, yani adsorpsiyon bölgesinde, dielektrik sabiti değeri büyük ölçüde artar ve kayıp tanjantı değerinde ani bir artış meydana gelir. Bu artış özellikle düşük frekanslarda olmak üzere bütün frekanslarda meydana gelir. Düşük frekanslarda bu artışa doğru akım iletkenliği katkıda bulunurken, yüksek frekanslarda bu artışa dipol sayısındaki artış ve dipol ve iyon relaksasyon kutuplaşması katkıda bulunur.

Kapiler-kondense rutubet kayıp tanjantını artırır. Ancak bunun etkisi adsorpsiyon rutubetinin etkisinden daha az belirgin ancak serbest rutubetin etkisinden daha büyüktür.

Serbest rutubet de ayrıca, odunun dielektrik özelliklerini artırır ve bu artış odundaki mevcut miktarıyla orantılıdır. LDN rutubet miktarının üzerinde serbest su molekülleri hücre çeperi maddesi ve bağlı sudan bağımsız olarak mikrodalga alanıyla etkileşim halindedir. Torgovnikov [10] taze kesilmiş ağaçtan elde edilen rutubetin özelliklerinin saf suyunkinden farksız olduğunu belirtmiştir. Bu yüzden 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 [27, 28, 37]. Bazı frekanslarda (10⁶ Hz) bu ilişki lineerdir. Kayıp tanjantı, 10⁸ Hz'e kadar frekans sınırlarında ve % 30'dan % 60 rutubet miktarına kadar artar. Bundan sonra odun rutubetinin % 100 kadar artışı pratik olarak kayıp tanjantını etkilemez. Daha yüksek frekanslarda (3x10⁸ Hz'den 10¹⁰ Hz'e kadar frekanslarda) %30'dan %100 kadar rutubet miktarındaki artış LDN daki odunun ve suyun kayıp tanjantı değerine bağlı olarak kayıp tanjantı değerini artırır veya azaltır.

Sıcaklıktaki artışla birlikte 5×10^9 Hz' e kadar frekanslarda serbest suyun dielektrik sabiti 20°C 'de 78'den, 95°C 'de 50'ye kadar azalır, ki bu rutubetli odunun dielektrik sabitini azaltır. 10^{10} Hz ve daha yüksek frekanslarda suyun dielektrik sabiti değeri sıcaklığın artışıyla artar, ki bu rutubetli odunun dielektrik sabitinde artışa neden olur. 20°C de serbest suyun maksimum kayıp tanjantı değerine 6×10^{10} Hz frekansında rastlanır ve 1.77'ye eşittir. Su yüksek kayıp tanjantı değerine sahip olduğu için, %30 rutubet miktarının üzerinde odunun kayıp tanjantı üzerindeki payı büyüktür ve odunun maksimum kayıp tanjantı 6×10^{10} Hz civarındaki frekansta olması beklenir. Bununla beraber, %30'un üzerinde kayıp faktörünün maksimum değeri 20°C ' de 1.5×10^{10} Hz ve 40°C de 2.4×10^{10} Hz frekansta bulunur.

%10'un üzerinde rutubet miktarına sahip odun düşük frekanslarda (10^4 Hz'e kadar) aşırı derecede büyük dielektrik sabiti ve kayıp tanjantına sahiptir. Bu, elektrik alanının etkisi altında odunun kutuplaşma yeteneği ve rutubetli odunun yüksek elektrik iletkenliğinden kaynaklanır. Düşük rutubet miktarlarında elektriksel iletimde esas rol kutuplaşma mekanizmasına, yüksek rutubet miktarlarında ise iyonik iletime atfedilir. Düşük ve yüksek rutubet miktarları arasında elektriksel iletim arasındaki bu farklılık rutubet adsorpsiyon mekanizması ile ilgilidir [39, 40, 41].

Odunun elektrik iletkenliği, iyonların konsantrasyonu ve hareket yeteneğine bağlıdır. Rutubet miktarındaki artış, hem ayrılan (çözünen) iyonların miktarını hem de bunların yerdeğişim imkanı arttırır, bu da odunun iletkenliğinde artış sonucunu doğurur. James [8], rutubetli odunun iletkenliği ile selülozun amorf bölgeleri arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bu araştırmaya göre, kristal bölgeler su moleküllerini penetre edemez ve suyun bulunması durumunda bu bölgeler iletken değildirler. Buna rağmen amorf bölgeler rutubeti absorbe eder ve iletken bölge olarak rol oynarlar. Dış elektrik alanın etkisi altında, iyonlar amorf bölgelere doğru göç eder ve kristallerin yüzeylerinde toplanırlar.

Odun heterojen bir materyaldir ve dielektrik özelliklerini etkileyen faktörleri açıklamak için, odunu basitçe mikro seviyede selüloz ve odunu oluşturan diğer kimyasal yapı elemanlarından ve bağlı sudan oluşan bir madde olarak, makro seviyede ise hücre çeperi tabakaları ve kısmen veya tamamen hücre boşluklarını dolduran rutubet tabakalarından oluşan bir madde olarak modellendirmek mümkündür. Aynı zamanda odun

rutubeti tabakaları odun kitlesinden oldukça yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir. Diğer bir deyimle rutubetli odun kabaca yalıtkan tabakalarla ayrılmış iletken tabakalardan oluşan bir madde olarak düşünülebilir ve böylece çok küçük boyutlu kondansatörlerin toplamından oluşur. Bu sistemde kondansatörler paralel olarak bağlıdır ve bu da sistemin yüksek direnç kapasitesine ve yüksek dielektrik sabitine sahip olmasına yol açar.

Düşük frekanslarda odunda kendiliğinden kutuplaşma ve iyon relaksasyon kutuplaşması meydana gelir. Bu tip kutuplaşmalar, büyük relaksasyon süresi sabiti değerleri ile karakterize edilirler. LDN aşan rutubet miktarlarına sahip odunun dielektrik özellikleri üzerine bu tip kutuplaşmaların etkisi suyun iletkenlik değeriyle karşılaştırıldığında önemsiz gibi görünür.

10^4 Hz'in üzerindeki frekanslarda rutubetli odunun dielektrik özellikleri üzerine iletkenliğin etkisi tedrici olarak azalır, ancak odunun dielektrik parametreleri iyon relaksasyon kutuplaşması ve dipol relaksasyon kutuplaşmasının rolüyle artar. 10^8 Hz'in üzerindeki frekanslarda relaksasyon kayıpları doğru akım iletkenliğinden kaynaklanan kayıpları aşar. Bununla beraber, odunun dielektrik özellikleri üzerine farklı tür kutuplaşmanın etkisini ve doğru akım iletkenliğinin etkisini sayısal olarak tahmin etmek mümkün değildir.

Negatif sıcaklıklarda odunun dielektrik özellikleri güçlü bir şekilde rutubet miktarına bağlıdır. -50 °C'de ve LDN üzerindeki rutubet miktarında odunda hala %12 oranında donmamış su bulunur (bu su bağlı suyun bir kısmıdır). Odunda geri kalan suyun tümü buz şeklindedir. Sıcaklığın artışıyla birlikte çözünme miktarına bağlı olarak, bağlı suyun miktarı artar. Yaklaşık -1 °C sıcaklıkta bağlı su tamamen erir. 0 °C ye kadar sıcaklığın artışıyla birlikte serbest su tamamen çözünür. Sıcaklıktaki değişimle birlikte buz ve donmamış su oranı sabit bir şekilde değişir. Serbest su orijinli buz bölünmüş kristal bir yapıya sahiptir. Bu kristallerin yüzeyinde bir miktar su, daima ince bir film halinde mevcuttur. Bu su filmlerinin dielektrik özellikleri buzun dielektrik özelliklerinden farklıdır. Hücre çeperi maddesi, donmamış ve bağlı su ve monomoleküler su filmlerinin hepsinin dielektrik özellikleri farklıdır. Negatif sıcaklık bölgelerinde sıcaklıktaki artışla birlikte, %30 rutubet miktarına kadar dielektrik sabitinde sürekli bir artış meydana gelir. Dielektrik sabiti 0 °C sıcaklığa gelindiğinde ani bir değişime uğramaz. Buna rağmen %30 rutubet

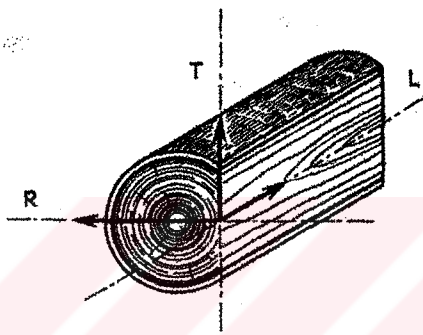
miktarının üzerinde serbest su dolayısıyla 0°C' de dielektrik sabitinde ani bir artışa neden olur. Donmuş, rutubetli odunun dielektrik özellikleri üzerinde doğru akım iletkenliğinin etkisi pozitif sıcaklıklardaki etkisinden bir derece daha düşüktür ve böylece kutuplaşma mekanizmaları 10^4 Hz'in üzerinde esas rolü oynarlar. Donmuş odun bileşenlerinin kayıp faktörlerinin maksimum değerlerine farklı frekans sınırlarında rastlanır.

Dipol moleküllerden oluşan maddelerdeki dielektrik relaksasyon mekanizması, moleküllerin (grupların) önce belirli geçici denge pozisyonlarına ve sonra hızlı ve ani devinim hareketlerinin kombinasyonu ile elektrik alan yönüne göre yeni bir denge pozisyonuna geçişidir. Böyle bir denge pozisyonuna geçiş işlemi, çevresindekilere nispetle moleküllerin pozisyonlarındaki değişim nedeniyle oluşur. Moleküllerin (grupların) bu yer değişimi işleminde bu denge pozisyonlarını ayıran enerji bariyerlerinin aşılması için aktivasyon enerjisi harcanır [23]. Dipol relaksasyonunun bu serbest aktivasyon enerjisi, dielektrik relaksasyon süresinin en olası zamanına eşit olup bunun değeri dielektrik kaybının maksimum değerine rastlanılan frekansa bağlıdır. Tam kuru ve rutubetli odunun dielektrik relaksasyon mekanizmasını karakterize eden esas enerji faktörü, aktivasyon enerjisidir. Jinzhen [42], rutubet miktarı dengesiz durumda iken odunun dielektrik özelliklerini moleküler seviyede incelemiş ve aynı rutubet miktarında dengesiz durumdan absorbe suyun aktivasyon enerjisinin denge durumundakinden daha düşük olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle aynı şartlar altında dengeli bir rutubete sahip odunun dielektrik özellikleri dengesiz durumdakinden daha yüksek olacaktır [42].

Tam kuru ve rutubetli odun için $\ln \tau$ nin $1/T$ bağımlılığı lineer karaktere sahiptir. Norimoto [18] 'ya göre, -69 ile +53 °C sıcaklık sınırlarında çeşitli tam kuru odun türlerinin ΔE aktivasyon enerjisi 32.3 ile 42.7 kJ/mol arasında değişir. Liflere paralel yöndeki aktivasyon enerjisi liflere dik yöndekinden %13 daha büyüktür. 0-5 °C arasında buzun aktivasyon enerjisi 42.7-57.8 kJ/mol'dür. Ayrıca, 0-100 °C arasında serbest suyun aktivasyon enerjisi 13.4-21.4 kJ/mol arasında değişir. Çeşitli araştırmaların sonuçlarına göre, % 6-16 rutubet miktarlarında -40 ile 80 °C arasında farklı odun türlerinin aktivasyon enerjisi 34-59 kJ/mol arasında değişir ve ortalama olarak 55 kJ/mol'dür ve bu buzun ΔE aktivasyon enerjisine yakındır.

1.5.5. Odunun Heterojen Yapısının Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi

Odunun dielektrik davranışındaki heterojenlik, odunun makroskopik yapısının yanında mikroskopik ve moleküler yapısından kaynaklanır. Odun yıllık halkalarla bağlantılı olarak teğet (T), radyal (R) ve liflere paralel (L) yön olmak üzere 3 yapısal simetri düzlemine sahiptir (Şekil 20). Eğer odunun dielektrik özellikleri bir yönle ilişkili olarak tanımlanacaksa (örneğin radyal yön), elektrik alan şiddeti vektörü aynı yönde (radyal yön) yönelmiş olmalıdır.



Şekil 20. Odunun 3 ana lif yönü. L, liflere paralel yön; R, radyal yön; T, teğet yön

Böylece elektrik alanının elektrik alan şiddeti vektörünün odun heterojenliğinin L, R ve T simetri düzlemleriyle α_1 , α_2 , α_3 , açılarıyla yaptığı herbir keyfi yönü için dielektrik sabiti ϵ_x' ve kayıp tanjantı $\tan \delta_x$ değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$\epsilon_x' = \epsilon_L' \cos^2 \alpha_1 + \epsilon_R' \cos^2 \alpha_2 + \epsilon_T' \cos^2 \alpha_3 \quad (14)$$

$$\tan \delta_x = \tan \delta_L \cos^2 \alpha_1 + \tan \delta_R \cos^2 \alpha_2 + \tan \delta_T \cos^2 \alpha_3 \quad (15)$$

Deneysel verilerin analizi için simetrisinin ana eksen yönlerinde odunun dielektrik parametreleri arasındaki ilişkileri aşağıdaki katsayılarla karakterize etmek mümkündür.

$$\begin{aligned} k_1 &= \epsilon_{//}' / \epsilon_{\perp}' & k_{1(R/T)} &= \epsilon_R' / \epsilon_T' \\ k_2 &= \tan \delta_{//} / \tan \delta_{\perp} & k_{2(R/T)} &= \tan \delta_R / \tan \delta_T \\ k_3 &= \epsilon_{//}'' / \epsilon_{\perp}'' & k_{3(R/T)} &= \epsilon_R'' / \epsilon_T'' \end{aligned} \quad (16)$$

Eğer radyal ve teğet yönlerdeki dielektrik parametreleri arasındaki fark önemsiz ise $\epsilon_{//}$ ve $\tan\delta_{//}$ değerleri k_1 ve k_2 katsayılarıyla aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$\begin{aligned}\epsilon_{//}' &= k_1 \epsilon_{\perp}' \\ \tan\delta_{//} &= k_2 \tan\delta_{\perp}\end{aligned}\quad (17)$$

Böylece (14) ve (15) eşitlikleri aşağıdaki duruma indirgenebilir:

$$\epsilon_x' = \epsilon_{\perp}' (k_1 \cos^2\alpha_1 + \sin^2\alpha_1) \quad (18)$$

$$\tan\delta_x = \tan\delta_{\perp} (k_2 \cos^2\alpha_1 + \sin^2\alpha_1) \quad (19)$$

Burada, α_1 : Elektrik alan şiddeti ile liflere paralel eksen (L) arasındaki açıdır.

Odunun üç lif yönündeki dielektrik özelliklerinde değişiklikler bulunduğu bilinmektedir. Tam kuru ve rutubetli odunun liflere paralel yöndeki dielektrik özellikleri liflere dik yönden genelleştirilerek 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 [7, 27, 28].

Bu üç lif yönündeki farklılık odunun makroskopik, mikroskopik ve moleküler yapısıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Bu problemin çözümüne Norimoto ve Yamada [18, 19, 23] detaylı çalışmaları ile oldukça büyük katkıda bulunmuşlardır ve bu problemi odunun makroskopik ve moleküler yapısını birlikte ele alarak odun maddesi dipollerinin dielektrik relaksasyon mekanizmalarıyla bağlantılı olarak çözmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalara göre, liflere paralel, teğet ve radyal yöndeki dielektrik özellikler arasındaki farklılık hücre çeperi maddelerinin heterojenliğine ilaveten hücre çeperi lümeni ve düzenindeki farklılığa atfedilir [43]. Liflere paralel yönde dielektrik özelliklerin daha yüksek olması Norimoto ve Yamada [23] 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 [19], ayrıca dielektrik heterojenliğe kimyasal bileşiklerinin dielektrik özelliklerin neden olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmaya göre, odunun dielektrik özelliklerinin liflere

paralel yönde büyük ölçüde selüloz ve mannamin 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 [28].

Yalnızca optikal ve infrared kutuplaşmaların dielektrik özelliklere neden olduğu çok yüksek frekans bölgelerinde odunun dielektrik heterojenliği yalnızca makroskopik yapıdan kaynaklanır ve liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yöndekine eşittir. Diğer yandan dipol hareketinden kaynaklanan relaksasyon kutuplaşmasının dielektrik özellikler üzerinde etkili olduğu frekans sınırlarında dielektrik özellikler moleküler yapıya bağlıdır ve liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yönden daha büyüktür.

Norimoto vd. [43], ayrıca bu üç yöndeki farklılığın yaz odunu yüzdesi, hücre çeperi alanının hücre alanına oranı ve hücre düzenine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Traheler, traheidler ve lifler tomruk eksenine boyunca yönelmişlerdir. Norimoto [18]'e göre, yumuşak odunu hücrelerinin radyal çeperlerinde mikrofibrillerin hücre eksenine yaptıkları mikrofibril açısı ilkbahar odununda 23.5° - 35.6° ve yaz odununda 4.2° - 14.2° 'dir. Hücrelerin teğet çeperlerinde ise 12.5° - 28.5° ve yaz odununda 8.5° - 19.7° 'dir. Lif açısı azaldıkça dielektrik özellikler yükselir [19]. 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 [43]. Odunun yoğunluğunun artışıyla birlikte polar grupların sayısı artacağından doğrudan dielektrik özelliklerde artış gözlenir.

1.6. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özellikleri

Odun, mekanik, fiziksel ve biyolojik dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli kimyasal maddelerle işleme tabi tutulur. Yüksek frekans elektromanyetik alanlar ve mikrodalgaların kullanımı ile odun modifikasyon işleminin geliştirilmesi ve odun kökenli malzemelerin kalitelerinin artırılması sağlanabilir. Örneğin, bu yöntemler kullanıldığında odun-polimer kompoziti üretiminde klasik yöntemlerle saatler alan polimerizasyon

işleminin dakikalara düşmesi sağlanabilir. Ayrıca kimyasal maddenin odun hücre çeperiyle etkileşimi hakkında yargıya varılabilir. Emprenye işlemi sonucunda odun özelliklerindeki değişim, kullanılan kimyasal maddelerin hücre boşluklarına penetrasyonu ile hücre boşluk hacminin azalması veya hücre çeperlerine kimyasal maddenin penetrasyonu ile hücre çeperi ile bağ yapması ve odundaki polimer yapının değişmesi şeklinde ortaya çıkar. Emprenye işleminde odunda kimyasal maddelerin yerleşimi, kullanılan kimyasal maddenin yapısına ve emprenye yöntemine bağlıdır.

Prensip olarak, bir homopolimerin dielektrik özellikleri karışımı oluşturan bireysel bileşenlerin dielektrik özellikleri ve onların kompozitin birim hacmindeki nispi miktarı ile belirlenir. Eğer bir malzemenin bünyesine verilen madde, malzeme içinde kendi kimyasal yapısını değiştirmezse kompozitin dielektrik sabiti kompozit içinde bulunan en düşük ve en yüksek dielektrik sabiti değerleri arasında yer alır. Bu nedenle bir malzemeye kendi dielektrik özelliklerinden düşük bir dielektrik özelliğe sahip maddenin ilave edilmesi yeni oluşan kompozitin dielektrik sabitini düşürecektir [4, 44, 45]. Bundan yola çıkarak, karışım olarak emprenyeli odunu ele aldığımızda, emprenye işlemi sonucu odunun dielektrik özelliklerindeki değişim, kullanılan kimyasal maddenin yapısı, dielektrik özellikleri ve odun içindeki nispi miktarı ve hücre çeperi içerisindeki durumu sonunda ortaya çıkacaktır. Tablo 11'de, odun için kullanılan bazı kimyasal modifikasyon maddelerinin dielektrik karakteristikleri verilmektedir [10].

Poliszko ve Hoffmann [45] polistirenin odun hücre lümeni ve çeperi içindeki durumunu açıklığa kavuşturmak amacıyla odun-polistiren kompozitinin dielektrik özelliklerini 420 Hz- 10 kHz frekans ve 100-450 °K sıcaklık sınırlarında incelemişlerdir. Bu çalışmada, polistirenin dielektrik özelliklerinin normal odunun dielektrik özelliklerine benzer olmasına rağmen, odun-polistiren kompozitinin dielektrik özelliklerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bundan yola çıkarak, modifikasyon işlemi esnasında polistirenin odun hücre çeperine penetre olduğu ve amorf bölgelerinin yapısını değiştirdiği sonucu çıkartılmıştır. Relaksasyon mekanizmasında rol oynayan birim hacimdeki polar grupların artışı dahil bu değişimlerin karakteri, kompozitin odun maddesini genişletmesine bağlanmıştır.

Tablo 11. Bazı kimyasal modifikasyon maddelerinin dielektrik özellikleri
($f=10^6$ Hz ve $t=20$ °C)

Modifikasyon maddesi	ϵ'	$\tan\delta$
Polyacrylonitrile	4.2	0.03
Polivinil asetat	3.1	0.0045
Polivinil klorür	3.2 - 3.3	0.018 - 0.019
Polimetil metakrilat	2.6 - 3.8	0.02 - 0.03
Polistiren	2.5 - 2.6	0.0002 - 0.0004
Polietilen	2.2 - 2.3	0.0002
Polyester reçinesi	2.8 - 5	0.010 - 0.045
Furan reçinesi (sertleştirilmiş)	3.5 - 6	0.008 - 0.0185
Epoksit reçinesi (sertleştirilmiş)	3.5 - 6	0.01 - 0.03

Modifiye edilmiş odunun dielektrik özellikleri yalnızca polimerin kimyasal bileşiminden değil ayrıca onun yapısından da etkilenir. Örneğin, polietilenin dielektrik sabiti yoğunluğuna bağlıdır. Polietilenin yoğunluğundaki değişimle birlikte, dielektrik sabiti 2.2 den 2.45'e kadar değişir ve pratik olarak 50 ile 10^{10} Hz frekans sınırlarında aynıdır. Düşük moleküler ağırlığa sahip polietilenin kayıp tanjantı, yüksek moleküler ağırlığa sahip polietileninkinden daha yüksektir. Polietilenle muamele edilmiş odunun dielektrik sabiti değeri, muamele edilmemiş odun veya polietilen maddesinin dielektrik sabiti değerinden daha yüksektir. Bu, kısmen odun kapillerlerini dolduran havanın polietilen ile yer değiştirmesi ile açıklanabilir. Havanın (boşluğun) dielektrik sabiti değeri polietileninkinden daha düşüktür ve böylece kompozitin dielektrik sabiti artar. Ayrıca hücre çeperi maddesi tabakaları (miselleri) arasına polietilen tabakaları meydana gelir ve böylece sistem paralel bağlı birçok kapasitörden oluşan bir devre haline gelir. Böylece kondansatör sisteminin kapasitesi artar, ki bu kompozitin dielektrik karakteristiklerinde önemli bir artışa neden olur [10]. Polietilen ile muamele edilmiş odunun lif yönü ve frekansa bağlı olarak dielektrik özellikleri Tablo 12' de verilmektedir.

Odunun stiren, metil metakrilat, polimetil metakrilat ve akrilonitril ile modifikasyonu işleminde kimyasal madde tutunma miktarının (retensiyon) artışıyla birlikte dielektrik sabiti artar. Dielektrik sabiti değeri frekansın artışıyla birlikte azalır. Stiren ile modifiye edilmiş odunun kayıp tanjantının maksimum değerine (retensiyon = %54) muamele edilmemiş odununkiyle aynı frekansta rastlanır. Ancak metil metakrilat ile modifiye edilmiş odun için daha yüksek frekansta rastlanır. Ayrıca, bu durumda kayıp

tanjantının ortalama değeri daha düşüktür. Ayrıca stiren veya metil metakrilat gibi odunu genişleten bir kimyasal modifikasyon maddesi olan etanol ile odunun muamelesi ile kayıp tanjantının maksimum değeri azalır. Bunun nedeni, hücre çeperine verilen monomerin sonucu olarak odun dipollerinin relaksasyon süresinde artış olmasıdır. Metil metakrilat ile modifiye edilen odunun kayıp tanjantının frekans bağımlılığı liflere paralel ve liflere dik yönde benzerdir, ancak liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı değerleri daha yüksektir (Glukhov vd. 1973).

Tablo 12. 0.86 gr/cm³ özgül ağırlığa sahip düşük moleküler ağırlıklı polietilen ile muamele edilmiş huş odununun (δ_0 : 0.605 gr/cm³) dielektrik özellikleri

Odun		Muamele edilmemiş	Muamele edilmiş	Muamele edilmemiş	Muamele edilmiş	
Rutubet miktarı (%)		0	0	7	3.5	
Frekans (Hz)	50	ϵ'_{\perp}	2.22	2.92	3.0	-
		$\tan\delta_{\perp}$	0.0084	0.0064	0.0031	-
		ϵ'_{\parallel}	2.96	4.28	6.24	5.54
		$\tan\delta_{\parallel}$	0.0115	0.0172	0.263	0.112
	10^5	ϵ'_{\perp}	2.1	2.94	3.0	3.6
		$\tan\delta_{\perp}$	0.02	0.02	0.02	0.02
		ϵ'_{\parallel}	2.56	3.82	4.0	5.1
		$\tan\delta_{\parallel}$	0.029	0.038	0.04	0.04
	10^6	ϵ'_{\perp}	2.1	2.88	3.0	3.5
		$\tan\delta_{\perp}$	0.0258	0.0273	0.0350	0.0335
		ϵ'_{\parallel}	2.52	3.6	3.85	3.9
		$\tan\delta_{\parallel}$	0.0467	0.0526	0.0595	0.05
	10^7	ϵ'_{\perp}	2.0	2.76	2.9	3.46
		$\tan\delta_{\perp}$	0.026	0.03	0.06	0.05
		ϵ'_{\parallel}	2.47	3.4	3.7	4.6
		$\tan\delta_{\parallel}$	0.048	0.058	0.089	0.075

Polimerlerle odunun modifikasyonu dipol relaksasyon kutuplaşmasının aktivasyon enerjisini artırır [10, 45]. Dielektrik sabiti değeri tam kuru odunun dielektrik sabitinden daha yüksek olan polyester reçinesi ile odunun modifikasyonu dielektrik özelliklerde artışa neden olur. Oleknovich vd. (1974) tarafından yapılmış bir çalışmanın sonuçlarını gösteren, polyester reçinesi ile modifiye edilmiş huş odununun yüksek frekans sınırlarında dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı değerleri Tablo 13’de verilmektedir. Buna göre, 10^5 - 10^7 Hz frekanslarında polyester reçinesi ile modifiye edilmiş odunun liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yönden %10-17 ve kayıp tanjantı %50-70 daha yüksektir. Polyester reçinesi ile modifiye edilmiş odunun dielektrik parametresi değerleri reçine ve odunun dielektrik değerleri arasında yer alır. Reçinenin sertleştirilmesi işleminde materyalin dielektrik özellikleri değişir [10].

Tablo 13. Reçine ile muamele edilmiş huş odununun dielektrik özellikleri
($t=20$ °C, $r=$ %5-6, $\delta_0= 1.1$ gr/cm³)

Frekans (Hz)				
	10^5	10^6	10^7	2.4×10^9
ϵ'_{\perp}	4.4-4.6	4.1-4.3	4-4.1	2.43
$\tan\delta_{\perp}$	0.023-0.026	0.032-0.035	0.046-0.049	0.038
ϵ'_{\parallel}	5-5.4	4.7-5.0	4.4-4.7	2.9
$\tan\delta_{\parallel}$	0.039-0.043	0.055-0.060	0.068-0.074	0.057

Fenol formaldehit reçineleri hücre çeperlerine penetre olur ve onların fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirir (Oleknovich vd. 1976). Bu polimer moleküllerinde OH gruplarının bulunmasından kaynaklanan belirgin bir polariteye sahiptirler. 20° C sıcaklıkta ve 10^2 - 10^{10} Hz frekans sınırlarında reçinenin dielektrik sabiti 4.1-4.8 arasında ve kayıp tanjantı 0.010-0.028 arasında değişir. Tablo 14’ de tam kuru odun ağırlığına oranla %20-25 reçine miktarına sahip fenol formaldehit ile modifiye edilmiş huş odununun dielektrik özellikleri verilmektedir. Reçine miktarının %20’den %32’e yükselmesiyle birlikte dielektrik sabiti değeri % 2-7 ve $\tan\delta$ değeri % 2-15 artmıştır. Reçine miktarının %20’den % 62-65’e artışıyla birlikte dielektrik sabiti %13-17 ve kayıp tanjantı %4-31 artmıştır. Frekansın 10^3 ’ ten 2.3×10^7 Hz’e kadar yükselmesiyle birlikte fenol formaldehit ile modifiye

edilmiş odunun dielektrik sabiti devamlı olarak azalırken, kayıp tanjantı lineer olarak artar. Odunda reçine oranının artışıyla birlikte liflere dik ve liflere paralel yöndeki dielektrik özellikleri arasındaki fark azalır.

Tablo 14. Fenol formaldehit reçinesi ile modifiye edilmiş odunun dielektrik parametreleri ($t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Reçine oranı (%)		0	20	32	62-65	12.5	
Rutubet miktarı (%)		0	5-6	5-6	5-6	5-6	
Frekans (Hz)	10^3	ϵ'_{\perp}	2.37	2.62	2.75	-	-
		$\tan\delta_{\perp}$	0.009	0.020	0.023	-	-
		ϵ'_{\parallel}	2.90	3.57	3.64	-	-
		$\tan\delta_{\parallel}$	0.015	0.036	0.038	-	-
	2.5×10^6	ϵ'_{\perp}	2.08	2.28	2.37	2.82	-
		$\tan\delta_{\perp}$	0.027	0.029	0.033	0.038	-
		ϵ'_{\parallel}	2.56	3.0	3.22	3.40	-
		$\tan\delta_{\parallel}$	0.049	0.050	0.051	0.052	-
	2.3×10^7	ϵ'_{\perp}	1.88	2.21	2.32	2.8	-
		$\tan\delta_{\perp}$	0.036	0.038	0.042	0.046	-
		ϵ'_{\parallel}	2.35	2.83	3.03	3.38	-
		$\tan\delta_{\parallel}$	0.054	0.056	0.058	0.061	-
2.4×10^9	ϵ'_{\perp}	-	-	-	-	2.5	
	$\tan\delta_{\perp}$	-	-	-	-	0.047	
	ϵ'_{\parallel}	-	-	-	-	2.9	
	$\tan\delta_{\parallel}$	-	-	-	-	0.064	

Klotinj ve Darsinsh (1983), amonyakla modifiye edilmiş odunun dielektrik özelliklerini incelemiştir. Deneyler $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve 0.8-20 MHz frekansında, %15 rutubet miktarına sahip odunun radyal yönünde gerçekleştirilmiştir. Amonyak miktarındaki artışın odunun dielektrik özellikleri üzerinde önemli bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Amonyakla modifiye edilmiş odunun dielektrik özelliklerindeki artış odun

içindeki suda amonyak gazının çözünmesi ve amonyum hidroksitin oluşması olarak gösterilmiştir. Çünkü amonyum hidroksitin oluşması hem odunun iyonik iletkenliğini hem de yapısal kutuplaşmayı artırır. Odunun amonyakla muameleyi takiben kurutularak basınca maruz bırakılması ile plastikleştirilmiş odun elde edilir ve bu yeni materyale lignamon adı verilir. Plastikleştirilmiş odun normal oduna göre hem liflere paralel yönde hemde liflere dik yönde daha yüksek dielektrik özelliklere sahiptir. Ayrıca özgül ağırlığının ve rutubet miktarının artışıyla birlikte plastikleştirilmiş odunun dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı artar. Tablo 15’de farklı özgül ağırlıktaki huş odunundan elde edilen lignamonun 50 Hz de dielektrik sabiti ϵ' ve kayıp tanjantı $\tan\delta$ değerleri verilmiştir.

Tablo 15. Amonyak ile plastikleştirilmiş ve basınçla muamele edilmiş huş odununun dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı ($f= 50$ Hz ve $t=20^{\circ}\text{C}$)

Rutubet Miktarı (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	ϵ_{\perp}	$\tan\delta_{\perp}$	ϵ_{\parallel}	$\tan\delta_{\parallel}$
0	0.75	2.6	0.07	3.9	0.08
0	1.02	4.9	0.08	4.9	0.09
0	1.2	6.1	0.10	5.8	0.11
0	1.31	6.2	0.10	6.2	0.12
27.2	0.75	7.1	0.12	7.9	0.11
26.0	1.02	8.0	0.14	8.2	0.12
23.5	1.2	8.5	0.13	8.9	0.13
21.3	1.31	9.1	0.13	9.1	0.13

Brelid vd. [46, 47] çam odununu asetik anhidridle muamele ederek, asetillendirilmiş çam odunun dielektrik özelliklerini (2.7 GHz , % 6 rutubet miktarında ve 20-100 °C sıcaklıkta) incelemişlerdir. Bunların sonuçlarına göre, asetillendirilmiş odunun dielektrik özellikleri normal odundan daha yüksek, asedik anhidridin dielektrik özelliklerinden daha düşüktür. Ayrıca sıcaklığın artışıyla birlikte asetillendirilmiş odunun dielektrik özellikleri düşer. Bu nedenle enerji absorpsiyonunun daha az ısıtılmış kısımlarda meydana geleceği ve bu nedenle mikrodalgalarla asetilasyonda ısı dağılımının daha üniform olacağı belirtilmiştir.

1.7. Mikrodalga Frekanslarda Odunun Dielektrik Özelliklerinin Pratik Uygulamaları

Odunun dielektrik özellikleri doğal haldeki ve çeşitli kimyasal maddelerle muamele edilmiş odunun kurutulması, ısıtılması, tutkallanması vb. işlemlerin yanında bu malzemelerin çeşitli özelliklerinin ölçülmesiyle bağlantılı bütün hesaplamalarda kullanılırlar. Bu parametreler, odunun rutubet miktarı, özgül ağırlığı, odun türü, lif yönünün yanısıra sıcaklığa ve frekansa bağlıdır. Elektromanyetik alan ve odun arasındaki etkileşim sonucu ortaya çıkan dielektrik özelliklerin pratik uygulamaları iki şekilde ele alınabilir.

1. Odunun kurutulması, ısıtılması, tutkallanması açısından,
2. Odunun rutubet miktarı ve özgül ağırlığı gibi fiziksel özelliklerinin ve lif sapması, budaklar, çatlaklar vb. kusurlarının belirlenmesi amacıyla yönelik ölçüm aletlerinin tasarım ve geliştirilmesi açısından.

Son 20 yıldır odunun ısıtılması, kurutulması, tutkallanması vb. işlemlerinde mikrodalgaların kullanılması diğer yöntemlere alternatif olarak gelişmeye başlamıştır ve birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmalar mikrodalga frekanslarda [48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59] ve radyo frekanslarında [60, 61, 62, 63, 64, 65, 66] gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga enerji ile odun arasındaki etkileşimi açıklığa kavuşturmak gelecekte mikrodalga teknolojisinin bu endüstri kolunda yaygın kullanımı ve bu işlem sırasında karşılaşılabilecek problemlerin çözümü için anahtar görevi görecektir. Mikrodalgalar elektromanyetik bakış açısından 300 MHz ile 300 GHz arasında frekansa bağlı olarak dalga boyları 1 mm'den 1 m' ye kadar değişen elektromanyetik dalgalarıdır. Mikrodalga ısıtma için Federal Haberleşme Komisyonu tarafından endüstriyel, bilimsel ve tıbbi (ISM) amaçları için kullanılacak frekanslar belirlenmiştir. Odunun kurutulması, ısıtılması vb. işlemlerde en çok kullanılan frekanslar 0.915 (dalga boyu: 0.328 m) –2.45 GHz (dalga boyu: 0.122 m) frekanslarıdır. Bugün 0.9 dan 18 GHz sınırlarındaki frekans sınırlarında işlem gören mikrodalga fırınlar malzemelerin işlenmesi amacıyla geliştirilmektedir [44, 48, 49, 51, 52, 61].

Odunun klasik yöntemlerle kurutulması işlemlerinde ısı enerjisi dış yüzey tarafından penetre edilerek dış yüzeyden iç kısma doğru yayılır ve uzun zaman alan bir işlemdir. Ayrıca kurutma dışardan içeriye doğru olduğundan kurutma kusurlarının olma riski çok fazladır. Mikrodalga ısıtmada ise klasik kurutmanın aksine mikrodalga enerji doğrudan odunun içine transfer edilir, moleküller tarafından absorbe edilir ve ısıya dönüşür. Böylece mikrodalga ısıtma elektromanyetik enerjinin ısı enerjisine dönüşümüdür. Enerji dönüşümündeki bu farklılık odunun işlenmesi için mikrodalgaların kullanımını cazip hale getirmektedir. Mikrodalgalar oduna penetre olduğu ve enerji verdiği için hacimsel ısıtma sağlanır. Böylece kalın malzemelerde hızlı ve üniform ısıtma sağlanabilir. Hacimsel ısıtmaya ek olarak, moleküler seviyede ısı transferi bazı avantajlara sahiptir. Mikrodalgalar sayesinde seçici ısıtma söz konusudur. Moleküler yapı önceki bölümde bahsedildiği üzere mikrodalgaların odun ile etkileşim yeteneğini ve enerji transferini etkiler. Rutubetli odun gibi heterojen yapıli malzemeler içindeki moleküller farklı dielektrik özelliklere sahip olduklarından (su vb.) ve mikrodalgalar seçici olarak yüksek kayıpli moleküllerle etkileşime gireceklerinden seçici bir kurutma sağlanabilir. Odunun ısıtılması esnasında, mikrodalgaları azaltan anahtar madde sudur çünkü su yüksek dielektrik geçirgenliğe sahiptir. Mikrodalga elektrik alanı su dipollerinin devinimine ve odun içindeki sıcaklığın artmasına yol açar. Böylece hızlı, üniform kurutma ve böylece yüksek ürün kalitesi elde edilebilir. Odunun mikrodalgalarla tutkallanması sırasında tutkal çözeltisinin dielektrik kayıpları oduna göre çok yüksek olduğundan tutkal hattı odundan çok daha hızlı ısınmaktadır [44, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 61, 62, 68, 69].

Bir malzemenin elektromanyetik alan içindeki davranış teorisi (1.2) bölümünde irdelenmiştir. Mikrodalga-odun etkileşiminin fiziği yani odun dielektrik özellikleri mikrodalga işlemlerinde en önemli faktördür. Bir malzemenin mikrodalgalara cevabının onun kutuplaşma yeteneği belirler. Mikrodalga frekanslarda odunda moleküler seviyede enerji transferi için en önemli mekanizma dipol kutuplaşmadır. Moleküler dipollerle mikrodalgaların etkileşimi dipollerin devinimiyle meydana gelir ve enerji bu devinime karşı meydana gelen içi dirençten dolayı oluşan ısı şeklinde yayılır. Aşağıda mikrodalga malzeme etkileşiminde enerji absorpsiyonunu belirleyen prensipler verilmektedir. Belirli bir malzemede oluşturulan ısı esas olarak 3 değişkene bağlıdır: Uygulanan elektrik alanı şiddeti, frekans ve maddenin dielektrik kayıp faktörü [53, 54].

Mikrodalga dielektrik özellikleri, yani dielektrik sabiti, elektrik alanının etkisi altında malzemenin kutuplaşabilme yeteneğini ve kayıp faktörü ise ısıya dönüşen enerji miktarının bir ölçüsüdür. Odunun belirli bir hacminde absorbe edilen, ısı (P) olarak yayılan, ortalama güç (W/m^3) aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir [14, 44, 47, 48, 62, 67].

$$P = 2 \pi f \epsilon_0 \epsilon'' E^2 \quad (20)$$

yani,

$$P = (5.56 \times 10^{-11}) E^2 f \epsilon'' = (5.56 \times 10^{-11}) E^2 f \tan \delta \epsilon' \quad (21)$$

Burada; f frekans (Hz) ve E elektrik alan şiddeti (V/m), ϵ_0 : boşluğun dielektrik sabiti [$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ As/Vm], ϵ'' : kayıp faktörü, ϵ' : dielektrik sabiti, $\tan \delta$: kayıp tanjantıdır.

Elektromanyetik alanın etkisi altında malzemenin ısınma hızı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$dT/dt = [5.56 \times 10^{-11} f \epsilon' \tan \delta E^2] / [\delta_0 C_p] \quad (22)$$

Burada, δ_0 : Odunun tam kuru özgül ağırlığı (kg/m^3), C_p : Odunun ısı kapasitesi (J/kg.K), T: sıcaklık ve t: süredir.

Bir madde ne kadar yüksek kayıp faktörü değerine sahip ise mikrodalgalarla o kadar iyi ısıtılabilir. Su içeren maddeler yüksek kayıp faktörüne sahiptirler. Bu nedenle mikrodalga enerjiiyi iyi bir şekilde absorbe ederler. Elektromanyetik enerji malzeme içinde absorbe edilirken malzemenin yüzeyinden mesafenin fonksiyonu olarak azalır. Penetrasyon derinliği absorbe edilen gücün yüzeydeki değerinden 1/e (% 37) lik azalma gösterdiği derinliği ifade eder. Bu derinliğin ötesinde mikrodalga enerji nedeniyle oluşan hacimsel ısıtma önemsizdir. Penetrasyon derinliği (d_p) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$d_p = \lambda_0 \sqrt{\frac{\epsilon''}{2\pi\epsilon'}} \quad (23)$$

Burada; λ_0 : serbest boşluğun dalga boyu [$\lambda_0 = c/f$, c: ışık hızı (cm/sn), f: frekans (Hz)] ve λ_0 : 2.45 GHz de 12.2 cm ve 9.8 GHz de 3.06 cm' dir

Penetrasyon derinliği ısıtma işleminde malzeme boyunca üniformluğu belirleyeceğinden önem taşımaktadır. Eğer mikrodalgaların penetrasyon derinliği malzemenin kalınlığından çok küçük ise yalnızca yüzey ısıtılması söz konusu olur [15, 44, 48].

Odun işleme endüstrilerinde üretim hattında, odun yapısına zarar vermeden hızlı bir şekilde mikrodalgalarla odunun rutubet miktarı, özgül ağırlığı gibi fiziksel özelliklerinin ve budaklar, lif sapması, çatlaklar, çürüklük vb. odun kusurlarının belirlenmesi birçok yönden avantaj sağlar. Odunun direnç özellikleri yalnızca odun yapısına zarar veren yöntemlerle belirlenebilir, ancak direnç özellikleri ile özgül ağırlık, rutubet miktarı, lif açısı vb. özellikler arasındaki ilişkiler vasıtasıyla mikrodalgalar vasıtasıyla odunun fiziksel ve mekanik özellikleri odun yapısına zarar vermeden belirlenebilir. Yani mikrodalgalar sayesinde aynı anda birçok değişken hakkında bilgi edinilebilir. Böylece, otomasyon esnasında süre kısalmır, işçi maliyetleri azalır. Sistemin kurulma maliyeti yüksek olmakla beraber uzun vadede kar sağlanır [70, 71, 72, 73, 74, 75].

Bu nedenle son yıllarda odunun karakteristiklerinin mikrodalgalar yardımıyla belirlenmesini sağlayacak aletlerin dizaynını konu alan bilimsel araştırmalara öncelik verilmektedir [70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84]. Bu araştırmalarda odunun dielektrik özellikleri temeli oluşturmakta ve kalibrasyon amacıyla önem taşımaktadır.

Mikrodalgalar hızları ve zayıflamaları içinde yayıldıkları maddenin doğal yapısına ve dielektrik özelliklerine bağlı olarak değişen dalgalardır. Herhangi bir ortamda yayılan dalgaların hızı ve zayıflaması ve depolarize olması bu ortamın doğal yapısına ve dielektrik özelliklerine bağlıdır. Elektromanyetik dalganın hızı odun gibi bir dielektrik maddenin içinden geçerken maddenin dielektrik özelliklerine bağlı olarak azalacaktır. Hızdaki bu azalma odunun rutubet miktarına ve yoğunluğuna bağlıdır. Depolarize olması ise lif yönüne bağlıdır. Bu nedenle mikrodalgaların yayılma hızındaki gecikme odunun rutubet

miktarı ve yoğunluğunun bir göstergesi olarak karşımıza çıkarken depolarize olması lif açısı hakkında bilgi vermektedir [70, 71, 72, 84].

Elektromanyetik dalga dielektrik bir malzeme üzerine etki ettiğinde, enerjisinin bir kısmı yansıtılır, diğer kısmı yüzeyden geçer. Yüzeyden malzemenin içine giren kısım dielektriğin içinde yayılır, bir kısmı malzeme tarafından absorbe edilir. Eğer düzlem bir elektromanyetik dalga malzemenin yüzeyine dik uygulanırsa, yansıma faktörü R_N şöyle ifade edilir [10].

$$R_N = (\sqrt{\epsilon'} - 1)^2 / (\sqrt{\epsilon'} + 1)^2 \quad (24)$$

Manyetik olmayan odun gibi malzemelerde elektromanyetik dalganın yayılma hızı (v) odunun dielektrik özelliklerine bağlıdır ve aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$v = c / \sqrt{\epsilon'} \quad (25)$$

Burada; c : ışık hızıdır.

Bir malzemede dalga boyu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon'} \quad (26)$$

Burada; λ_0 : boşluğun dalga boyudur.

Elektromanyetik dalga malzemenin içinde, malzemenin kayıp faktörüne bağlı olarak zayıflar. Malzemenin yüzeyinde E_0 olan elektrik alan şiddetinin değeri, malzemenin içinde aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$E = E_0 e^{(-\alpha \cdot x)} \quad (27)$$

Burada; α : zayıflama sabiti, x : dielektriğin yüzeyinden uzaklıktır.

Zayıflama sabiti aşağıdaki eşitlikten çıkartılabilir.

$$\alpha = (2\pi / \lambda_0) [(\epsilon'/2) (\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1)]^{1/2} \quad (28)$$

Zayıflama sabiti ile penetrasyon derinliği arasındaki ilişki $\alpha = 1/ d_p$ ifadesiyle verilir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Odun Türü

Bu çalışmada birinci aşamada ülkemiz odun endüstrisi alanında en çok kullanılan odun türlerinin, ikinci aşamada ise çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, özgül ağırlık ve anatomik faktörler gibi odunun kendi doğal yapısıyla ilgili faktörler de göz önünde bulundurulmuş, iğne yapraklı ağaç türlerinden Doğu Ladini ve Sarıçam, yapraklı ağaç türlerinden dağmık trahelilerden Melez Kavak ve Sakallı Kızılağaç, yarı halkalı trahelilerden Doğu Kayını ve halkalı trahelilerden Sapsız Meşe ve Anadolu Kestanesi çalışma kapsamına alınmıştır. Emprenye işleminde ise kolay emprenye edilebilme özellikleri nedeniyle Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını kullanılmıştır. Aşağıda çalışmaya konu olan odun türleri hakkında genel bilgiler verilmektedir.

2.1.1. 1. Doğu Ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.]

Doğu Ladini, ülkemizde Sovyetler birliği sınırı ile Ordu- Melet ırmağı arasında, dağların denize bakan yamaçlarında saf ve karışık meşçereler oluşturur. 40 – 50 m bazen 60 m boylara ulaşabilen, 1.5 – 2 m çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli birinci sınıf orman ağacıdır.

Doğu Ladini odunu sarımsı beyaz renkte olup, boyuna kesitlerde ipek gibi parlaktır. Diri odun ve öz odun renk bakımından farksız olup gövdenin iç kısmında diri odun ile aynı renkte ancak su oranı daha az olan olgun odun bulunmaktadır. Yıllık halka sınırları belirgin ve yaz odunundan ilkbahar odununa geçiş tedricidir. Yıllık halka içindeki yaz odunu kırmızımsı sarı renkte ve çok dar olup radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturmaktadır. Yaz odunu katılım oranı % 6-50 arasında değişmekte olup en çok rastlanan değer % 22'dir. Dar ve seyrek bir şekilde dağılmış boyuna reçine kanalları

genellikle yaz odunu içinde açık renkte noktacıklar halinde görülürler. Reçinesi sarı ile kahverengindedir. Çok ince olan özışınları çıplak gözle görülmemekle birlikte tam radyal kesilmiş yüzeylerde mat bantlar halinde farkedilirler [85].

İlkbahar ve yaz odunu traheidleri toplamı Doğu Ladini odununun % 90'ını oluşturmaktadır. Traheid uzunluğu 1.1-6.3 mm arasında değişir. Yaz odunu traheidlerinin çeperleri kalın ve radyal çapları (27.2 μm) küçüktür. İlkbahar odunu traheidleri (39.4 μm) ise ince çeperli ve geniş lümenlidir. İlkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperlerindeki geçitler tek sıralıdır. Ayrıca boyuna traheidlerin iç yüzeylerinde spiral kalınlaşmalar bulunur. Özışınları üniseri ve heterojendir. Reçine kanalı bulunan iğimsi özışınları orta kısımda çok sıralıdır. Özışınlarının kenarlarında alt ve üst kısımlarda bir veya iki sıra halinde bazen arada olmak üzere özışını traheidleri bulunmaktadır. Özışını traheidlerinin çeperleri ince çoğunlukla dalgalı veya düzgündür. Özışını paraşim hücreleri kalın çeperli olup çok sayıda geçitleri vardır. Özışınlarının genel hacme katılım oranı % 8.61 civarındadır. Boyuna paraşim hücreleri yoktur. Boyuna reçine kanalı çapı 63.6 μm olup tek veya gruplar halinde sadece yaz odununda bulunabildikleri gibi ilkbahar odununda da bulunabilirler [85].

Doğu Ladini odununun tam kuru özgül ağırlık değeri ortalama olarak 0.416 gr/cm^3 ve hava kurusu özgül ağırlık değeri 0.451 gr/cm^3 'tür [86]. Doğu Ladini odununun hava boşluğu oranı (porozite) % 72.0'dır. Doğu Ladini odununun içerisine alabileceği maksimum su miktarı hacim yoğunluk değerine (0.366 gr/cm^3) göre % 206.2 dir [86].

Doğu Ladini odununda selüloz miktarı % 56.39, lignin miktarı % 27.5, holoselüloz miktarı % 71.18, kül miktarı % 0.38 ve alkol-benzende çözünen ekstraktif madde miktarı % 1.72'dir [87].

2.1.1.2. Sarıçam [*Pinus sylvestris L.*]

Avrupa ve Asya'da çok geniş bir yayılım alanına sahiptir. Ülkemizde Eskişehir'in batısındaki Yeşildağ'dan başlayıp doğuya doğru Kuzey Anadolu Dağları'nın yüksek kesimlerini kaplayarak Sarıkamış üzerinden Kafkas'lara kadar doğal yayılış alanına

sahiptir. Yetiştirme ortamına göre boyu 20-45 m arasında değişir. Narin ve silindirik gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı veya dolgun gövdeli yayvan tepeli ve kalın dallı bir ağaçtır [88].

Sarıçam odununda diri odun geniş, sarımsı veya kırmızımsı beyaz renkte olup, enine kesitte gövde yarıçapının yaklaşık üçte birini kapsar. Öz odun sınırı belli olup, genellikle yuvarlak ve diri odundan daha koyu renkte kırmızımsı kahverengidir. Yıllık halka sınırları her üç kesitte de çok göze çarpıcı ve hafif dalgalıdır. Yıllık halkaları farklı genişlikte olup, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş anidir. Yaz odunu parlak kahverengidir ve teğet kesitte geniş sarımsı şeritler oluşturur. Yaz odununun yıllık halka içindeki katılım oranı % 2-73 arasında değişmektedir. Çok miktarda ve geniş reçine kanallarına sahiptir. Boyuna paranzim yoktur. Özışınları çıplak gözle görülmemektedir [88].

Traheidlerin oduna katılım oranı % 93.1'dir. Traheidlerin uzunluğu 1.8 – 4.5 mm ve teğet çapları 10-50 μm 'dir. Özışınları heterojen ve üniseridir. Enine reçine kanallarının bulunduğu özışınları mültiseridir. Öz ışınları genellikle 1-12 bazen 15'den fazla hücrelidir. Karşılaşma yeri geçitleri 1-2 adet pencere tipindedir. Boyuna reçine kanalları tek tek ve çoğunlukla yaz odunu içinde ve çapları 100-150 μm olup epitel hücreleri ince çeperlidir [88, 89].

Sarıçam odununun tam kuru özgül ağırlığı ortalama olarak 0.496 gr/cm^3 ve hava kuru özgül ağırlığı 0.526 gr/cm^3 tür. Sarıçam odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 68.6'dır. Sarıçam odununun içerisine alabileceği en yüksek su miktarı hacim yoğunluk değerine (0.426 gr/cm^3) göre % 170.6' dır [90].

Sarıçam odununda selüloz miktarı % 40-57, lignin miktarı % 25-29, pentozan miktarı % 8-11 ve alkol benzende çözünen ekstraktif madde miktarı % 3.4'dür [89].

2.1.1.3. Melez Kavak [*Populus x. Euramericana I-214*]

Melez Kavak dünyada en çok kültürü yapılan kavak klonudur. Hızlı büyüyen bir tür olan I-214 Melez Kavağı, ülkemizde Marmara, Ege, Batı ve Doğu Karadeniz Bölgeleri, Trakya ve Göller yöresinde yetiştirilmektedir.

Kavak odunu yeni kesildiğinde taze halde genellikle açık renklidir. Euramarican melezlerinin diri odunları sarımsı beyaz, öz odunları yeşilimsi kahverengindedir. Kuruduktan sonra bütün kavaklarda öz odunun rengi uçuklaşır ve Euramerican melezlerinde çok soluk yeşilimsi kahverengi ile beyazımsı renge dönüşür. Kavak odunu genellikle ince veya orta tekstürlü, düzgün lifli bir odundur. Yıllık halkalarda ilkbahar ve yaz odunları arasında renk bakımından bir fark bulunmamasına karşın enine kesitte yıllık halkalar kolaylıkla seçilir. Yıllık halka genişlikleri büyük sınırlar içinde değişir [91].

Traheler dağınık bir şekildedir. Trahelerin çapları 35-300 µm, teğet çapları 20-157 µm arasındadır. Trahe uzunlukları 0.40-0.60 mm arasında değişir. Lifler, lif traheidleri ve libriform lifleri olmak üzere iki şekilde bulunur ve bütün dokuların % 56-79'unu oluştururlar. Lif çapları genellikle 20-40 mikron ve uzunlukları 1-2 mm arasında değişir. Öz ışınları Kavak odununda genellikle bir sıra hücreden oluşur. Özışım paranzim hücrelerindeki geçitler genellikle basit geçitlerdir. Paranzim hücreleri odunun % 3-10'unu oluşturur [91].

Melez Kavağın hava kurusu özgül ağırlığı 0.300-0.550 gr/cm³ arasında değişmektedir. Melez Kavak odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 75.8' dir. Melez Kavak odununun hacim yoğunluk değerine (0.300 gr/cm³) göre içerisine alabileceği en yüksek su miktarı % 266.6'dır [91].

Kavak odununun % 45-51'ini selüloz, % 15-16'sını pentozanlar, % 20- 27'sini lignin ve % 0.5-1'ini kül oluşturur [91].

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

Kızılağaç'ın çok geniş bir coğrafi yayılımı vardır. Tüm Avrupa, Kuzey Afrika, Kafkasya, Türkiye, İran, Sibiry ve Japonya'da yayılım göstermektedir. Ülkemizde, Trakya, Marmara çevresi, Batı Karadeniz ve kısmen de Doğu Karadeniz Bölgeleri ile Muş, Bitlis gibi Doğu ve Güney Doğu Anadolu'da doğal olarak yetişmektedir [92].

Kızılağaç odunu, yeni kesildiğinde koyu kirli sarı renktedir. Yıllık halkalar düzenlidir. Enine kesitte traheler çıplak gözle zorlukla görülürler. Radyal kesitte özışınları,

koyu zemin üzerinde gümüş renginde ve parlaktır. Teğet kesite yalancı özışınları uzun kahverengi çizgiler şeklinde görülürler [93].

Trahelerin oduna katılım oranı % 28.05'dir. Traheler yıllık halka içinde dağınık dizilişindedir. Geniş yıllık halkalarda ilkbahar ve yaz odununu ayırmak oldukça kolaydır. Yıllık halka sınırında trahelerin teğet çapları ilk oluşan trahelerden sonra giderek artmaktadır. Traheler tek tek bulunabilir, fakat çoğunlukla gruplar oluştururlar. Ortalama trahe uzunluğu 0.819 mm'dir. Ortalama trahe çapı ilkbahar odununda 59.4-66.7 mikron, yaz odununda 42.1-29.5 mikrondur. Perforasyon merdiven şeklindedir. Boyuna paransim hücreleri dağınık biçimde tek tek veya ikili gruplar halinde görülürler. Boyuna paransimin oduna katılım oranı % 8.29'dur. Özışınları homojen ve üniseridir. Özışınlarının oduna katılım oranı % 13.97'dir. Odun lifi, traheid ve traheid lifi bulunur. Kızılağaç odununda % 49.67 oranında lif dokusu yer almaktadır. Yalancı özışınlarına oldukça sık rastlanır [92, 93].

Kızılağaç odununun tam kuru özgül ağırlık değeri $0.454 - 0.502 \text{ gr/cm}^3$ ve hava kurusu özgül ağırlık değeri $0.482 - 0.511 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir [92, 94]. Sakallı Kızılağaç odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 68.3'tür. Kızılağaç odununun içerisine alabileceği en yüksek su miktarı tam kuru özgül ağırlığa (0.454 gr/cm^3) göre % 186.46, hacim yoğunluk değerine (0.399 gr/cm^3) göre ise % 183.96'dır [92].

Kızılağaç odununda selüloz miktarı % 43.64, lignin miktarı % 24.57, pentozanlar % 22.94 ve kül miktarı % 0.49'dur [21].

2.1.1.5. Anadolu Kestanesi [*Castanea sativa Mill.*]

Coğrafi yayılışı, Güney Avrupa, Kuzey Afrika ile Türkiye ve Kafkasya'dır. Türkiye'deki yayılışı ise doğuda Türk-Rus sınırından başlayarak Kuzey Anadolu sahilleri boyunca İstanbul-Belgrat ormanına kadar uzanır. Marmara çevresi ve Batı Anadolu'da bulunur. Kestane dikey yayılışında 700-800 m'ye kadar yükselirse de bu, yerel koşullara bağlı olarak değişir. Anadolu Kestanesi 20-25 m boya ulaşabilen dolgun gövdeli geniş ve

dağınık tepeli ve uzun ömürlü bir ağaçtır. Kullanılabilir gövde uzunluğu 6-10 m arasında değişmektedir [95].

Diri odun çok dar, gri ve kahverengimsi beyaz, öz odun taze halde gri-sarı ile soluk kahverengindedir. Kesimden sonra koyulaşmaktadır. Yıllık halkalar, halkalı büyük traheli oluşu nedeniyle belirgindir. Öz ışınları çok ince ve belirgin değildir [95].

Odunu halkalı trahelidir. İlkbahar odunu traheleri çok büyük çaplı (150-300 μm), yaz odunu traheleri çok küçük çaplıdır (30-40 μm). Libriform lifleri yıllık halkanın yaz odunu kısmında daha yaygındır. Çoğunlukla basit perforasyon tablasına sahiptir. Bunun yanında merdiven şeklinde perforasyon tablasına oldukça sık, ağ şeklinde perforasyona nadiren rastlanır. Traheler çoğunlukla tüllerle dolu olup, ortalama oranı % 26.3'dür. Boyuna paransimler az sayıda olup, özellikle lifler arasında dağınık, nadiren trahelerin bitişiğinde paratraheal kümeli olarak bulunur. Öz ışınları homojen ve tek sıralıdır. Özışınlarının oduna katılım oranı % 17.2'dir. Lifler libriform lifleri, lif traheidleri ve vasisentrik traheidlerden oluşur. Uzunlukları 600-1570 mikrondur. Liflerin oduna katılım oranı % 56.5'dur [89, 95].

Kestanenin tam kuru özgül ağırlığı ortalama olarak 0.486-0.590 gr/cm^3 ve hava kurusu özgül ağırlık ise 0.630 gr/cm^3 tür [89, 95]. Anadolu Kestanesi odununda hava boşluğu oranı % 67.8'dir. Kestane odununun içerisine alabileceği en yüksek su miktarı hacim yoğunluk değerine (0.448 gr/cm^3) göre % 156.54'tür.

Kestane odununun kimyasal bileşiminin, % 49.58' sini selüloz, %26.04' ini lignin, % 19.69' unu pentozan, % 0.42' sini kül ve 0.30 unu alkol-benzende çözünen ekstraktif maddeler oluşturmaktadır [21, 96].

2.1.1.6. Sapsız Meşe [*Quercus petraea* (Mattuschka) Lieb.subsp. iberica]

Avrupa, Türkiye ve Kuzey Afrika'da yayılışa sahiptir. 20-50 m boy, 1-2 m'ye kadar çap yapabilen silindirik gövde yapısına sahip bir ağaçtır [89, 97].

Diri odun çoğunlukla dar ve sarımsı beyaz, öz odunu açık kahverengi ile sarımsı kahverengindedir, kesimden sonra koyulaşır. Yıllık halka sınırları belirgindir. İlkbahar odunu traheleri çok büyüktür, çıplak gözle görülebilir. Traheler tüllerle doludur. Radyal kesitler üzerinde geniş özışınlarından dolayı büyük parlak levhacıklar bulunur.

Odun halkalı trahelidir. İlkbahar odunu traheleri yaz odunu trahelerine kıyasla belirgin şekilde büyük çaplıdır. İlkbahar odunu traheleri genellikle tek tek dağılır, trahelerde gruplaşma görülmez. Yaz odunu traheleri yaz odunu zonunda geniş üçgen şeklindeki alanlarda tek tek ve az da olsa gruplar halinde yer alır. İlkbahar odunu teğet trahe çapı 226.8 μm ve yaz odununda 30.25 μm 'dir. Trahe uzunluğu 508 μm 'dir. Perforasyon tablası basittir. Trahelerin oduna katılım oranı dar yıllık halkalarda %39.4, geniş yıllık halkalarda % 7.7'dir. Lif dokusu libriform lifleri, lif traheidleri ve vasisentrik traheidlerden oluşmuştur. Liflerin oduna katılım oranı dar yıllık halkalarda % 44.3, geniş yıllık halkalarda % 58.1'dir. Özışınları homojen, üniseri ve mültiseridir. Mültiseri özışınları çok geniş ve yüksektir. Öz ışınlarının oduna katılım oranı dar yıllık halkalarda % 44.6 geniş yıllık halkalarda % 58.1'dir. Boyuna paransim apotraheal-teğet yönde kesik zincir şeklindedir. Boyuna paransimlerin oduna katılım oranı % 4.9'dur [89, 97, 98].

Meşe odununun tam kuru özgül ağırlığı 0.650 gr/cm^3 ve hava kurusu özgül ağırlığı 0.690 gr/cm^3 tür [89, 98]. Sapsız meşe odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 59.3'tür. Sapsız Meşe odununun hacim yoğunluk değerine göre (0.570 gr/cm^3) içerisine alabileceği en yüksek su miktarı % 108.77'dir [99].

Meşe odununun % 42.80' ini selüloz, %24.9' ını lignin, % 25.50' sini pentozanlar, % 0.39' unu eter ekstraktifleri ve % 0.27' sini kül oluşturmaktadır [21].

2.1.1.7. 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 [100].

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 [100].

İlkbahar odunu traheleri (teğet çap : 64.9 μm) yaz odunu trahelerine (teğet çap: 55.1 μm) kıyasla belirgin şekilde büyük çaplı değildir. Traheler çoğunlukla normal trahe hücrelerinden (544.6 μm) meydana gelmiştir. Lif şeklindeki trahe hücrelerine (936 μm) az da olsa rastlanmaktadır. Perforasyon tablası basit ve merdiven şeklindedir. Trahelerde gruplaşma ilkbahar odununda daha yüksek orandadır. Lif dokusu traheit lifleri, libriform lifleri ve traheidlerden oluşur. Özışınları üniseri ve mültiseridir. Mültiseri özışınları çok geniştir ve yıllık halkaların sınırında genişleyerek yay çizerler. Boyuna paransim. apotrahealdir. Doğu Kayını odununu oluşturan elemanların diri odundaki oranları ortalama olarak; trahe % 33.9 , libriform lifi % 45.78 , özışını % 20.20 , ve boyuna paransim % 5'tir [97, 100].

Doğu Kayını odununun tam kuru özgül ağırlığı 0.645 gr/cm^3 ve hava kurusu özgül ağırlığı 0.669 gr/cm^3 tür [98]. Doğu Kayını odununda hava boşluğu oranı (porozite) % 56.1, hacim yoğunluk değerine (0.538 gr/cm^3) göre alabileceği en yüksek su miktarı % 119.2 ve tam kuru özgül ağırlık değerine (0.645 gr/cm^3) göre alabileceği en yüksek su miktarı % 118.5'dir [100].

Kayın odununun % 34-46'sını selüloz, % 12-23' ünü lignin, % 18-26' sını pentozan ve % 1.9' uzu alkol-benzolde çözünen ekstraktif maddeler oluşturur [89].

2.1.2. Emprenye İşleminde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Doğu Kayını odun türlerinin emprenye işleminde ülkemizde yaygın olarak kullanılan suda çözünen emprenye maddelerinden Tanalith-C, boraks ve borik asit, organik çözücülü emprenye maddelerinden immersol-WR, yangın

geciktirici maddelerden amonyum sülfat ve fosforik asit, boyut stabilizasyonu sağlayıcı madde olarak da polietilenglikol-1000 kullanılmıştır. Bu kimyasal maddelerinin empenye işlemindeki çözelti konsantrasyonları endüstrideki kullanımlarına uygun olarak seçilmiştir.

2.1.2.1. Borik Asit

Mantar ve böcek tahribatı ile yanmaya karşı uygulanan borik asit, suda çözünebilmekte ve diğer maddeler ile karışık kullanılabilir. Çalışmada kullanılan borik asit Etibank Bandırma Bor Fabrikası'ndan elde edilmiş olup özellikleri aşağıda verilmektedir [101].

Fiziki görünüş	: Renksiz kristal
Formül yapısı	: H_3BO_3
Molekül ağırlığı	: 61.83
Özgül ağırlık	: 1.435 (g/cm^3)
Hacim Yoğunluk	: 0.800 (g/cm^3)

2.1.2.2. Boraks

Bor tuzlarından olan boraks; fungusit, insektisit ve yanmayı önleyici olarak etkili bir madde olup, diğer maddelere katılarak kullanılmakta ve su ile yıkanarak uzaklaşmaktadır. Çalışmada kullanılan boraks Etibank Bandırma Bor Fabrikası'ndan elde edilmiş olup özellikleri aşağıda verilmektedir [101,102].

Fiziki görünüş	: Renksiz kristal
Formül yapısı	: $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Molekül ağırlığı	: 381.83
Özgül ağırlık	: 1.730 (g/cm^3)
Hacim yoğunluk	: 0.812 (g/cm^3)

2.1.2.3. Tanalith-C

Tanalith-C suda çözünen emprenye maddeleri grubundan olup mantar, böcek, termit ve deniz zararlıları ile yanmaya karşı koruyucu olarak uygulanmaktadır. Çalışmada kullanılan Tanalith-C metal tuz esaslı olup HEMEL Emprenye Sanayi ve Ticaret A.Ş. elde edilmiş olup özellikleri aşağıda verilmektedir [103, 104].

% 35.0 Bakır sülfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$)

% 45.0 Potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

% 20.0 Arsenik pentoksit ($\text{As}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

2.1.2.4. Immersol-WR

Immersol-WR organik çözücülü emprenye maddelerinden olup, petrol destilasyonundan elde edilen hidrokarbonlar kullanılmaktadır. Bunlar genellikle siklofatik ve aromatik hidrokarbonların karışımıdır. Organik çözücülü emprenye maddeleri suda çözünmediklerinden uzun süreli koruma görevi yapmaktadır. Emprenyeli malzeme doğal rengini ve boyutlarını korumakta ve metallerle paslanma yapmamaktadır. Immersol-WR emprenye maddesi özellikle batırma yöntemiyle kullanılmak üzere hazırlanan bir maddedir. İçerisinde hangi aktif maddelerin olduğu patent altında bulunduğundan bilinmemekte, ancak temel fungusit etkiyi tri-n-butil kalay oksit maddesinin yaptığı tahmin edilmektedir. Çalışmada kullanılan Immersol-WR HEMEL Emprenye Sanayi ve Ticaret A.Ş. elde edilmiştir [104].

2.1.2.5. Amonyum Sülfat

Amonyum sülfat yanmayı geciktirici emprenye maddelerindedir. Suda kolayca eriyebilen, renksiz, kristal görünümünde, ucuz ve kokusuz bir madde olup, yanma sırasında amonyak ve sülfürik asit gibi gazlar oluşturmak suretiyle yanmayı önleyici etki göstermektedir. Çalışmada kullanılan amonyum sülfat Merck ürünü olup, özellikleri aşağıda verilmektedir [102, 105].

Formül yapısı : $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
 Molekül ağırlığı : 132.14

2.1.2.6. Fosforik Asit

Fosforik asidin hem tutuşmayı hem de kor halinde yanmayı önlediğini belirtilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan fosforlu bileşik Merck ürünü ortho-fosforik asit % 85'lidir. Çalışmada kullanılan fosforik asidin özellikleri aşağıda verilmiştir [106].

Formül yapısı : H_3PO_4
 Molekül ağırlığı : 98.0
 Yoğunluk : 1.71 (gr/cm^3)

2.1.2.7. Polietilen Glikol (PEG-1000)

Polietilen glikol odunda hücre çeper boşluklarını doldurarak boyutsal kararlılığı arttıran emprenye maddelerindedir. Polietilen glikol muamelesi, odundaki hücreleri şişirerek daralma miktarını önemli ölçüde azaltırken, öte yandan kurutma sırasında meydana gelen kusurlar, özellikle çatlama önlenmektedir. Odunun direncinde bazı azalmalara sebep olmakta ise de bu önemli bulunmamakta; yapışma ve işleme özellikleri değişmemektedir. Günümüzde çeşitli kullanım alanları için molekül ağırlığı 200 ile 20.000 arasında değişen polietilen glikol tipleri üretilmektedir. Emprenye amacıyla 400 ile 4.000 arasındaki molekül ağırlığına sahip polietilen glikol tipleri kullanıldığı bilinmektedir. Molekül ağırlığı düşük olan polietilen glikol ürünlerinin difüzyon özelliği yüksek, ancak yıkanmaları daha kolaydır. Bunun tersine yüksek molekülü olanların difüzyonu güçleşirken stabilizasyon özellikleri artmaktadır. Fakat her durumda su ile yıkanabilmektedirler. Bu nedenle iç mekanlarda kullanımlar için uygundur. PEG su ile karışabilmekte, taze veya yaş haldeki ağaç malzemenin hücre çeperi içerisine kolaylıkla girebilmekte, miseller arasında yaş haldeki ölçülerin korunmasını sağlayarak daralmayı önlemektedir. Ağırlık bakımından % 30 luk konsantrasyonda hazırlanan PEG çözeltisi boyutları yüksek derecede stabilize etmektedir. Çoğunlukla uzun molekülü olan PEG

kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan PEG-1000, Merck ürünü olup özellikleri aşağıdaki gibidir [102, 107].

Kapalı formülü	: $\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}$
Molekül ağırlığı	: 950-1050
Hidroksil sayısı	: 107-118
Erime noktası	: 33-40 °C

2.2. Yöntem

2.2. 1. Örnek Ağaçların Alındığı Alanların Tanıtımı ve Örnek Ağaçların Seçimi

Çalışmada, örnek ağaçların alınacağı yerlerin belirlenmesinde, türlerin Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki yayılış alanları incelenmiş ve bu bölgede; türlere ait optimal büyümenin olduğu yöreler örnek alanlar olarak tespit edilmiştir. Örnek alanlarının homojen meşçerelerden olmasına özen gösterilmiş ve basit rastlantı örnekleme yöntemine göre ağaçlar seçilmiştir.

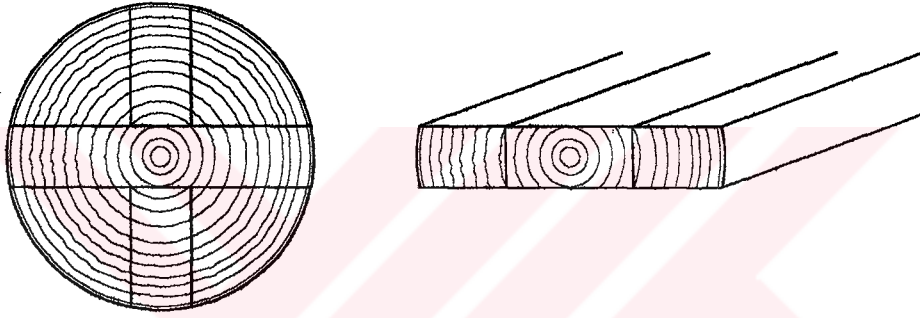
Deneme ağaçların seçiminde TS 4176 esaslarına göre hareket edilmiştir [108]. Ağaçların seçiminde; yön, meyil, çap, yükselti, sıklık vb. yetiştirme ortamı özellikleri göz önünde tutulmuştur. Gövde oluşumu bakımından fazla dallı, budaklı, lif kıvrıklığı, anormal tepe formu göstermemesine, gövdelerin normal ve çürüksüz olmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca iklim özellikleri bakımından çok rutubetli veya çok kurak, devamlı rüzgar etkilerine açık ekstrem yetiştirme ortamlarından kaçınılmıştır. Böylece çalışmada yararlanılan ağaçların, bulunduğu alanı en iyi temsil edebilecek ve iyi gövde yapısına sahip, düzgün ağaçlardan olmasına özen gösterilmiştir. Böylece, türlere ait yetiştirme yerlerinden 4'er adet örnek ağaç seçilmiştir. Seçilen ağaçlar üzerine numaraları yazılmış ve kuzey yönleri işaretlenmiştir. Çalışmada yararlanılan örnek ağaçların alındığı yerler ve ağaç türlerine ait genel özellikler Tablo 16' da verilmektedir.

Tablo 16. Örnek ağaçların alındığı yerler ve genel özellikleri

Ağaç Türü	Bölge Adı		Yaş (yıl)	1.30 m de Çap (cm)	Boy (m)	Yetiştirme Yeri Özellikleri	
						Eğim (m)	Yükseklik (m)
Doğu Latini (<i>Picea orientalis</i> (L.) Link.)	Gümüşhane	Kürtün - Örtümcek	86	45	25	70	1600
	Trabzon	Maçka Meryemana	80	40	24	70	1610
Sarıçam (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	Gümüşhane	Karanlıkdere - Mansa	64	38	28	60	1152
			82	41	29	60	1150
	Torul - Sarıoğlağ	79	40	24	60	1952	
		68	38	26	60	1950	
Melez Kayak (<i>Populus x. Euramericana</i> I-214)	Samsun	Terme - Gölardı	70	38	18	70	2040
			75	40	20	70	2030
	Trabzon	Maçka - Meryemana	11	30	22	2	2
			10	30	21	2	2
			12	32	24	3	2
Sakallı Kızılağaç (<i>Abies glutinosa</i> subsp. <i>barbata</i> (C.A.Mey.)]	Trabzon	Maçka - Esiroğlu	12	31	23	2	2
			50	41	24	70	1100
	Artvin	Borçka - Çiftköprü	70	44	26	70	1105
			72	41	25	60	1340
Sapsız Meşe (<i>Quercus petraea</i> (Matthuschka) <i>Lieb. subsp. iberica</i>)	Gümüşhane	Kürtün - Örtümcek	76	40	27	60	1350
			40	37	18	60	650
	Trabzon	Çaykara	45	32	15	60	650
			90	34	16	60	680
Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky.)	Gümüşhane	Kürtün - Örtümcek	95	46	20	60	700
			98	30	20	70	1600
	Trabzon	Maçka Meryemana	80	27	24	70	1600
			70	20	20	80	1000
Doğu Kayını (<i>Fagus orientalis</i> Lipsky.)	Gümüşhane	Kürtün - Örtümcek	72	22	20	80	1100
			86	48	35	70	1600
	Trabzon	Maçka Meryemana	90	50	33	70	1580
			64	38	38	70	1380
			82	41	33	70	1370

Deneme alanlarında, seçilen her ağacın dipten itibaren 1.30 m yükseklikten sonra 1 m'lik gövde kısımları çıkartılarak her parça üzerine gerekli bilgiler işaretlenmiştir.

Bu aşamadan sonra örnek ağaçlardan elde edilen 1 m'lik tomruklar K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarına getirilmiş ve burada TS 2470 esaslarına uygun olarak kesilmiştir [109]. Daha sonra elde edilen parçalar dış hava koşullarında istif edilerek açık havada doğal kurumaya bırakılmıştır. Şekil 21'de test örneklerin elde edildiği taslakların tomruktan alınış şekli verilmektedir.



Şekil 21 . Örneklerin elde edildiği taslakların tomruktan alınış şekli

2.2.2. Doğal Haldeki Odun Türlerinin Dielektrik Özelliklerini Belirlemede Kullanılan Test Örneklerinin Hazırlanması

Test örnekleri her bir ağaç türünün 1.30 m yükseklikten sonraki 1 m'lik kısımlarından kesilen ve açık havada kurumaya bırakılan kerestelerden elde edilmiştir. Doğal kurumaya bırakılmış kerestelerin rutubet miktarı sürekli kontrol edilmiş ve lif doygunluk noktası rutubetine ulaştıklarında laboratuvar şartlarına alınmışlardır. Bu durumda, LDN rutubetine ulaşmış kerestelerin diri odun kısımlarından yıllık halkalara göre teğet, radyal ve liflere paralel yönde olmak üzere lif yönüne uygun bir kesim işlemi gerçekleştirilerek, muhtelif sayıda 5 x 10 x 50 cm boyutlarında taslaklar çıkarılmıştır. Her bir türden elde edilen bu parçalar içinden, budak, çatlak, çürüklük, lif sapması vb. kusurları bulunmayan sağlam parçalar seçilmiş ve bunlar 6 gruba bölünmüştür. Bu taslaklardan test

örneklerinin kesim işlemi esnasında örneklerin özellikle diri odun kısmını kapsamasına özen gösterilmiştir. Ancak Kestanenin diri odunu anatomik olarak 1-2 yıllık halka içerdiği için bu odun türünden elde edilen örneklerin bir kısmı öz odun kısmını kapsamış olabilir.

2.2.2.1. Rutubet Miktarı

Bütün odun türlerinde rutubet miktarının dielektrik özellikler üzerine etkisi % 0 ile LDN rutubet miktarı sınırları arasında araştırılmıştır. Bunun nedeni elektrikli rutubet ölçerlerle rutubet miktarının belirlenmesinde veya mikrodalgalarla kurutma esnasında odunun rutubetinin özellikle bu sınırlarda bulunmasının önerilmesidir. Ayrıca LDN üzerinde odunun dielektrik özellikleri büyük oranda odunun özgül ağırlığına göre içinde bulunan serbest su miktarı ile değiştiğinden, LDN üzerinde rutubet miktarına sahip odunun dielektrik özellikleri (9) ve (10) eşitlikleri yardımıyla hesaplanabilir.

Çalışmalar, % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 denge rutubet miktarında olmak üzere 6 rutubet grubunda gerçekleştirilmiştir. Bu rutubet grupları seçilirken tam kuru (%0), fırın kurusu (%8), hava kurusu (%12), orman kurusu (%15), depo kurusu (%22) ve lif doygunluk noktası (%28) hallerindeki odunun dielektrik özelliklerinin belirlenmesi esas alınmıştır. Bu amaçla her bir türden 5 x 10 x 50 cm boyutlarında hazırlanan ve 6 gruba ayrılmış parçalardan; ilk 5 grup, 0 ile LDN sınırları arasında % 8, 12, 15, 22 ve 28 olmak üzere istenen 5 farklı denge rutubet miktarına ulaşmalarının sağlanması amacıyla uygun bağıl nem ve sıcaklık şartlarında bekletilmişlerdir. Tam kuru ölçümler için kullanılan örneklerin elde edildiği geri kalan bir grup ise kururken çatlamaları önlemek amacıyla aşamalı bir kurutmaya tabi tutulmuş ve öncelikle oda sıcaklığında bekletilmiş ve daha sonra etüvde 20, 40, 60, 80 ve en son 103 ± 2 °C sıcaklıkta tam kuru hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Tablo 17'de test örneklerinin bekletildiği bağıl nem ve sıcaklık şartları verilmiştir.

Farklı sıcaklık ve bağıl nem şartlarında bekletilen taslakların ağırlığı sürekli kontrol edilerek denge rutubet miktarına ulaşmış parçalar seçilmiş ve bu parçalardan tam ölçülerdeki test örneklerinin kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir tür için amaçlanan rutubet miktarına ulaşan taslaklardan her denge rutubet miktarı için teğet, radyal ve liflere paralel yönde 30'ar adet örnek hazırlanmıştır.

Tablo 17. Deney örneklerinin bekletildiği bağıl nem ve sıcaklık şartları

Ortalama Denge Rutubet Miktarı (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl nem (%)
Tam kuru	103 ± 2	-
8	20	42
12	20	65
15	20	77
22	20	93
28	20	100

Bu işlemi takiben, teğet, radyal ve liflere paralel yönde uygun boyutlarda kesilen tam ölçülerdeki örnekler homojen bir denge rutubetlerini sahip olmaları amacıyla tekrar uygun klima şartlarında bekletilmişlerdir. Daha sonra ağırlığın sürekli kontrolüyle istenen denge rutubet miktarına ulaşan örnekler ölçüm için hazırlanmış ve ölçüm işlemi anına kadar rutubet almalarını önlemek amacıyla desikatör içinde saklanmışlardır.

Ölçümden hemen önce test örneklerinin ağırlıkları (M_r) hassas terazi ile ± 0.001 gr duyarlılıkta tartılmış ve boyutları mikrometre ve kumpas yardımıyla ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Daha sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri takiben test örnekleri 103 ± 2 °C de değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuştur. Daha sonra örneklerin ağırlıkları ± 0.001 gr ve boyutları ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Test örneklerinin rutubet miktarlarının belirlenmesinde TS 2471 den yararlanılmıştır ve rutubet miktarları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [110].

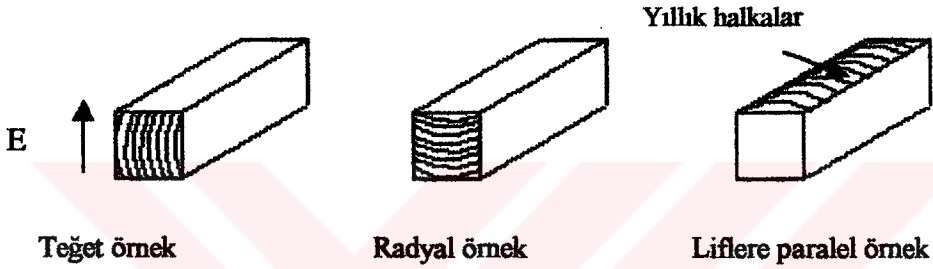
$$r = \frac{M_r - M_o}{M_o} \times 100 \quad (29)$$

Burada;

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

2.2.2.2. Lif Yönü

Bu çalışmada, teğet, radyal ve liflere paralel yönde olmak üzere odun türlerinin yıllık halkalara göre esas üç lif yönündeki dielektrik özellikleri inceleme altına alınmıştır. Böylece her odun türünün dielektrik özelliklerinin lif yönüne göre nasıl bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. Her bir tür için amaçlanan rutubet miktarına ulaşan taslaklardan her denge rutubet miktarı için elektrik alan şiddetine göre teğet, radyal ve liflere paralel yönde 30'ar adet örnek hazırlanmıştır. Teğet, radyal ve liflere paralel yöndeki örneklerin elektrik alan şiddetine göre pozisyonları Şekil 22'de verilmiştir.



Şekil 22. Elektrik alan şiddeti yönüne göre örneklerin şekli

Örnek boyutları 9.8 GHz frekanstaki ölçümler için 2.28 x 1.02 x 1.03 cm, 2.45 GHz frekansındaki ölçümler için, 8.55 x 4.25 x 4.385 cm 'ir. İlk iki boyut dalga kılavuzunun enine kesit boyutlarına uygun olup, üçüncü boyut ilgilenilen frekanstaki çeyrek boru dalga boyuna ($\lambda_b/4$) uygun olacak şekilde hesaplanarak elde edilmiştir.

2.2.2.3. Özgül Ağırlık

Odunun özgül ağırlığının dielektrik özellikler üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla özgül ağırlığı birbirinden farklı olan ağaç türlerinin çalışma kapsamına alınmasına özen gösterilmiştir. Odunun dielektrik özellikleri ile özgül ağırlık arasındaki ilişkiler odun türü ayrımı yapılmaksızın tam kuru özgül ağırlık baz alınarak, %0, %8 (7-9), %12 (11-13), %15 (14-16), %22 (21-23) ve %28 (27-30) rutubet gruplarında araştırılmıştır. Bu amaçla her rutubet grubu için gerçekleştirilen ölçümlerden hemen önce

örneklerin boyutları ve ağırlıkları ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ölçümleri takiben örnekler 103 ± 2 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve desikatörde soğutulmuştur. Bu durumdaki boyutları ve ağırlıkları ölçülmüştür. Tam kuru özgül ağırlık değerlerinin belirlenmesinde TS 2472 esaslarına uyulmuş olup tam kuru özgül ağırlık aşağıdaki formülle hesaplanmıştır [111].

$$\delta_o = \frac{M_o}{V_o} \quad (30)$$

Burada;

δ_o	: Tam kuru özgül ağırlık	(gr/cm ³)
M_o	: Tam kuru ağırlık	(gr)
V_o	: Tam kuru hacim	(cm ³)

2.2.3. Emprenyeli Odunun Dielektrik Özelliklerini Belirlemede Kullanılan Test Örneklerinin Hazırlanması

2.2.3.1. Emprenye İşlemine Tabi Tutulacak Örneklerin Hazırlanması

Emprenyeli odunun dielektrik özelliklerinin belirlenmesinde araştırmaya konu olan odun türleri içerisinde kolay emprenye edilebilenler tercih edilmiştir. Bu amaçla, Sarıçam, Kızılağaç ve Doğu Kayını odun türleri seçilmiştir.

Emprenye işlemi öncesinde odunun % 12 rutubette olması tavsiye edilmektedir [112]. Bu nedenle emprenye işlemi uygulanacak örnekler, 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında bekletilen 5 x 10 x 50 cm' lik diri odun taslaklarından elde edilmiştir. Emprenye edilmiş odun ile emprenye edilmemiş odunun dielektrik özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla test ve kontrol örnekleri hazırlanmıştır. Odunun kendi bünyesinden kaynaklanabilecek farklılıkları en aza indirebilmek amacıyla deney ve kontrol örneklerinin gövde eksenine boyunca birbirini izleyen ve aynı yıllık halkaları içeren kısımlardan elde edilmesine özen gösterilmiştir. Böylece test ve kontrol örnekleri elektrik alan şiddeti yönüne göre liflere dik ve liflere paralel yönde olmak üzere uygulanacak

frekansa uygun boyutlarda hazırlanmış ve test örnekleri emprenye işlemine hazır hale getirilmiştir. Her varyasyon için 9.8 GHz frekansı ölçümleri için 10, 2.45 GHz frekansındaki ölçümler için 5 örnek hazırlanmıştır [7]. Örnek boyutları 9.8 GHz frekanstaki ölçümler için 2.28 x 1.02 x 1.03 cm, 2.45 GHz frekansındaki ölçümler için, 8.55 x 4.25 x 4.385 cm'dir.

2.2.3.2. Emprenye Çözeltilerinin Hazırlanması

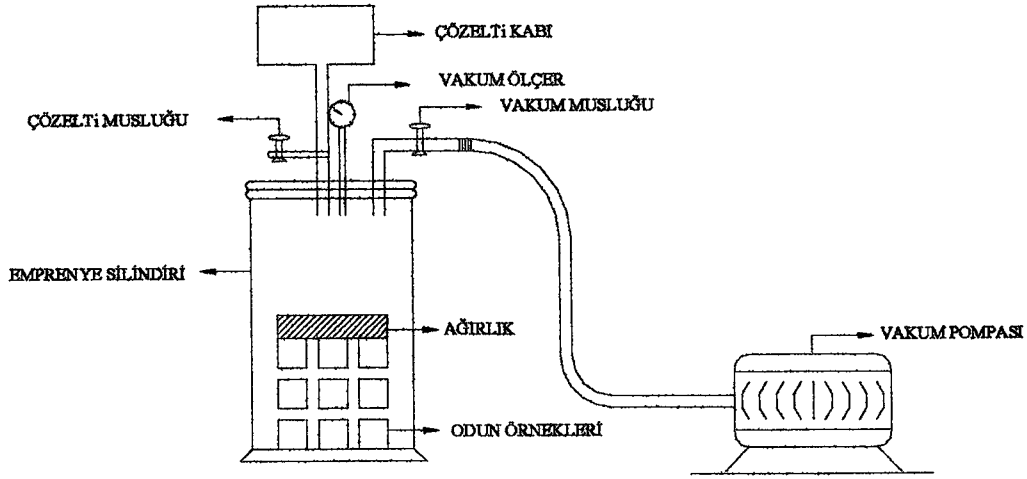
Sarıçam, Kızılağaç ve Doğu Kayını odun örneklerinin emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddeler ve çözelti konsantrasyonları Tablo 18'de verilmektedir. Hazırlanan çözeltilerin emprenye öncesi ve emprenye sonrası pH ve yoğunlukları ölçülmüştür. Çözeltilerin yoğunluklarının belirlenmesinde piknometre yönteminden yararlanılmıştır. Daha sonra emprenye işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 18. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerinin çözelti konsantrasyonları

Kimyasal Madde	Çözelti Konsantrasyonu (%)
Boraks	5
Borik asit	5
Tanalith-C	3
Immersol	100
Amonyum sülfat	10
Fosforik asit	7
PEG-1000	30

2.2.3.3. Emprenye Yöntemi

Odun örneklerinin emprenye işleminde ASTM D 1413-76 standardından yararlanılmıştır [113]. Emprenye öncesi deney örneklerinin % 12 rutubet derecesindeki ağırlıkları (Mö) ± 0.001 gr duyarlılıkla ve ayrıca üç boyutu ± 0.001 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Her varyasyon için ayrı ayrı gerçekleştirilen emprenye işleminde, deney örnekleri Şekil 23' teki deney düzeneğinde yer alan emprenye silindirine yerleştirilmiş ve silindir içerisinde sabitlenmiştir.



Şekil 23. Emprenye deneyi düzeneği

Emprenye silindirinin kapağı vidalanarak kapatıldıktan sonra, örnekler üzerine vakum pompası yardımıyla 110 mmHg basıncına eşit vakum uygulanmıştır. 30 dakikalık vakum uygulaması sonunda çözelti kabının musluğu açılarak vakum etkisi devam ederken, silindir içine emprenye çözeltisi verilmiştir.

Deney örnekleri emprenye çözeltisiyle tamamen kaplandıktan sonra vakum musluğu açılarak vakum etkisi sona erdirilmiştir [114]. Bunu takiben emprenye silindirinde tamamen emprenye çözeltisiyle kaplanmış örnekler normal atmosfer basıncı ve oda sıcaklığında 30 dakika batırma işlemine tabi tutulmuştur. Batırma süresi sonunda silindirden çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla çözelti uzaklaştırılmış ve 0.001 gr duyarlılıkta tartımları yapılarak emprenye sonrası ağırlık (M_s) şeklinde kaydedilmiştir. Daha sonra örnekler önce oda şartlarında tedrici kurumaya bırakılmış, daha sonra etüvde 103 ± 2 °C de değişmez ağırlığa kadar kurutmuş ve desikatörde soğutulmuştur. Bunu takiben tam kuru emprenyeli ağırlıkları tartılmış ve M_o olarak kaydedilmiş ve örneklerin tam kuru özgül ağırlığı hesaplanmıştır.

Retensiyon miktarının hesaplanması:

Örneklerin M_0 ve M_s tartımlarından ve emprenye öncesi örnek hacminden yararlanarak örneklerin absorbe ettiği kimyasal madde tutunma miktarı yani retensiyon miktarları kg/m^3 ve tam kuru ağırlığın yüzdesi olarak (%) olarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır [113].

$$r = \frac{G \times C}{V} \times 10 \quad (\text{kg/m}^3) \quad (31)$$

$$G = M_s - M_0 \quad (\text{gr}) \quad (32)$$

$$r = \frac{M_{oes} - M_o}{M_o} \times 100 \quad (\%) \quad (33)$$

Burada;

- C : Çözelti konsantrasyonu (%)
V : Örnek hacmi (cm^3)
 M_s : Emprenye sonrası ağırlık (gr)
 M_0 : Emprenye öncesi ağırlık (gr)
 M_o : Emprenye öncesi tam kuru ağırlık (gr)
 M_{oes} : Emprenye sonrası tam kuru ağırlık (gr)

Tam kuru hale getirilen örnekler daha sonra % 65 bağıl nem ve 20 °C sıcaklıkta bekletilerek denge rutubet miktarına ulaşmaları sağlanmıştır. Ağırlığın sürekli olarak kontroluyla denge durumuna gelen örnekler alınmış ve ölçüm anına kadar desikatör içinde korunmuştur. Ölçüm anındaki rutubet miktarının belirlenebilmesi için ölçüm öncesi örneklerin ağırlıkları tartılmış M_{e0} olarak kaydedilmiştir.

2.2.4. Dielektrik Özelliklerin Belirlenmesi

2.2.4.1. 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 [2, 52]. Günümüzde yüksek ve çok yüksek (mikrodalgalar) elektromanyetik dalgalar endüstrinin birçok dallarında geniş ölçüde kullanılmakta ve birçok düzen ve cihazlar endüstrileşmiş bulunmaktadır. Günümüzde 0.9 - 18 GHz arasındaki frekanslar odun endüstrisinde gerek ısıtma gerekse odun özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır [44]. 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 ısıtma işleminde en fazla kullanılan frekans olması, 9.8 GHz ise hem bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılması hem de dielektrik özelliklerinin frekansa göre değişiminin belirlenebilmesi amacıyla yüksek bir frekansın seçilmesinin daha yararlı olacağını düşünülmesidir.

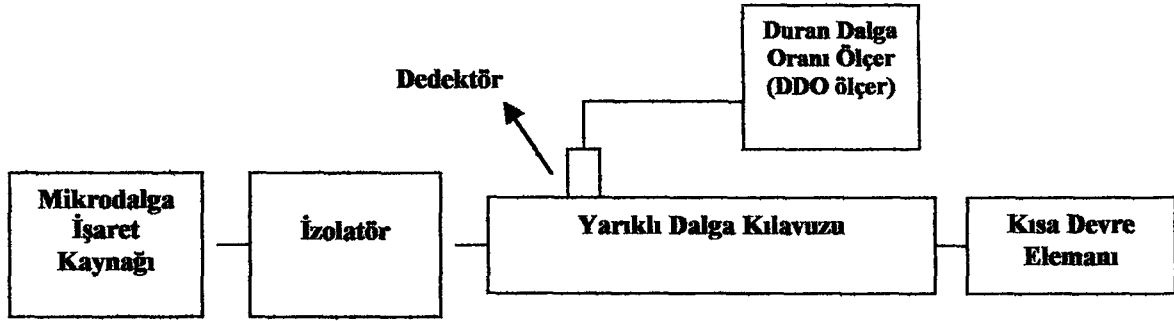
2.2.4.2. Sıcaklık

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

2.2.4.3. Dielektrik Özellikleri Ölçüm Yöntemi ve Deney Düzenegi

Dielektrik maddelerin, dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinin ölçüm yöntemleri standartlar tarafından belirlenmiştir. Ancak, odun rutubeti % 0-250 arasında değişen ve rutubet alıp vermesi sırasında boyutlarını değiştiren çok bileşenli, heterojen bir dielektrik malzeme olup, özgül ağırlığa, rutubet miktarına ve lif yönüne bağlı olarak dielektrik özelliklerini değiştirmektedir. Tüm bunlar ölçüm tekniğinin seçimini güçleştirmekte ve ölçüm hatalarına yol açmaktadır. Odun ve odun ürünlerinin dielektrik özelliklerinin ölçümü için standartlar henüz belirlenmemiş olup, bu amaçla genellikle katı dielektrikler için uygulanan ölçüm teknikleri kullanılmaktadır.

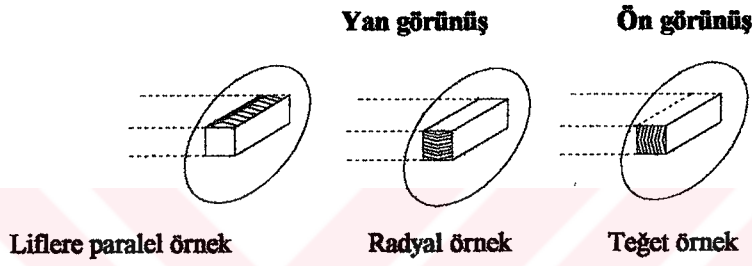
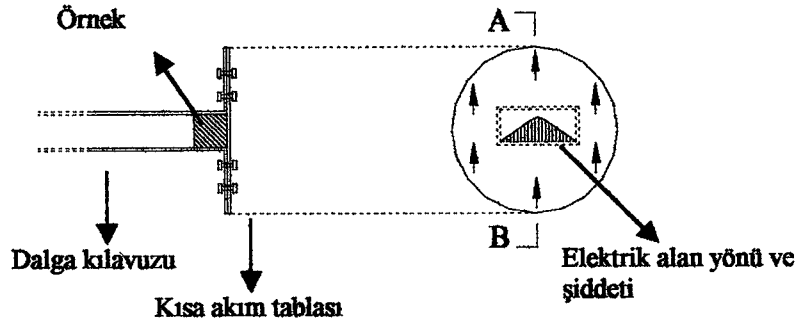
Bu çalışmada, hem doğal halde hem de empenye işlemine tabi tutulmuş test örneklerinin dielektrik özellikleri (dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı) **A.Von HIPPEL Dalga Kılavuzu Yöntemi** [115] kullanılarak belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 24' de verilmektedir.



Şekil 24. Odunun dielektrik özelliklerini ölçmede kullanılan deney düzeneği

Dielektrik sabiti bir yarık 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.

Bu yöntemde dikdörtgen kesitli dalga kılavuzu içerisine test örneği Şekil 25'de gösterildiği gibi yerleştirilmektedir. Bu nedenle örneklerin boyutları dalga kılavuzunun enine kesitine uygun olacak şekilde dikdörtgen kesitli olup, örnekler elektrik alan şiddeti yönüne göre teğet, radyal ve liflere paralel yönde olmak üzere 3 yönde ölçüm yapılacak şekilde hazırlanmıştır. Dalga kılavuzunun enine kesit boyutları 9.8 GHz'de 2.28×1.02 cm ve 2.45 GHz'de 8.55×4.25 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 yukarıda anlatıldığı şekilde hazırlanan örneklerin ölçümler öncesi kalınlıkları (t) ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu dikdörtgen kesitli örnekler kısa devre tablasının temas ettiği yer olan dalga kılavuzunun uç kısmına yerleştirilir.



Şekil 25. Dalga kılavuzuna test örneğinin yerleşimi ve test örneklerinin elektrik alan şiddetine göre pozisyonları

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 [115].

$$Z_d \tan [\beta_d d_{1min}] = -Z_0 \tan [\beta_d d_{2min}] \quad (34)$$

Buradan,

$$\beta \tan [\beta_d t] = \beta_d \tan [\beta (\Delta + t)] \quad (35)$$

elde edilir.

$$\Delta = d_{1min} - d_{2min} \quad (36)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_b} \quad (37)$$

$$\beta_d = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon' - (\lambda_0/\lambda_c)^2} \quad (38)$$

Baskın modda çalışıldığı için $\lambda_c = 2a$ dir. (2.45 GHz için $a = 8.55$ cm ve 9.8 GHz için $a=2.286$ cm) olduğundan (38) denkleminde dielektrik sabiti,

$$\epsilon' = \left(\frac{\beta_d \lambda_0}{2\pi} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0}{2a} \right)^2 \quad (39)$$

Kayıp tanjantı,

$$\tan \delta = \frac{4}{S} \left[\frac{\epsilon' - (\lambda_0/2a)^2}{\epsilon'} \right] \frac{\text{Cosec} \left[\frac{4\pi}{\lambda_b} (\Delta + t) \right]}{\frac{4\pi t}{\lambda_0} \left[\epsilon' - (\lambda_0/2a)^2 \right] \text{Cosec} \frac{4\pi t}{\lambda_0} - 1} \quad (40)$$

Kayıp faktörü,

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta \quad (41)$$

formüllerleriyle 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

β : İçi hava dolu borunun faz sabiti

β_d : Malzeme varken faz sabiti

λ_c : Kesim dalga boyu

λ_0 : Boşlukta ilerleyen dalganın dalga boyu

λ_b : Boru içinde ilerleyen dalganın dalga boyu

S : Duran dalga oranı

Bu metod düşük kayıplı dielektrik materyaller için uygundur. (35) denklemini yeniden düzenlenerek:

$$\beta_d t = \frac{\beta t}{\tan[\beta(\Delta + t)]} \tan(\beta_d t) \quad (42)$$

$$\frac{\beta t}{\tan[\beta(\Delta + t)]} = A \quad (43)$$

tanımını yapılarak, bu durumda,

$$\beta_d t = A \tan(\beta_d t) \quad (44)$$

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

2.2.5. İstatistik Yöntemler

2.45 GHz ve 9.8 GHz frekans sınırlarında, doğal ve emprenyeli haldeki odun türlerinin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantını belirlemeyi esas alan bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Doğal haldeki odunun dielektrik özelliklerini belirlemeyi amaçlayan birinci aşamada, 7 odun türü, 3 lif yönü, 6 rutubet grubu olmak üzere 126 varyasyonda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik parametrelerinin belirlemeyi esas alan ikinci aşama ise, 3 odun türü, 2 lif yönü ve 7 emprenye maddesi olmak üzere 42 varyasyonda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan emprenyeli odunun dielektrik parametreleri kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen veriler, varyans analizi, regresyon analizi ve Newman-Keuls testi uygulanmak suretiyle istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler % 95 güven

düzeyi esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Doğal ve emprenyeli haldeki odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri SPSS istatistik programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Doğal haldeki odun türlerinin dielektrik verileri, öncelikle tüm varyasyonlar birlikte ele alınarak çoğul varyans analizi irdelenmiştir. Elde edilen varyans ortalamaları Newman-Keuls testine göre karşılaştırılmıştır. Daha sonra etkileşimler dikkate alınarak her varyasyon için kullanılacak istatistiksel yöntem belirlenmiştir. Odun türünün etkisi bütün varyasyonlar birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir. Rutubet miktarı ile dielektrik özellikler arasındaki ilişki ise, rutubet miktarı süreklilik arzettiği için her odun türü için ayrı ayrı olmak üzere teğet radyal ve liflere paralel yönde olmak üzere regresyon analizi ile irdelenmiştir. Bu amaçla, aradaki ilişkiyi en iyi ifade edebilecek eşitliğin bulunabilmesi için bütün regresyon eşitlikleri denenmiş ve regresyon katsayısı en yüksek olan ve verilerin eğilimini en iyi ifade edebilen eşitlikler belirlenmiştir. Lif yönünün etkisi her odun türü için ayrı ayrı olmak üzere rutubet grubu ayrımı yapılmaksızın basit varyans analizi ile irdelenmiştir. Tam kuru özgül ağırlığın dielektrik özellikler üzerine etkisi odun türü ayrımı yapılmaksızın tüm odun türleri birlikte ele alınarak rutubet gruplarına göre regresyon analizi ile irdelenmiştir. Bu durumda da ilişkiyi ifade edebilen en iyi eşitliğin belirlenebilmesi için bütün regresyon eşitlikleri denenmiş ve bütün rutubet gruplarını en iyi ifade edebilen eşitlikler seçilmiştir.

Dielektrik parametreler üzerine frekansın etkisi, bütün varyasyonlar birlikte ele alınarak basit varyans analizi ile irdelenmiştir.

Çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak emprenye edilmiş odunların dielektrik özellikleri, odun türü, lif yönü ve emprenye maddesi ilgili veriler birlikte ele alınarak çoğul varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Sonuçta farklı kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun örnekleri ile kontrol örneklerinin ortalamaları Newman-Keuls testi ile karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Tam Kuru Özgül Ağırlık Değerleri

Çalışmaya konu olan odun türlerinin tam kuru özgül ağırlık değerlerine ait istatistik analiz sonuçları Tablo 19'da verilmektedir.

Tablo 19. Odun türlerinin tam kuru özgül ağırlık değerleri

Tam Kuru Özgül Ağırlık (gr/cm ³)			
Odun Türü	x	s	Max. ve Min. Değer
Doğu Ladini [<i>Picea orientalis</i> (L.) Link]	0.420	0.032	0.351-0.522
Sarıçam [<i>Pinus sylvestris</i> L.]	0.471	0.037	0.402-0.563
Melez Kavak [<i>Populus x. Euramericana</i> cv. I-214]	0.363	0.028	0.300-0.493
Sakallı Kızılağaç [<i>Alnus glutinosa</i> subsp. <i>Barbata</i> (C.A.Mey) Yalt]	0.475	0.019	0.422-0.534
Anadolu Kestanesi [<i>Castanea sativa</i> Mill.]	0.483	0.040	0.402-0.593
Sapsız Meşe [<i>Quercus petraea</i> ssp. <i>iberica</i>]	0.610	0.056	0.480-0.876
Doğu Kayını [<i>Fagus orientalis</i> Lipsky.]	0.658	0.030	0.580-0.731

Not: x: Aritmetik ortalama, s: Standart sapma

Tam kuru özgül ağırlığın odun türüne göre değişimini incelemek amacıyla basit varyans analizi yapılmıştır. Basit varyans analizi sonuçları Tablo 20'de verilmektedir.

Tablo 20 . Tam kuru özgül ağırlığın odun türüne göre değişimine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Gruplar arası	32.707	6	4248.789	4248.789	***
Gruplar içi	4.470	7554	1.28E-03		
Toplam	37.177	7460			

Basit varyans analizi sonuçlarına göre, odun türünün tam kuru özgül ağırlık üzerine etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Özgül ağırlık üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları da Tablo 21' de verilmektedir. Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçlarına göre (Tablo 21), en düşük tam kuru özgül ağırlık değerine Melez Kavak (0.363 gr/cm^3) odunu, en yüksek özgül ağırlık değerine ise Doğu Kayını (0.658 gr/cm^3) odunu sahip olup, Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç odun türlerinin özgül ağırlık değerlerinin birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre özgül ağırlık değerlerinin her bir odun türünde oldukça geniş sınırlar içinde değiştiği görülmektedir.

Tablo 21 . Özgül ağırlık üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	
Odun Türü	Melez Kavak	1080	0.363	a
	Doğu Ladini	1080	0.420	b
	Sarıçam	1080	0.471	c
	Sakallı Kızılağaç	1080	0.475	c
	Anadolu Kestanesi	1080	0.483	d
	Sapsız Meşe	1080	0.610	e
	Doğu Kayını	1080	0.658	f

* Aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farksız bulunmuştur.

3.2. Odun Türlerinin Dielektrik Özelliklerine Ait Bulgular

3.2.1. Dielektrik Sabiti

Doğu Ladini, Sarıçam, Melez Kavak, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını odun türlerinin teğet, radyal ve liflere paralel yönde, % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20-24 °C oda sıcaklığında ölçülen dielektrik sabiti değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 22 ve 23'de verilmektedir.

Tablo 22. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 ° C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik sabiti değerleri

Odun Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Lif Yönü	Rutubet Miktarı (%)																	
			0			8			12			15			22			28		
			x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
Doğu Ladini	0.420	T	1.59	0.078	1.82	0.047	1.94	0.057	2.16	0.160	2.60	0.068	3.24	0.042						
		R	1.56	0.018	1.77	0.044	2.00	0.046	2.21	0.009	2.58	0.056	3.25	0.050						
		L	1.82	0.031	2.27	0.010	2.55	0.063	2.91	0.023	3.32	0.126	4.12	0.036						
Sarıçam	0.471	T	1.67	0.051	1.97	0.009	2.15	0.043	2.33	0.125	2.88	0.027	3.49	0.022						
		R	1.64	0.026	1.91	0.042	2.07	0.046	2.40	0.145	2.87	0.027	3.46	0.061						
		L	1.96	0.068	2.38	0.041	2.89	0.061	3.04	0.099	3.58	0.025	4.23	0.043						
Melez Kavaç	0.363	T	1.44	0.026	1.63	0.062	1.84	0.087	1.92	0.076	2.33	0.070	2.67	0.056						
		R	1.52	0.014	1.81	0.054	2.03	0.016	2.19	0.040	2.45	0.094	3.02	0.047						
		L	1.70	0.024	1.98	0.041	2.49	0.081	2.88	0.099	3.27	0.024	3.93	0.029						
Sakallı Kızılağaç	0.475	T	1.59	0.009	1.85	0.054	2.17	0.015	2.27	0.074	2.95	0.096	3.32	0.098						
		R	1.67	0.007	2.02	0.011	2.37	0.026	2.41	0.093	3.08	0.236	3.47	0.128						
		L	1.88	0.010	2.51	0.086	2.87	0.131	3.10	0.130	3.67	0.030	4.33	0.035						
Anadolü Keşanesi	0.483	T	1.62	0.041	1.83	0.067	2.29	0.076	2.44	0.074	3.03	0.055	3.22	0.033						
		R	1.68	0.016	2.05	0.055	2.52	0.153	2.59	0.059	2.96	0.037	3.27	0.192						
		L	1.97	0.024	2.58	0.075	2.89	0.100	3.16	0.132	3.44	0.451	3.90	0.082						
Sapsız Meşe	0.610	T	1.81	0.036	2.12	0.039	2.55	0.051	2.72	0.050	3.18	0.019	4.14	0.057						
		R	1.87	0.031	2.31	0.022	2.67	0.051	2.87	0.052	3.25	0.015	4.08	0.042						
		L	2.13	0.024	2.72	0.042	3.20	0.042	3.28	0.029	4.01	0.034	4.63	0.034						
Doğu Kayın	0.658	T	1.88	0.024	2.23	0.035	2.60	0.025	2.89	0.058	3.39	0.056	4.37	0.096						
		R	1.98	0.012	2.40	0.044	2.81	0.113	3.19	0.079	3.47	0.115	4.38	0.047						
		L	2.26	0.024	2.82	0.020	3.36	0.047	3.38	0.046	4.18	0.044	4.77	0.040						

Tablo 23. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 ° C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik sabiti değerleri

Odun Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Lif Yönü	Rutubet Miktarı (%)																	
			0			8			12			15			22			28		
			x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
Doğu Ladini	0.420	T	1.53	0.016	1.73	0.029	1.89	0.101	1.96	0.090	2.49	0.103	2.95	0.124						
		R	1.53	0.019	1.69	0.022	1.87	0.058	2.00	0.133	2.43	0.072	2.93	0.080						
		L	1.72	0.018	2.06	0.072	2.34	0.100	2.71	0.182	3.25	0.224	3.73	0.166						
Sarıçam	0.471	T	1.60	0.047	1.82	0.071	2.01	0.024	2.21	0.103	2.79	0.372	3.07	0.084						
		R	1.59	0.037	1.84	0.070	2.00	0.034	2.12	0.077	2.69	0.116	3.09	0.049						
		L	1.85	0.031	2.19	0.143	2.45	0.139	2.74	0.048	3.49	0.441	3.99	0.055						
Melez Kayak	0.363	T	1.41	0.018	1.61	0.031	1.72	0.016	1.95	0.163	2.16	0.109	2.48	0.146						
		R	1.47	0.007	1.68	0.023	1.85	0.031	1.95	0.196	2.38	0.033	2.97	0.506						
		L	1.62	0.015	2.00	0.103	2.28	0.099	2.66	0.179	3.18	0.211	3.57	0.231						
Sakallı Kızılagaç	0.475	T	1.58	0.022	1.76	0.027	1.96	0.073	1.99	0.039	2.65	0.030	3.07	0.097						
		R	1.65	0.038	1.85	0.093	2.06	0.064	2.29	0.124	2.74	0.058	3.35	0.264						
		L	1.87	0.022	2.11	0.038	2.49	0.111	2.86	0.126	3.46	0.058	3.71	0.177						
Anadolun Keşanesi	0.483	T	1.59	0.007	1.80	0.050	2.04	0.091	2.26	0.153	2.68	0.108	3.01	0.077						
		R	1.66	0.036	1.88	0.087	2.11	0.052	2.35	0.117	2.74	0.129	3.26	0.133						
		L	1.89	0.025	2.16	0.172	2.72	0.046	2.92	0.118	3.46	0.169	3.30	0.359						
Sapsız Meşe	0.610	T	1.85	0.037	2.15	0.071	2.26	0.025	2.53	0.075	3.03	0.130	3.69	0.164						
		R	1.89	0.057	2.19	0.168	2.32	0.055	2.60	0.053	3.19	0.065	3.66	0.116						
		L	2.06	0.046	2.44	0.095	2.87	0.057	3.10	0.109	3.43	0.055	3.45	0.134						
Doğu Kayını	0.658	T	1.80	0.017	2.11	0.056	2.36	0.043	2.65	0.107	3.31	0.260	3.65	0.096						
		R	1.91	0.029	2.17	0.081	2.53	0.058	2.64	0.043	3.25	0.145	3.48	0.277						
		L	2.10	0.031	2.56	0.087	3.05	0.074	3.39	0.098	3.79	0.299	3.27	0.233						

Dielektrik sabiti üzerine odun türü, lif yönü ve rutubet grubunun ve bu faktörlerin etkileşimlerinin etkisini genel olarak belirleyebilmek amacıyla, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında, tüm odun türlerinin teğet, radyal ve liflere paralel yönde, % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında gerçekleştirilen ölçümler sonucu elde edilen verileri öncelikle çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçları Tablo 24 ve 25'de verilmektedir.

Tablo 24. 2.45 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik sabiti üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	364.934 ^a	125	2.919	206.356	***
Sabit Terim	4450.248	1	4450.248	314555.32	***
A: Rutubet Grubu	257.477	5	51.495	3639.826	***
B: Lif Yönü	49.734	2	24.867	1757.649	***
C: Odun Türü	40.962	6	0.462	482.548	***
Etkileşim AB	4.621	10	0.157	32.662	***
Etkileşim AC	4.713	30	0.131	11.104	***
Etkileşim BC	1.574	12	7.875E-02	9.270	***
Etkileşim ABC	4.725	60	1.415E-02	5.567	***
Hata	7.116	504			
Toplam	4820.847	630			
Düzeltilmiş Toplam	372.050	629			

a. $R^2 = 0.981$

Tablo 25. 9.8 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik sabiti üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	265.254 ^a	125	2.122	120.884	***
Sabit Terim	3803.608	1	3803.608	216675.91	***
A: Rutubet Grubu	192.915	5	38.583	2197.911	***
B: Lif Yönü	31.450	2	15.725	895.781	***
C: Odun Türü	26.116	6	4.353	247.950	***
Etkileşim AB	3.958	10	0.396	22.545	***
Etkileşim AC	2.903	30	9.677E-02	5.513	***
Etkileşim BC	2.140	12	0.178	10.161	***
Etkileşim ABC	5.773	60	9.622E-02	5.481	***
Hata	8.847	504	1.755E-02		
Toplam	4077.710	630			
Düzeltilmiş Toplam	274.102	629			

a. $R^2 = 0.968$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, hem 2.45 GHz hem de 9.8 GHz frekanslarında dielektrik sabiti üzerine rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün ve bu faktörlerin etkileşimlerinin etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları Tablo 26-27'de özetlenmiştir.

Tablo 26 . 2.45 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P< 0.05)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Sabiti	
Rutubet Grubu (%)	0	105	1.7727	a
	8	105	2.1412	b
	12	105	2.4898	c
	15	105	2.6729	d
	22	105	3.1659	e
	28	105	3.7245	f
Lif Yönü	T	210	2.4034	a
	R	210	2.5229	b
	L	210	3.0515	c
Odun Türü	Melez Kavak	90	2.2836	a
	Doğu Ladimi	90	2.4188	b
	Sarıçam	90	2.6060	c
	Anadolu Kestanesi	90	2.6347	c
	Sakallı Kızılağaç	90	2.6391	c
	Sapsız Meşe	90	2.9754	d
	Doğu Kayını	90	3.0561	e

Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçlarına göre, bütün varyasyonlar birlikte göz önüne alındığında hem 2.45 GHz (Tablo 26) hem de 9.8 GHz (Tablo 27) frekansında dielektrik sabiti % 0 rutubette en düşük ve % 28 rutubette en yüksek değere sahiptir. Ayrıca, dielektrik sabiti teğet yönde en düşük liflere paralel yönde ise en yüksektir. Odun türleri dikkate alındığında ise Melez Kavak en düşük dielektrik sabiti değerine ve Doğu Kayını ise en yüksek dielektrik sabiti değerine sahiptir.

Tablo 27 . 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Sabiti	
Rutubet Grubu (%)	0	105	1.7215	a
	8	105	1.9906	b
	12	105	2.2450	c
	15	105	2.4697	d
	22	105	2.9982	e
	28	105	3.3177	f
Lif Yönü	T	210	2.2650	a
	R	210	2.3360	b
	L	210	2.7704	c
Odun Türü	Melez Kavak	90	2.1631	a
	Doğu Ladini	90	2.2667	b
	Sarıçam	90	2.4133	c
	Anadolu Kestanesi	90	2.4181	c
	Sakallı Kızılağaç	90	2.4562	c
	Sapsız Meşe	90	2.7052	d
	Doğu Kayını	90	2.7772	e

3.2.1.1. Dielektrik Sabiti Üzerine Odun Türünün Etkisi

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, hem 2.45 GHz (Tablo 24) hem de 9.8 GHz (Tablo 25) frekanslarında odun türünün dielektrik sabiti üzerine etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca odun türü ile rutubet grubu ve odun türü ile lif yönünün etkileşiminin de dielektrik sabiti üzerine etkisinin hem 2.45 GHz hem de 9.8 GHz de 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Student-Newman-Keuls varyans karşılaştırma sonuçlarına göre, odun türlerine göre, en düşük değerden en yüksek değere doğru dielektrik sabiti sırasıyla, 2.45 GHz (Tablo 26) de, Kavak, Ladin, Sarıçam, Kestane, Kızılağaç, Meşe ve Kayın sahip olup Sarıçam, Kestane ve Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır. 9.8 GHz' de (Tablo 27) ise dielektrik sabiti, Kavak, Ladin, Kızılağaç, Sarıçam, Kestane, Meşe ve Kayın sırasını takip etmekte olup, Sarıçam, Kestane ve Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında Sarıçam, Kızılağaç ve Kestane odun türlerinin dielektrik sabiti değerleri birbirine oldukça yakındır buna rağmen sıralamalarında farklılık olduğu gözlenmiştir.

3.2.1.2. Dielektrik Sabiti Üzerine Lif Yönünün Etkisi

Dielektrik sabiti üzerine lif yönünün etkisi öncelikle tüm varyasyonların birlikte ele alındığı çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Buna göre, dielektrik sabiti üzerine lif yönünün etkisi hem 2.45 GHz (Tablo 24) hem de 9.8 GHz (Tablo 25) frekanslarında 0.001 anlam düzeyinde önemlidir. Student-Newman-Keuls karşılaştırma testi sonuçlarına göre (Tablo 26–27), çalışılan her iki frekansta bütün odun türleri birlikte ele alındığında dielektrik sabiti teğet yönde en düşük liflere paralel yönde ise en yüksek değere sahiptir. Ayrıca çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, odun türü lif yönü etkileşiminin de 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, bu aşamadan sonra çalışmaya konu olan odun türlerinin her biri için , dielektrik sabitinin lif yönüne göre değişimini belirleyebilmek amacıyla 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansları ve tüm rutubet grupları birlikte ele alınarak basit varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 28’de verilmektedir. Basit varyans analizi sonuçlarına göre tüm odun türlerinde lif yönünün çalışılan tüm odun türlerinde etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 28. Odun türlerine göre lif yönünün dielektrik sabiti üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları		Ortalama Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Doğu Ladini	Gruplar arası	13.407	2	6.703	18.054	***
	Gruplar içi	65.719	177	0.371		
	Toplam	79.126	179			
Sarıçam	Gruplar arası	13.404	2	6.702	15.950	***
	Gruplar içi	74.374	177	0.420		
	Toplam	87.778	179			
Melez Kavak	Gruplar arası	15.880	2	7.940	24.791	***
	Gruplar içi	56.692	177	0.320		
	Toplam	72.572	179			
Sakallı Kızılgağaç	Gruplar arası	53.562	2	6.781	15.553	***
	Gruplar içi	77.170	177	0.436		
	Toplam	90.731	179			
Anadolu Kestanesi	Gruplar arası	20.174	2	5.087	13.997	***
	Gruplar içi	64.333	177	0.363		
	Toplam	74.507	179			
Sapsız Meşe	Gruplar arası	66.960	2	3.348	6.841	***
	Gruplar içi	86.628	177	0.489		
	Toplam	93.324	179			
Doğu Kayını	Gruplar arası	96.740	2	4.837	10.016	***
	Gruplar içi	85.476	177	0.483		
	Toplam	95.150	179			

Ortalamaların karşılaştırıldığı Student-Newman-Keuls Testi sonuçları Tablo 29’da verilmektedir. Student-Newman-Keuls testi sonuçlarına göre, Doğu Ladini ve Sarıçam hariç diğer odun türlerinde dielektrik sabiti en düşük değerden en yüksek değere doğru, teğet, radyal, liflere paralel yön sırasını takip etmekte olup teğet ve radyal arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Doğu Ladini ve Sarıçamda ise dielektrik sabiti en düşükten en yüksek değere doğru radyal, teğet ve liflere paralel yön sırasını takip etmekte birlikte istatistiksel olarak radyal ve teğet yön arasında fark bulunmamıştır.

Tablo 29. Dielektrik sabiti üzerine lif yönünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Sabiti	
Doğu Ladini	T	60	2.1570	a
	R	60	2.1512	a
	L	60	2.7330	b
Sarıçam	T	60	2.3327	a
	R	60	2.3058	a
	L	60	2.8977	b
Melez Kavak	T	60	1.9298	a
	R	60	2.1098	a
	L	60	2.6303	b
Sakallı Kızılağaç	T	60	2.2622	a
	R	60	2.4118	a
	L	60	2.9047	b
Anadolu Kestanesi	T	60	2.3165	a
	R	60	2.4467	a
	L	60	2.8732	b
Sapsız Meşe	T	60	2.6692	a
	R	60	2.7420	a
	L	60	3.1098	b
Doğu Kayını	T	60	2.6720	a
	R	60	2.8500	a
	L	60	3.2280	b

3.2.1.3. Dielektrik Sabiti Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi

Dielektrik sabiti üzerine rutubet miktarının etkisinin, rutubet süreklilik arzettiği için regresyon analizi ile irdelenmesinin yararlı olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki ilişki Ladin, Sarıçam, Kavak, Kızılağaç, Kestane, Kayın ve Meşe odun türlerinin her biri için ayrı olacak şekilde, % 0 dan % LDN rutubet

sınırlarına kadar, üç lif yönünde (teğet, radyal ve liflere paralel yönde) 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında regresyon analizi ile irdelenmiştir.

Her bir odun türü için 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı (r) ile dielektrik sabiti (ϵ') arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve dielektrik sabiti ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm odun türlerinde en iyi ifade eden eşitliğin $\epsilon' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$ polinomial eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Tablo 30' da 2.45 GHz frekansında ve Tablo 31' de 9.8 GHz frekansında gerçekleştirilen çalışmaya konu olan odun türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmektedir. Dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R^2), 2.45 GHz frekansında 0.96 - 0.73 ve 9.8 GHz frekansında 0.97-0.81 arasında değişmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm odun türlerinde ve üç lif yönünde dielektrik sabiti ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki mevcuttur.

Tablo 30. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre dielektrik sabiti (ϵ') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]

Odun Türü	Lif Yönü	R^2	F Hesap	Önem Düzeyi	Denklem Katsayıları		
					b_0	b_1	b_2
Doğu Ladini	T	0.81	121.17	***	1.5772	-0.0028	0.0024
	R	0.83	141.62	***	1.5458	0.0049	0.0022
	L	0.87	251.80	***	1.7426	0.0528	0.0008
Sarıçam	T	0.85	126.46	***	1.6373	0.0409	0.0003
	R	0.92	260.83	***	1.6375	0.0409	0.0003
	L	0.93	219.10	***	1.9257	0.0599	0.0007
Melez Kavak	T	0.91	368.00	***	1.3867	0.0279	0.0006
	R	0.95	411.57	***	1.4961	0.0394	0.0005
	L	0.94	304.17	***	1.6346	0.0582	0.0011
Sakallı Kızılağaç	T	0.96	647.79	***	1.5337	0.0422	0.0007
	R	0.96	486.35	***	1.6282	0.0515	0.0005
	L	0.93	283.83	***	1.8794	0.0862	-0.0005
Anadolu Kestanesi	T	0.92	310.40	***	1.5719	0.0512	0.0002
	R	0.93	341.49	***	1.6320	0.0654	-0.0003
	L	0.93	303.62	***	1.9585	0.0871	-0.0006
Sapsız Meşe	T	0.95	851.20	***	1.8591	0.0282	0.0018
	R	0.95	682.41	***	1.9040	0.0447	0.0011
	L	0.96	850.20	***	2.1280	0.0744	0.0005
Doğu Kayını	T	0.93	376.34	***	1.8400	0.0545	0.0006
	R	0.84	132.93	***	1.9025	0.0896	-0.0012
	L	0.73	153.53	***	2.3046	0.0628	0.0006

Tablo 31. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta %0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre dielektrik sabiti (ϵ') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]

Odun Türü	Lif Yönü	R ²	F Hesap	Önem Düzeyi	Denklem Katsayıları		
					b ₀	b ₁	b ₂
Doğu Ladini	T	0.95	1310.97	***	1.5336	0.0113	0.0013
	R	0.86	430.66	***	1.5031	0.0177	0.0010
	L	0.93	998.28	***	1.6304	0.0523	0.0008
Sarıçam	T	0.87	188.57	***	1.5496	0.0113	0.0016
	R	0.92	862.13	***	1.5604	0.0107	0.0016
	L	0.91	739.43	***	1.7922	0.0296	0.0017
Melez Kavak	T	0.88	913.82	***	1.3949	0.0154	0.0009
	R	0.93	1556.63	***	1.4831	0.0126	0.0013
	L	0.89	963.04	***	1.5969	0.0455	0.0008
Sakallı Kızılağaç	T	0.97	3858.22	***	1.5188	0.0245	0.0009
	R	0.90	942.59	***	1.5550	0.0287	0.0013
	L	0.93	1300.62	***	1.7399	0.0572	0.0007
Anadolu Kestanesi	T	0.94	1492.91	***	1.5439	0.0254	0.0009
	R	0.86	586.46	***	1.5943	0.0289	0.0010
	L	0.91	954.99	***	1.7946	0.0461	0.0014
Sapsız Meşe	T	0.81	312.43	***	1.9038	0.0204	0.0015
	R	0.76	226.78	***	1.8729	0.0442	0.0006
	L	0.82	358.04	***	2.0486	0.0563	0.0004
Doğu Kayını	T	0.93	1236.65	***	1.6878	0.0488	0.0005
	R	0.88	630.78	***	1.7109	0.0727	-0.0004
	L	0.89	633.16	***	1.8642	0.1103	-0.0014

Elde edilen bu regresyon eşitlikleri yardımıyla, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve % 0 ile LDN arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan her bir odun türünün teğet, radyal ve liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti değerleri belirlenebilir. Bu eşitliklerin hesaplanmasıyla elde edilen grafiklerden bulunan değerlerin deneysel verilerin ortalamalarına oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bazı değerlerdeki küçük sapmalar odun türünün özgül ağırlığının geniş sınırlar içinde değişmesinden kaynaklanabilir.

3.2.1.4. Dielektrik Sabiti Üzerine Özgül Ağırlığın Etkisi

Dielektrik sabiti üzerine özgül ağırlığın etkisini belirleyebilmek için odun türü ayrımı yapılmaksızın Ladin, Sarıçam, Kavak, Kızılağaç, Kestane, Meşe ve Kayın odun türlerinin dielektrik sabiti değerleri birleştirilerek teğet, radyal ve liflere paralel yönde ve % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik

sabiti ve tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişki araştırılmıştır. Dielektrik sabitinin rutubet miktarından güçlü bir şekilde etkilendiği çoğul varyans analizi sonuçları ile belirlendiğinden özgül ağırlığın etkisi araştırılırken rutubet grupları oluşturulmuştur ve regresyon analizleri bu gruplar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tam kuru özgül ağırlık ve dielektrik sabiti arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden eşitliğin belirlenebilmesi için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve bütün rutubet gruplarında ve lif yönlerinde en uygun eşitliğin lineer eşitlik $\epsilon' = b_0 + b_1 \delta_0$ olduğu belirlenmiştir. Tablo 32'de, 2.45 GHz ve Tablo 33' de 9.8 GHz frekanslarında ve 20 °C sıcaklıkta % 0 ,8, 12, 15, 22 ve 28 gruplarında dielektrik sabiti ve tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon analizi sonuçları verilmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, hem 2.45 GHz (Tablo 28) hem de 9.8 GHz (Tablo 29) frekansında tam kuru özgül ağırlığın dielektrik sabiti üzerine etkisi bütün rutubet grupları ve lif yönleri için 0.001 anlam düzeyinde önemlidir. Dielektrik sabiti ile tam kuru özgül ağırlık arasında güçlü lineer bir ilişki mevcuttur. Regresyon katsayısı (R^2), 2.45 GHz için 0.97-0.48 arasında, 9.8 GHz için 0.98- 0.50 arasında değişmektedir. .

Tablo 32. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik sabiti (ϵ') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 \delta_0$]

Rutubet Grubu	Lif Yönü	R^2	F Oranı	Önem düzeyi	Denklem Katsayıları	
					b_0	b_1
% 0	T	0.95	1218.81	***	0.9113	1.4725
	R	0.97	1723.61	***	0.8886	1.6019
	L	0.97	2439.49	***	1.0898	1.7211
% 7-9	T	0.95	841.45	***	1.0078	1.8422
	R	0.85	176.84	***	0.7450	2.6206
	L	0.91	313.08	***	0.9891	2.8911
% 11-13	T	0.87	451.07	***	0.8468	2.7822
	R	0.86	386.29	***	0.7824	3.1496
	L	0.84	427.60	***	1.3911	3.0180
% 14-16	T	0.86	361.57	***	1.0038	2.7922
	R	0.88	287.16	***	0.8521	3.3687
	L	0.65	67.97	***	2.0884	1.9846
% 21-23	T	0.66	58.74	***	2.0085	1.9364
	R	0.48	30.49	***	1.9834	2.1018
	L	0.52	48.35	***	2.0707	3.2065
% 27-30	T	0.91	331.96	***	0.6276	5.8245
	R	0.90	280.25	***	1.1633	4.8904
	L	0.59	41.16	***	2.9775	2.6901

Tablo 33. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik sabiti (ϵ') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon' = b_0 + b_1 \delta_0$]

Rutubet Grubu	Lif Yönü	R ²	F Oranı	Önem düzeyi	Denklem Katsayıları	
					b ₀	b ₁
% 0	T	0.98	6426.70	***	0.8878	1.4476
	R	0.96	3242.84	***	0.9669	1.3844
	L	0.96	3432.33	***	1.0687	1.5805
% 7-9	T	0.81	586.64	***	0.9427	1.7575
	R	0.85	748.97	***	0.9649	1.8321
	L	0.81	598.84	***	1.2646	1.8845
% 11-13	T	0.91	1692.28	***	0.8237	2.3513
	R	0.87	1335.31	***	0.7695	2.6310
	L	0.86	1072.15	***	1.2269	2.6368
% 14-16	T	0.86	634.61	***	0.9864	2.4123
	R	0.79	331.40	***	1.0696	2.4574
	L	0.79	283.21	***	1.6361	2.5165
% 21-23	T	0.80	329.70	***	1.0534	3.3307
	R	0.65	128.75	***	1.0564	3.5295
	L	0.64	137.53	***	2.4587	2.0017
% 27-30	T	0.88	318.81	***	1.3354	3.6885
	R	0.56	56.05	***	1.7934	3.0603
	L	0.50	54.2	***	3.4201	1.0202

2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansları için bulunan bu eşitlikler vasıtasıyla 0.300-0.800 gr/cm³ tam kuru özgül ağırlık sınırlarında istenen herhangi bir özgül ağırlıktaki ve rutubet miktarındaki dielektrik sabiti değeri belirlenebilir.

3.2.1.5. Dielektrik Sabiti Üzerine Frekansın Etkisi

Dielektrik sabiti üzerine frekansın etkisini belirleyebilmek amacıyla 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen verilerin tümü rutubet grubu, lif yönü ve odun türü ayrımı yapılmaksızın birlikte ele alınarak basit varyans analizi ile araştırılmıştır. Basit varyans analizi sonuçları Tablo 34'de verilmektedir.

Tablo 34. Dielektrik sabiti üzerine frekansın etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Ortalama Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Gruplar arası	13.007	1	13.007	25.312	***
Gruplar içi	646.444	1258	0.514		
Toplam	659.451	1259			

Basit varyans analizi sonuçlarına göre, dielektrik sabiti üzerine frekansın etkisi 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma testi sonuçları Tablo 35’de verilmektedir. Bu sonuçlara göre frekans arttıkça dielektrik sabiti düşmektedir.

Tablo 35. Dielektrik sabiti üzerine frekansın etkisininin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P< 0.05)*

Frekans (GHz)	n	Dielektrik Sabiti	
2.45	630	2.6603	a
9.8	630	2.4571	b

3.2.2. Dielektrik Kayıp Faktörü

Doğu Ladini, Sarıçam, Melez Kavak, Sakalılı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını odun türlerinin teğet, radyal ve liflere paralel yönde, % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20-24 °C oda sıcaklığında ölçülen dielektrik kayıp faktörü değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 36 ve 37’de verilmektedir.

Tablo 36. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp faktörü değerleri

Odun Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Lif Yönü	Rutubet Miktarı (%)																																					
			0						8						12						15						22						28							
			x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s														
Doğu Ladini	0.420	T	0.038	0.009	0.133	0.011	0.235	0.006	0.317	0.050	0.450	0.073	0.622	0.005	R	0.030	0.004	0.132	0.010	0.207	0.104	0.336	0.009	0.396	0.060	0.749	0.007	L	0.070	0.011	0.223	0.004	0.460	0.079	0.650	0.143	1.192	0.128	1.320	0.065
		T	0.042	0.004	0.144	0.008	0.274	0.024	0.328	0.038	0.539	0.029	0.896	0.055	R	0.036	0.004	0.134	0.010	0.246	0.014	0.378	0.044	0.539	0.038	0.924	0.065	L	0.087	0.005	0.286	0.015	0.588	0.016	0.790	0.106	1.561	0.048	1.504	0.074
		T	0.018	0.002	0.113	0.010	0.195	0.024	0.231	0.016	0.353	0.008	0.473	0.017	R	0.027	0.003	0.149	0.021	0.248	0.060	0.317	0.023	0.361	0.068	0.655	0.015	L	0.046	0.004	0.191	0.015	0.443	0.038	0.635	0.036	0.924	0.051	0.968	0.051
Sakallı Kızılağaç	0.475	T	0.029	0.001	0.128	0.028	0.302	0.022	0.327	0.019	0.541	0.018	0.742	0.074	R	0.034	0.002	0.171	0.007	0.384	0.008	0.357	0.042	0.686	0.084	0.889	0.072	L	0.053	0.007	0.341	0.040	0.576	0.059	0.706	0.053	1.761	0.063	1.690	0.065
		T	0.035	0.005	0.129	0.018	0.292	0.014	0.367	0.024	0.564	0.022	0.664	0.006	R	0.046	0.002	0.189	0.003	0.400	0.069	0.420	0.010	0.524	0.048	0.688	0.014	L	0.085	0.003	0.317	0.018	0.554	0.066	0.840	0.108	1.640	0.161	1.385	0.043
		T	0.047	0.002	0.157	0.004	0.386	0.013	0.437	0.013	0.800	0.019	1.106	0.030	R	0.050	0.004	0.239	0.004	0.430	0.013	0.520	0.016	1.053	0.020	1.480	0.024	L	0.067	0.002	0.390	0.012	0.748	0.020	0.899	0.019	2.479	0.070	2.226	0.056
Sapsız Meşe	0.610	T	0.045	0.004	0.169	0.011	0.411	0.024	0.481	0.033	0.788	0.076	1.240	0.183	R	0.044	0.002	0.220	0.003	0.428	0.051	0.639	0.102	1.247	0.100	1.640	0.024	L	0.077	0.005	0.347	0.028	0.845	0.045	0.997	0.131	2.828	0.090	2.506	0.071

Tablo 37. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp faktörü değerleri

Odun Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Lif Yönü	9.8 GHz FREKANSINDA DIELEKTRİK KAYIP FAKTÖRÜ DEĞERLERİ																							
			Rutubet Miktarı (%)																							
			0		8		12		15		22		28													
Doğu Ladini	0.420	T	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.038	0.005	0.108	0.016	0.228	0.022	0.386	0.049	0.608	0.033	0.78	0.019												
			0.040	0.001	0.110	0.001	0.232	0.011	0.340	0.045	0.596	0.18	0.790	0.051												
Sarıçam	0.471	L	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.060	0.001	0.272	0.035	0.432	0.035	0.698	0.141	1.060	0.112	1.124	0.031												
			0.046	0.005	0.100	0.007	0.258	0.015	0.330	0.023	0.706	0.121	0.774	0.005												
Melez Kayak	0.363	R	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.038	0.004	0.110	0.014	0.272	0.028	0.374	0.059	0.666	0.054	0.784	0.005												
			0.074	0.005	0.240	0.010	0.474	0.034	0.712	0.122	1.026	0.019	1.262	0.016												
Sakallı Kızılağaç	0.475	T	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.030	0.001	0.112	0.005	0.180	0.007	0.290	0.071	0.548	0.135	0.654	0.066												
			0.030	0.001	0.104	0.012	0.240	0.016	0.286	0.092	0.538	0.038	0.778	0.070												
Anadolu Keşanesi	0.483	L	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.052	0.004	0.270	0.033	0.424	0.045	0.668	0.026	0.898	0.062	1.166	0.089												
			0.040	0.001	0.206	0.019	0.232	0.013	0.272	0.084	0.598	0.022	0.762	0.054												
Sapsız Meşe	0.610	R	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.040	0.001	0.182	0.040	0.312	0.061	0.374	0.049	0.736	0.158	0.903	0.090												
			0.066	0.009	0.312	0.019	0.508	0.107	0.730	0.070	1.008	0.037	1.260	0.067												
Doğu Kayını	0.658	T	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.046	0.009	0.140	0.007	0.268	0.036	0.414	0.021	0.618	0.043	0.784	0.043												
			0.044	0.005	0.170	0.010	0.304	0.015	0.520	0.042	0.764	0.048	0.846	0.058												
Doğu Kayını	0.658	R	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.066	0.009	0.300	0.022	0.536	0.125	0.776	0.026	1.026	0.070	1.514	0.311												
			0.052	0.005	0.248	0.026	0.356	0.044	0.512	0.040	0.710	0.043	1.006	0.170												
Doğu Kayını	0.658	L	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.052	0.005	0.270	0.037	0.372	0.038	0.536	0.029	0.766	0.055	1.104	0.185												
			0.074	0.005	0.322	0.057	0.656	0.036	0.742	0.084	1.090	0.023	1.600	0.213												
Doğu Kayını	0.658	T	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.052	0.004	0.266	0.058	0.326	0.019	0.564	0.087	0.740	0.055	0.976	0.017												
			0.068	0.004	0.272	0.065	0.388	0.025	0.604	0.038	0.766	0.062	1.122	0.143												
Doğu Kayını	0.658	L	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s		
			0.080	0.007	0.486	0.099	0.828	0.110	0.860	0.075	1.136	0.034	1.454	0.071												
			0.080	0.007	0.486	0.099	0.828	0.110	0.860	0.075	1.136	0.034	1.454	0.071												

Dielektrik kayıp faktörü üzerine odun türü, lif yönü ve rutubet grubunun ve bu faktörlerin etkileşimlerinin etkisini genel olarak belirleyebilmek amacıyla, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında, tüm odun türlerinin teğet radyal ve liflere paralel yönde, % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında gerçekleştirilen ölçümler sonucu elde edilen verileri, çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçları 2.45 GHz için Tablo 38’de ve 9.8 GHz için Tablo 39’da verilmektedir.

Tablo 38. 2.45 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	190.895 ^a	125	1.527	314.761	***
Sabit Terim	196.375	1	196.375	40474.555	***
A: Rutubet Grubu	101.388	5	20.278	4179.403	***
B: Lif Yönü	29.944	2	14.972	3085.809	***
C: Odun Türü	17.307	6	2.884	594.506	***
Etkileşim AB	20.537	10	2.054	423.288	***
Etkileşim AC	16.024	30	0.534	110.089	***
Etkileşim BC	2.058	12	0.172	35.350	***
Etkileşim ABC	3.637	60	6.062E-02	12.494	***
Hata	2.445	504	4.852E-03		
Toplam	389.715	630			
Düzeltilmiş Toplam	193.340	629			

a. $R^2 = 0,987$

Tablo 39. 9.8 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	89.174 ^a	125	0.713	166.181	***
Sabit Terim	157.009	1	157.009	36574.484	***
A: Rutubet Grubu	70.645	5	14.129	3291.258	***
B: Lif Yönü	9.402	2	4.701	1095.048	***
C: Odun Türü	2.827	6	0.471	109.769	***
Etkileşim AB	2.911	10	0.291	67.813	***
Etkileşim AC	1.399	30	4.664E-02	10.865	***
Etkileşim BC	0.401	12	3.341E-02	7.783	***
Etkileşim ABC	1.589	60	2.648E-02	6.169	***
Hata	2.164	504	4.293E-03		
Toplam	248.347	630			
Düzeltilmiş Toplam	91.338	629			

a. $R^2 = 0.979$

Çalışmada kullanılan tüm odun türlerinin tüm rutubet grupları ve lif yönleri ele alınarak yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına dikkat edildiğinde, hem 2.45 GHz hem de 9.8 GHz frekanslarında dielektrik kayıp faktörü üzerine rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün ve bu faktörlerin etkileşimlerinin etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları Tablo 40-41'de özetlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, bütün varyasyonlar birlikte göz önüne alındığında hem 2.45 GHz hem de 9.8 GHz frekansında dielektrik kayıp faktörü % 0 rutubette en düşük ve % 28 rutubette en yüksektir. Ayrıca, dielektrik sabiti teğet yönde en düşük liflere paralel yönde ise en yüksektir. Odun türleri dikkate alındığında ise Melez Kavak en düşük dielektrik sabiti değerine ve Doğu Kayını da en yüksek dielektrik sabiti değerine sahiptir.

Tablo 40. 2.45 GHz frekansında dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P< 0.05)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Faktörü	
Rutubet Grubu (%)	0	105	0.0477	a
	8	105	0.2049	b
	12	105	0.4121	c
	15	105	0.5225	d
	22	105	1.0107	e
	28	105	1.1521	f
Lif Yönü	T	210	0.3709	a
	R	210	0.4399	b
	L	210	0.8640	c
Odun Türü	Melez Kavak	90	0.3526	a
	Doğu Ladini	90	0.3899	b
	Anadolu Kestanesi	90	0.5078	c
	Sarıçam	90	0.5165	c
	Sakallı Kızılağaç	90	0.5490	d
	Sapsız Meşe	90	0.7509	e
	Doğu Kayını	90	0.8414	f

Tablo 41 . 9.8 GHz frekansında dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Faktörü	
Rutubet Grubu (%)	0	105	0.0518	a
	8	105	0.2208	b
	12	105	0.3727	c
	15	105	0.5232	d
	22	105	0.7805	e
	28	105	1.0464	f
Lif Yönü	T	210	0.3898	a
	R	210	0.4381	b
	L	210	0.6697	c
Odun Türü	Melez Kavak	90	0.4058	a
	Doğu Ladini	90	0.4394	b
	Anadolu Kestanesi	90	0.4581	b
	Sarıçam	90	0.5036	c
	Sakallı Kızılağaç	90	0.5076	c
	Sapsız Meşe	90	0.5697	d
	Doğu Kayını	90	0.6104	e

3.2.2.1. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Odun Türünün Etkisi

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, hem 2.45 GHz (Tablo 38) hem de 9.8 GHz (Tablo 39) frekanslarında odun türünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca odun türü ile rutubet grubu ve odun türü ile lif yönünün etkileşiminin de dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisinin hem 2.45 GHz hem de 9.8 GHz de 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Student-Newman-Keuls varyans karşılaştırma sonuçlarına göre, odun türlerine göre, en düşük değerden en yüksek değere doğru dielektrik kayıp faktörü sırasıyla, 2.45 GHz (Tablo 40) de Kavak, Ladin, Kestane, Sarıçam, Kızılağaç, Meşe ve Kayın sıralamasına sahip olup Sarıçam, ve Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır. 9.8 GHz (Tablo 41) de ise Kavak, Ladin, Sarıçam, Kızılağaç, Kestane, Meşe ve Kayın sıralamasına sahip olup Ladin ile Sarıçam ve Kızılağaç ile Kestane ve Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında Sarıçam, Kızılağaç ve Kestane odun türlerinin dielektrik kayıp faktörü değerleri birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

3.2.2.2. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Lif Yönünün Etkisi

Dielektrik kayıp faktörü üzerine lif yönünün etkisi öncelikle tüm varyasyonların birlikte ele alındığı çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, dielektrik kayıp faktörü üzerine lif yönünün etkisi hem 2.45 GHz (Tablo 38) hem de 9.8 GHz (Tablo 39) frekanslarında 0.001 anlam düzeyinde önemlidir.

Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçlarına göre, 2.45 GHz (Tablo 40) ve 9.8 GHz de (Tablo 41), bütün odun türleri birlikte ele alındığında dielektrik kayıp faktörü teğet yönde en düşük liflere paralel yönde ise en yüksek değere sahiptir. Odun türlerinde, dielektrik sabitinin lif yönüne göre farklılık gösterdiği belirlendiğinden, bu aşamadan sonra çalışmaya konu olan odun türlerinin her biri için , dielektrik kayıp faktörünün lif yönüne göre değişiminin irdelenmesine gerek duyulmuştur. Bu amaçla, her odun türü için 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansları ve tüm rutubet grupları ele alınarak basit varyans analizi yapılmıştır. Basit varyans analizi sonuçları Tablo 42’de verilmektedir.

Tablo 42. Odun türlerine göre lif yönünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları		Ortalama Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Doğu Ladini	Gruplar arası	4.182	2	2.091	21.321	***
	Gruplar içi	17.359	177	9.808E-02		
	Toplam	21.541	179			
Sarıçam	Gruplar arası	4.751	2	2.376	16.851	***
	Gruplar içi	24.954	177	0.141		
	Toplam	29.705	179			
Melez Kavak	Gruplar arası	2.918	2	1.459	19.092	***
	Gruplar içi	13.529	177	7.643E-02		
	Toplam	16.447	179			
Sakallı Kızılağaç	Gruplar arası	5.060	2	2.530	13.896	***
	Gruplar içi	32.228	177	0.182		
	Toplam	37.288	179			
Anadolu Kestanesi	Gruplar arası	5.501	2	2.751	19.283	***
	Gruplar içi	25.249	177	0.143		
	Toplam	30.750	179			
Sapsız Meşe	Gruplar arası	6.459	2	3.230	10.896	***
	Gruplar içi	52.464	177	0.296		
	Toplam	58.923	179			
Doğu Kayını	Gruplar arası	8.961	2	1.481	12.147	***
	Gruplar içi	65.291	177	0.369		
	Toplam	74.252	179			

Basit varyans analizi sonuçlarına göre tüm odun türlerinde dielektrik kayıp faktörü üzerine lif yönünün etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Ortalamaların karşılaştırıldığı Student-Newman-Keuls testi sonuçları Tablo 43’de verilmektedir. Student-Newman-Keuls testi sonuçlarına göre, Doğu Ladini hariç diğer odun türlerinde dielektrik kayıp faktörü en düşük değerden yükseğe doğru, teğet, radyal, liflere paralel yön sırasını takip etmekte olup teğet ve radyal arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Doğu Ladininde ise dielektrik kayıp faktörü en düşükten en yüksek değere doğru radyal, teğet ve liflere paralel yön sırasını takip etmekle birlikte istatistiksel olarak radyal ve teğet yön arasında fark bulunmamıştır.

Tablo 43 . Dielektrik kayıp faktörü üzerine lif yönünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Faktörü	
Doğu Ladini	T	60	0.31188	a
	R	60	0.30195	a
	L	60	0.63015	b
Sarıçam	T	60	0.36980	a
	R	60	0.37507	a
	L	60	0.71705	b
Melez Kavak	T	60	0.26642	a
	R	60	0.31402	a
	L	60	0.55717	b
Sakallı Kızılağaç	T	60	0.34810	a
	R	60	0.47990	a
	L	60	0.75087	b
Anadolu Kestanesi	T	60	0.36012	a
	R	60	0.40968	a
	L	60	0.75327	b
Sapsız Meşe	T	60	0.48475	a
	R	60	0.57275	a
	L	60	0.92330	b
Doğu Kayını	T	60	0.52165	a
	R	60	0.61980	a
	L	60	1.03635	b

3.2.2.3. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi

Dielektrik kayıp faktörü üzerine rutubet miktarının etkisinin rutubet süreklilik arzettiği için, odun türlerinin her birinde ayrıca irdelenmesinin yararlı olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla, dielektrik kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki ilişki Ladin, Sarıçam, Kavak, Kızılağaç, Kestane, Kayın ve Meşe odun türlerinin her biri için ayrı olacak şekilde , % 0 dan % LDN rutubet sınırlarına kadar, üç lif yönünde 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekans sınırlarında regresyon analizi ile incelenmiştir. Her bir odun türü için 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı (r) ile dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve dielektrik kayıp faktörü ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm odun türlerinde en iyi ifade eden eşitliğin $\epsilon'' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$ polinomial eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Tablo 44' de 2.45 GHz' de Tablo 45' de 9.8 GHz' de çalışmaya konu olan odun türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 44. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp faktörü (ϵ'') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon'' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]

Odun Türü	Lif Yönü	R ²	F Hesap	Önem Düzeyi	Denklem Katsayıları		
					b ₀	b ₁	b ₂
Doğu Ladini	T	0.88	227.29	***	0.0274	0.0097	0.0005
	R	0.83	145.40	***	0.0350	0.0077	0.0007
	L	0.88	285.98	***	0.0301	0.0190	0.0013
Sarıçam	T	0.91	234.21	***	0.0421	0.0077	0.0008
	R	0.98	1033.76	***	0.0582	0.0010	0.0012
	L	0.92	399.70	***	-0,0573	0,0374	0,0011
Melez Kavak	T	0.90	300.46	***	0.0135	0.0132	0.0001
	R	0.96	443.74	***	0.0160	0.0173	0.0002
	L	0.93	436.06	***	-0.0018	0.0361	0.0002
Sakallı Kızılağaç	T	0.97	688.63	***	0.0164	0.0170	0.0003
	R	0.90	172.30	***	0.1212	0.0017	0.0011
	L	0.94	298.70	***	0.0407	0.0288	0.0013
Anadolu Kestanesi	T	0.92	311.62	***	0.0177	0.0240	-5.E-05
	R	0.92	336.04	***	0.0294	0.0257	-1.E-06
	L	0.91	299.06	***	0.0662	0.0329	0.0009
Sapsız Meşe	T	0.96	1201.19	***	0.0330	0.0134	0.0009
	R	0.96	1330.87	***	0.0478	0.0138	0.0014
	L	0.92	146.44	***	0.0206	0.0442	0.0014
Doğu Kayını	T	0.84	140.92	***	0.0277	0.0089	0.0015
	R	0.89	216.35	***	0,0181	0,0081	0,0022
	L	0.89	207.03	***	0.0389	0.0237	0.0028

Tablo 45. 9.8 GHz frekansında ve 20 –24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp faktörü (ϵ'') ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon'' = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]

Odun Türü	Lif Yönü	R ²	F Hesap	Önem Düzeyi	Denklem Katsayıları		
					b ₀	b ₁	b ₂
Doğu Ladini	T	0.95	1296.53	***	0.0213	0.0092	0.0006
	R	0.86	391.66	***	0.0097	0.0137	0.0005
	L	0.90	711.45	***	-0.0251	0.0410	7.E-05
Sarıçam	T	0.92	740.14	***	0.0222	0.0092	0.0007
	R	0.94	959.36	***	0.0182	0.0092	0.0007
	L	0.89	188.60	***	0.0223	0.0297	0.0005
Melez Kavak	T	0.92	1068.24	***	0.0036	0.0088	0.0005
	R	0.96	2105.50	***	0.0216	0.0097	0.0006
	L	0.94	1524.0	***	-0.0080	0.0314	0.0004
Sakallı Kızılağaç	T	0.95	1536.24	***	-0.0124	0.0198	0.0002
	R	0.86	509.64	***	-0.0194	0.0190	0.0007
	L	0.95	1349.40	***	-0.0507	0.0491	-8.E-05
Anadolu Kestanesi	T	0.95	1172.94	***	0.0005	0.0171	0.0004
	R	0.86	436.19	***	-0.0008	0.0216	0.0003
	L	0.92	824.4	***	0.0560	0.0265	0.0009
Sapsız Meşe	T	0.94	1004.11	***	0.0348	0.0212	0.0004
	R	0.92	758.02	***	0.0243	0.0287	0.0002
	L	0.92	745.13	***	0.0704	0.0335	0.0004
Doğu Kayını	T	0.92	968.27	***	0.0338	0.0259	0.0002
	R	0.86	492.96	***	0.0620	0.0267	0.0003
	L	0.94	1232.01	***	0.0208	0.0576	-0.0003

Bu eşitlikler yardımıyla % 0 ile LDN arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan her bir odun türünün teğet, radyal ve liflere paralel yöndeki dielektrik kayıp faktörü değeri belirlenebilir. Dielektrik kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R²), 2.45 GHz frekansında 0.97-0.83 ve 9.8 GHz frekansında 0.96-0.86 arasında değişmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, tüm odun türlerinde dielektrik kayıp faktörü ile rutubet miktarı arasına 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla elde edilen değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bazı değerlerdeki küçük sapmalar odun türünün özgül ağırlığının geniş sınırlar içinde değişmesinden kaynaklanabilir.

3.2.2.4. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Özgül Ağırlığın Etkisi

Dielektrik kayıp faktörü üzerine özgül ağırlığın etkisini belirleyebilmek için odun türü ayrımı yapılmaksızın Ladin, Sarıçam, Kavak, Kızılağaç, Kestane, Meşe ve Kayın odun türlerinin kayıp faktörü değerleri birleştirilerek teğet, radyal ve liflere paralel yönde ve % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında kayıp faktörü ve tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Dielektrik kayıp faktörü rutubet miktarından güçlü bir şekilde etkilendiği için özgül ağırlığın etkisi araştırılırken rutubet grupları oluşturulmuştur ve regresyon analizleri bu gruplar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tam kuru özgül ağırlık ve dielektrik kayıp faktörü arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden eşitliğin belirlenebilmesi için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve bütün rutubet gruplarında en uygun eşitliğin lineer eşitlik $\varepsilon' = b_0 + b_1 \delta_0$ olduğu belirlenmiştir. Tablo 46 ve 47'de 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20 °C sıcaklıkta % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 gruplarında dielektrik sabiti ve tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişkiyi belirleyen regresyon analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 46. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp faktörü (ε'') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\varepsilon'' = b_0 + b_1 \delta_0$]

Rutubet Grubu	Lif Yönü	R ²	F Oranı	Önem düzeyi	Denklem Katsayıları	
					b ₀	b ₁
% 0	T	0.62	86.64	***	-0.0124	0.0983
	R	0.53	52.66	***	-0.0006	0.0799
	L	0.40	36.97	***	0.0098	0.1274
% 7-9	T	0.65	71.11	***	0.0526	0.1721
	R	0.54	38.25	***	-0.0348	0.4573
	L	0.77	100.56	***	-0.0992	0.8147
% 11-13	T	0.79	249.60	***	-0.0484	0.7072
	R	0.76	188.39	***	-0.0828	0.8548
	L	0.78	276.93	***	-0.0917	1.3972
% 14-16	T	0.72	159.74	***	0.0140	0.6887
	R	0.79	146.96	***	-0.1004	1.0346
	L	0.69	78.91	***	0.0941	1.3398
% 21-23	T	0.78	101.26	***	0.0199	1.1647
	R	0.79	69.80	***	0.0168	3.0255
	L	0.72	120.31	***	-1.2973	6.2411
% 27-30	T	0.81	145.68	***	-0.7225	3.0594
	R	0.88	157.76	***	0.5581	2.9295
	L	0.49	127.55	***	-78.94	4.9741

Tablo 47. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\epsilon'' = b_0 + b_1 \delta_0$]

Rutubet Grubu	Lif Yönü	R ²	F Oranı	Önem düzeyi	Denklem Katsayıları	
					b ₀	b ₁
% 0	T	0.82	312.80	***	-0.0003	0.0834
	R	0.83	319.59	***	0.0010	0.0853
	L	0.73	192.36	***	0.0224	0.0910
% 7-9	T	0.72	199.52	***	-0.1246	0.5933
	R	0.59	87.45	***	-0.1115	0.5991
	L	0.57	93.62	***	-0.0084	0.6952
% 11-13	T	0.74	457.35	***	-0.0520	0.6145
	R	0.63	306.06	***	-0.0700	0.7280
	L	0.55	179.05	***	0.0639	0.8629
% 14-16	T	0.64	169.76	***	-0.0341	0.8140
	R	0.65	158.46	***	0.0084	0.8220
	L	0.72	128.35	***	0.0904	1.2382
% 21-23	T	0.69	107.18	***	0.0517	1.1725
	R	0.71	125.21	***	0.0762	1.1809
	L	0.66	110.08	***	0.5739	0.8527
% 27-30	T	0.79	131.76	***	0.3270	1.0111
	R	0.67	64.17	***	0.0050	1.8912
	L	0.60	67.65	***	0.7874	1.0661

Regresyon analizi sonuçlarına göre, tam kuru özgül ağırlığın dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisi bütün rutubet grupları ve lif yönleri için 0.001 anlam düzeyinde önemlidir. Dielektrik kayıp faktörü ile tam kuru özgül ağırlık arasında güçlü lineer bir ilişki mevcuttur. Regresyon katsayısı (R^2), 2.45 GHz için 0.88-0.40 arasında, 9.8 GHz için 0.83- 0.55 arasında değişmektedir. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansları için bulunan bu eşitlikler vasıtasıyla 0.300-0.800 gr/cm³ tam kuru özgül ağırlık sınırlarında istenen herhangi bir özgül ağırlıktaki dielektrik kayıp faktörü değeri belirlenebilir.

3.2.2.5. Dielektrik Kayıp Faktörü Üzerine Frekansın Etkisi

Dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisini belirleyebilmek amacıyla 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen verilerin tümü rutubet grubu, lif yönü ve odun türü ayrımı yapılmaksızın birlikte ele alınarak basit varyans analizi ile araştırılmıştır. Basit varyans analizi sonuçları Tablo 48'de verilmektedir.

Basit varyans analizi sonuçlarına göre, dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisi 0.05 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 48. Dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Ortalama Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Gruplar arası	1.100	1	1.100	4.860	*
Gruplar içi	284.678	1258	0.226		
Toplam	285.778	1259			

Varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls testi karşılaştırma sonuçları Tablo 49’da verilmektedir. Bu sonuçlara göre, frekans arttıkça dielektrik kayıp faktörü düşmektedir.

Tablo 49. Dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Frekans (GHz)	n	Dielektrik Kayıp Faktörü	
2.45	630	0.55831	a
9.8	630	0.4992	b

3.2.3. Dielektrik Kayıp Tanjantı

Doğu Ladini, Sarıçam, Melez Kavak, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi , Sapsız Meşe ve Doğu Kayını odun türlerinin teğet, radyal ve liflere paralel yönde, % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20-24 °C oda sıcaklığında ölçülen dielektrik kayıp tanjantı değerlerine ait verilerin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 50 ve 51’de verilmektedir.

Tablo 50. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri

Odun Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Lif Yönü	2.45 GHz FREKANSINDA DIELEKTRİK KAYIP TANJANTI DEĞERLERİ											
			Rutubet Miktarı (%)											
			0		8		12		15		22		28	
x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	
Doğu Ladini	0.420	T	0.024	0.004	0.073	0.005	0.121	0.003	0.151	0.008	0.194	0.037	0.189	0.002
		R	0.019	0.003	0.075	0.008	0.124	0.004	0.152	0.003	0.166	0.005	0.188	0.003
		L	0.035	0.006	0.099	0.002	0.179	0.027	0.222	0.029	0.360	0.046	0.320	0.016
Sarıçam	0.471	T	0.025	0.002	0.081	0.008	0.127	0.009	0.141	0.009	0.185	0.014	0.204	0.009
		R	0.022	0.002	0.070	0.004	0.118	0.005	0.155	0.011	0.185	0.015	0.226	0.048
		L	0.036	0.004	0.120	0.008	0.204	0.004	0.268	0.050	0.431	0.010	0.367	0.019
Melez Kayağ	0.363	T	0.012	0.002	0.069	0.005	0.106	0.009	0.120	0.004	0.163	0.010	0.197	0.004
		R	0.018	0.001	0.082	0.010	0.119	0.001	0.142	0.008	0.149	0.010	0.201	0.024
		L	0.027	0.002	0.096	0.007	0.172	0.013	0.220	0.006	0.298	0.011	0.234	0.012
Sakallı Kızılağaç	0.475	T	0.018	0.001	0.069	0.013	0.139	0.010	0.144	0.006	0.183	0.001	0.224	0.020
		R	0.021	0.001	0.085	0.004	0.162	0.013	0.147	0.011	0.225	0.041	0.307	0.074
		L	0.028	0.004	0.136	0.013	0.201	0.013	0.228	0.011	0.473	0.013	0.413	0.016
Anadolü Keşanesi	0.483	T	0.022	0.003	0.070	0.007	0.128	0.003	0.151	0.006	0.186	0.004	0.206	0.003
		R	0.028	0.001	0.090	0.002	0.159	0.019	0.163	0.003	0.184	0.007	0.225	0.0029
		L	0.043	0.002	0.123	0.003	0.191	0.016	0.265	0.024	0.470	0.029	0.359	0.059
Sapsız Meşe	0.610	T	0.027	0.005	0.075	0.009	0.151	0.003	0.160	0.002	0.251	0.004	0.266	0.005
		R	0.027	0.002	0.100	0.007	0.159	0.002	0.178	0.003	0.328	0.006	0.296	0.003
		L	0.040	0.005	0.139	0.009	0.232	0.014	0.275	0.004	0.623	0.015	0.544	0.014
Doğu Kayını	0.658	T	0.028	0.002	0.076	0.003	0.158	0.010	0.166	0.009	0.232	0.021	0.285	0.076
		R	0.027	0.001	0.092	0.003	0.152	0.012	0.200	0.022	0.330	0.081	0.321	0.004
		L	0.042	0.002	0.123	0.010	0.251	0.011	0.324	0.097	0.695	0.018	0.613	0.018

Tablo 51. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C de, odun türü, lif yönü ve rutubet miktarına göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri

Odun Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Lif Yönü	9.8 GHz FREKANSINDA DİELEKTRİK KAYIP TANJANTI DEĞERLERİ																							
			Rutubet Miktarı (%)																							
			0				8				12				15				22				28			
x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s			
Doğu Ladini	0.420	T	0.026	0.005	0.062	0.008	0.118	0.011	0.190	0.020	0.246	0.015	0.268	0.004												
		R	0.028	0.004	0.062	0.004	0.124	0.005	0.166	0.022	0.248	0.011	0.272	0.013												
		L	0.034	0.005	0.132	0.015	0.188	0.008	0.356	0.239	0.318	0.016	0.304	0.011												
Sarıçam	0.471	T	0.026	0.005	0.058	0.005	0.130	0.007	0.152	0.013	0.244	0.018	0.250	0.012												
		R	0.026	0.005	0.064	0.009	0.134	0.013	0.170	0.022	0.238	0.005	0.262	0.008												
		L	0.042	0.004	0.114	0.005	0.190	0.007	0.268	0.040	0.294	0.011	0.316	0.005												
Melez Kayaç	0.363	T	0.020	0.001	0.072	0.004	0.102	0.004	0.150	0.023	0.228	0.022	0.262	0.016												
		R	0.020	0.001	0.084	0.005	0.126	0.005	0.148	0.035	0.228	0.013	0.282	0.018												
		L	0.032	0.004	0.136	0.015	0.192	0.016	0.254	0.009	0.294	0.011	0.330	0.036												
Sakallı Kızılağaç	0.475	T	0.020	0.001	0.118	0.008	0.124	0.005	0.138	0.004	0.230	0.007	0.254	0.011												
		R	0.024	0.005	0.096	0.021	0.148	0.024	0.168	0.013	0.250	0.035	0.396	0.053												
		L	0.036	0.004	0.150	0.012	0.202	0.035	0.254	0.015	0.286	0.009	0.344	0.035												
Anadolu Keşanesi	0.483	T	0.028	0.004	0.078	0.004	0.128	0.008	0.192	0.015	0.230	0.012	0.258	0.011												
		R	0.028	0.004	0.086	0.005	0.144	0.018	0.218	0.008	0.250	0.007	0.260	0.010												
		L	0.038	0.004	0.138	0.016	0.196	0.005	0.264	0.005	0.286	0.013	0.490	0.096												
Sapsız Meşe	0.610	T	0.029	0.001	0.118	0.011	0.158	0.016	0.202	0.013	0.234	0.013	0.270	0.041												
		R	0.030	0.001	0.116	0.005	0.160	0.016	0.208	0.008	0.244	0.011	0.304	0.046												
		L	0.034	0.005	0.130	0.012	0.232	0.013	0.236	0.021	0.256	0.005	0.458	0.072												
Doğu Kayını	0.658	T	0.030	0.001	0.128	0.022	0.140	0.007	0.210	0.032	0.238	0.011	0.268	0.011												
		R	0.030	0.004	0.124	0.026	0.154	0.009	0.222	0.022	0.236	0.015	0.318	0.063												
		L	0.038	0.004	0.190	0.037	0.264	0.029	0.252	0.015	0.310	0.012	0.436	0.033												

Dielektrik kayıp tanjantı üzerine odun türü, lif yönü ve rutubet grubunun ve bu faktörlerin etkileşimlerinin etkisini genel olarak belirleyebilmek amacıyla, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında, tüm odun türlerinin teğet radyal ve liflere paralel yönde, % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında gerçekleştirilen ölçümler sonucu elde edilen verileri çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçları Tablo 52 ve 53' de verilmektedir.

Tablo 52. 2.45 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	10.810 ^a	125	8.648E-02	204.620	***
Sabit Terim	19.959	1	19.959	47225.798	***
A: Rutubet Grubu	6.345	5	1.269	3002.443	***
B: Lif Yönü	1.670	2	0.835	1975.657	***
C: Odun Türü	0.673	6	0.112	265.460	***
Etkileşim AB	1.015	10	0.101	240.128	***
Etkileşim AC	0.660	30	2.201E-02	52.070	***
Etkileşim BC	0.155	12	1.291E-02	30.541	***
Etkileşim ABC	0.292	60	4.870E-03	11.522	***
Hata	0.213	504	4.226E-04		
Toplam	30.981	630			
Düzeltilmiş Toplam	11.023	629			

a. $R^2 = 0.981$

Tablo 53. 9.8 GHz frekansında rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	6.745 ^a	125	5.396E-02	62.411	***
Sabit Terim	20.348	1	20.348	23534.489	***
A: Rutubet Grubu	5.572	5	1.114	1288.991	***
B: Lif Yönü	0.570	2	0.285	329.834	***
C: Odun Türü	8.897E-02	6	1.483E-02	17.150	***
Etkileşim AB	0.142	10	1.422E-02	16.446	***
Etkileşim AC	0.122	30	4.064E-03	4.701	***
Etkileşim BC	2.502E-02	12	2.085E-03	2.411	**
Etkileşim ABC	0.224	60	3.738E-03	4.324	***
Hata	0.436	504	8.646E-04		
Toplam	27.529	630			
Düzeltilmiş Toplam	7.181	629			

a. $R^2 = 0.939$

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, hem 2.45 GHz hem de 9.8 GHz frekanslarında dielektrik kayıp tanjantı üzerine rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Rutubet grubu ile lif yönü ve ayrıca rutubet grubu, lif yönü ve odun türünün birlikte etkileşiminin kayıp tanjantı üzerindeki etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli, lif yönü ile odun türünün etkileşiminin ise 0.01 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları 2.45 GHz için Tablo 54 ve 9.8 GHz için Tablo 55' de özetlenmiştir.

Tablo 54. 2.45 GHz frekansında dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Tanjantı	
Rutubet Grubu (%)	0	105	0.0267	a
	8	105	0.0925	b
	12	105	0.1597	c
	15	105	0.1891	d
	22	105	0.3005	e
	28	105	0.2995	e
Lif Yönü	T	210	0.32564	a
	R	210	0.14788	b
	L	210	0.25046	c
Odun Türü	Melez Kavak	90	0.13483	a
	Doğu Ladini	90	0.14973	b
	Sarıçam	90	0.16518	c
	Anadolu Kestanesi	90	0.17004	c
	Kızılağaç	90	0.17778	d
	Sapsız Meşe	90	0.21147	e
	Doğu Kayın	90	0.23690	f

Tablo 55. 9.8 GHz frekansında dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Tanjantı	
Rutubet Grubu (%)	0	105	0.0298	a
	8	105	0.1074	b
	12	105	0.1597	c
	15	105	0.2104	d
	22	105	0.2566	e
	28	105	0.3144	f
Lif Yönü	T	210	0.1530	a
	R	210	0.1640	b
	L	210	0.2218	c
Odun Türü	Melez Kavak	90	0.1644	a
	Doğu Ladini	90	0.1654	a
	Sarıçam	90	0.1746	ab
	Anadolu Kestanesi	90	0.1746	bc
	Kızılağaç	90	0.1799	bc
	Sapsız Meşe	90	0.1840	c
	Doğu Kayını	90	0.1998	d

3.2.3.1. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Odun Türünün Etkisi

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, hem 2.45 GHz (Tablo 52) hem de 9.8 GHz (Tablo 53) frekanslarında odun türünün dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Student-Newman-Keuls testi varyans ortalamalarının karşılaştırma sonuçlarına göre, odun türlerine göre, en düşük değerden en yüksek değere doğru dielektrik kayıp tanjantı sırasıyla, 2.45 GHz (Tablo 54) de Kavak, Ladin, Sarıçam, Kestane, Kızılağaç, Meşe ve Kayın sıralamasını takip etmekte olup Sarıçam, ve Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır. 9.8 GHz de (Tablo 55) Kavak, Sarıçam, Ladin, Kızılağaç, Kestane, Meşe ve Kayın sırasını takip etmekte olup, Kavak, Ladin ile Sarıçam ve Ladin, Kızılağaç ile Kestane ve Kızılağaç, Kestane ve Meşe aynı grupta yer almaktadır. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında Sarıçam, Kızılağaç ve Kestane odun türlerinin dielektrik kayıp tanjantı değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

3.2.3.2. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Lif Yönünün Etkisi

Dielektrik kayıp tanjantı üzerine lif yönünün etkisi öncelikle tüm varyasyonların birlikte ele alındığı çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Buna göre dielektrik kayıp tanjantı üzerine lif yönünün etkisi hem 2.45 GHz (Tablo 52) hem de 9.8 GHz (Tablo 53) frekanslarında 0.001 anlam düzeyinde önemlidir. Student-Newman-Keuls Karşılaştırma sonuçlarına göre bütün odun türleri birlikte ele alındığında hem 2.45 GHz (Tablo 54) hemde 9.8 GHz (Tablo 54) dielektrik kayıp tanjantı teğet yönde en düşük liflere paralel yönde ise en yüksek değere sahiptir. Çalışmaya konu olan odun türlerinin her biri için , dielektrik kayıp tanjantının lif yönüne göre değişimini belirleyebilmek amacıyla 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansları ve tüm rutubet grupları ele alınarak basit varyans analizi yapılmıştır. Basit varyans analizi sonuçları Tablo 56’da verilmektedir.

Tablo 56. Odun türlerine göre lif yönünün dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları		Ortalama Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Doğu Ladimi	Gruplar arası	0.229	2	0.114	11.479	***
	Gruplar içi	1.765	177	9.973E-03		
	Toplam	1.994	179			
Sarıçam	Gruplar arası	0.284	2	0.142	15.928	***
	Gruplar içi	1.581	177	8.929E-03		
	Toplam	1.865	179			
Melez Kavak	Gruplar arası	0.152	2	7.620E-02	10.682	
	Gruplar içi	1.263	177	7.133E-03		
	Toplam	1.415	179			
Kızılağaç	Gruplar arası	0.257	2	0.128	10.807	***
	Gruplar içi	2.101	177	1.187E-02		
	Toplam	2.357	179			
Kestane	Gruplar arası	0.346	2	0.173	15.582	***
	Gruplar içi	1.964	177	1.109E-02		
	Toplam	2.309	179			
Meşe	Gruplar arası	0.406	2	0.203	12.388	***
	Gruplar içi	2.898	177	1.637E-02		
	Toplam	3.304	179			
Doğu Kayını	Gruplar arası	0.516	2	0.258	11.892	***
	Gruplar içi	3.840	177	2.169E-02		
	Toplam	4.356	179			

Basit varyans analizi sonuçlarına göre tüm odun türlerinde dielektrik kayıp tanjantı üzerine lif yönünün etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Ortalamaların karşılaştırıldığı Student-Newman-Keuls testi sonuçları Tablo 57’de verilmektedir. Bu sonuçlarına göre, Doğu Ladini hariç diğer odun türlerinde dielektrik kayıp tanjantı en düşük değerden en yükseğe doğru, teğet, radyal, liflere paralel yön sırasını takip etmekte olup teğet ve radyal arasında fark olmadığı belirlenmiştir. Doğu Ladini’nde ise dielektrik kayıp tanjantı en düşükten en yüksek değere doğru radyal, teğet ve liflere paralel yön sırasını takip etmekle beraber istatistiksel olarak radyal ve teğet yön arasında fark bulunmamıştır.

Tablo 57. Dielektrik kayıp tanjantı üzerine lif yönünün etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P< 0.05)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Faktörü	
Doğu Ladini	T	60	0.13852	a
	R	60	0.13537	a
	L	60	0.21255	b
Sarıçam	T	60	0.13522	a
	R	60	0.13923	a
	L	60	0.22148	b
Melez Kavak	T	60	1.12512	a
	R	60	0.13328	a
	L	60	0.19052	b
Sakallı Kızılağaç	T	60	0.13832	a
	R	60	0.16898	a
	L	60	0.22920	b
Anadolu Kestanesi	T	60	0.13968	a
	R	60	0.15285	a
	L	60	0.23853	b
Sapsız Meşe	T	60	0.15638	a
	R	60	0.17917	a
	L	60	0.26653	b
Doğu Kayını	T	60	0.17705	a
	R	60	0.18402	a
	L	60	0.29395	b

3.2.3.3. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Rutubet Miktarının Etkisi

Dielektrik kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki ilişki Ladin, Sarıçam, Kavak, Kızılağaç, Kestane, Kayın ve Meşe odun türlerinin her biri için ayrı olacak şekilde, % 0 dan % LDN rutubet sınırlarına kadar, üç lif yönünde , 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında regresyon analizi ile incelenmiştir. Tablo 58-59' da çalışmaya konu olan odun türleri için elde edilen regresyon analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 58. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan\delta = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]

Odun Türü	Lif Yönü	R ²	F Hesap	Önem Düzeyi	Denklem Katsayıları		
					b ₀	b ₁	b ₂
Doğu Ladini	T	0.91	312.00	***	0.0172	0.0084	-3.E-05
	R	0.87	192.38	***	0.0155	0.0097	-9.E-05
	L	0.86	233.38	***	0.0297	0.0087	0.0002
Sarıçam	T	0.91	237.46	***	0.0227	0.0090	-6.E-05
	R	0.94	365.48	***	0.0336	0.0037	0.0002
	L	0.82	290.66	***	-0,0197	0,0175	5.9E-05
Melez Kavak	T	0.93	438.26	***	0.0052	0.0093	-9.E-05
	R	0.95	399.17	***	0.0145	0.0098	-9.E-05
	L	0.92	207.71	***	0.0127	0.0166	-0.0002
Sakallı Kızılağaç	T	0.86	152.16	***	0.0268	0.0085	-5.E-05
	R	0.88	138.75	***	0.0232	0.0080	6.8E-05
	L	0.92	203.85	***	0.0220	0.0124	0.0002
Anadolu Kestanesi	T	0.93	332.05	***	0.0169	0.0117	-0.0002
	R	0.95	534.84	***	0.0212	0.0117	-0.0002
	L	0.93	291.07	***	0,0364	0,0138	-7.E-06
Sapsız Meşe	T	0.87	108.26	***	0.0119	0.0122	-0.0002
	R	0.92	149.15	***	0.0164	0.0136	-9E-05
	L	0.92	135.30	***	0.0254	0,0160	0.0001
Doğu Kayını	T	0.74	183.15	***	0.0153	0.0076	0.0002
	R	0.74	125.98	***	0.0080	0.0080	0.0004
	L	0.89	176.00	***	0.0173	0.0121	0.0005

Her bir odun türü için 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı (r) ile dielektrik kayıp tanjantı ($\tan\delta$) arasındaki ilişkiyi en iyi ifade edebilen eşitliği belirleyebilmek için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve dielektrik kayıp tanjantı ve rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm odun türlerinde en iyi ifade eden eşitliğin $\tan\delta = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$ polinomial eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Dielektrik kayıp

tanjantı ile rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon katsayıları (R^2), 2.45 GHz frekansında 0.95 - 0.74 ve 9.8 GHz frekansında 0.94-0.81 arasında değişmektedir. Regresyon analizi sonuçlarına göre tüm odun türlerinde ve üç lif yönünde dielektrik kayıp tanjantı ile rutubet miktarı arasında 0.001 anlam düzeyinde güçlü pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Tablo 59. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta % 0-LDN rutubet miktarı sınırlarında odun türlerine göre kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ile rutubet miktarı (r) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan\delta = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$]

Odun Türü	Lif Yönü	R^2	F Hesap	Önem Düzeyi	Denklem Katsayıları		
					b_0	b_1	b_2
Doğu Ladini	T	0.90	555.74	***	0.0133	0.0089	2.1E-05
	R	0.87	412.39	***	0.0116	0.0098	-2.E-05
	L	0.91	717.70	***	0.0136	0.0183	-0.0003
Sarıçam	T	0.91	574.59	***	0.0135	0.0087	3.4E-05
	R	0.90	551.54	***	0.0121	0.0087	4.7E-05
	L	0.87	382.25	***	0.0211	0.0159	-0.0002
Melez Kavak	T	0.94	1385.37	***	0.0054	0.0077	4.6E-05
	R	0.94	1360.01	***	0.0068	0.0100	-3.E-05
	L	0.94	1430.02	***	0.0186	0.0155	-0.0001
Sakallı Kızılağaç	T	0.91	773.64	***	0.0038	0.0117	-0.0001
	R	0.91	757.45	***	0.0002	0.0129	-8.E-05
	L	0.90	730.78	***	0.0189	0.0175	-0.0002
Anadolu Kestanesi	T	0.92	818.30	***	0.0076	0.0107	-6.E-05
	R	0.87	453.34	***	0.0083	0.0124	-0.0001
	L	0.89	547.86	***	0.0260	0.0162	-0.0002
Sapsız Meşe	T	0.92	738.09	***	0.0195	0.0119	-0.0001
	R	0.93	896.16	***	0.0176	0.0133	-0.0002
	L	0.91	641.92	***	0.0392	0.0125	-5.E-05
Doğu Kayını	T	0.89	682.87	***	0.0258	0.0130	-0.0002
	R	0.81	340.57	***	0.0398	0.0115	-7.E-05
	L	0.89	683.84	***	0.0502	0.0134	-3.E-05

Elde edilen bu regresyon eşitlikleri yardımıyla % 0 ile LDN arasındaki herhangi bir rutubet derecesinde çalışmaya konu olan her bir ağaç türünün teğet, radyal ve liflere paralel yöndeki dielektrik kayıp tanjantı değeri belirlenebilir. Elde edilen eşitliklerden hesaplanan değerler deneysel verilerin ortalamaları ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Bazı değerlerdeki küçük sapmalar odun türünün özgül ağırlığının geniş sınırlar içinde değişmesinden kaynaklanabilir.

3.2.3.4. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Özgül Ağırlığın Etkisi

Dielektrik kayıp tanjantı üzerine özgül ağırlığın etkisini belirleyebilmek için odun türü ayrımı yapılmaksızın çalışılan tüm odun türlerinin dielektrik kayıp tanjantı değerleri birleştirilerek teğet, radyal ve liflere paralel yönde ve % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 rutubet gruplarında 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik kayıp tanjantı ve tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişki regresyon analizi ile araştırılmıştır.

Tam kuru özgül ağırlık ve dielektrik kayıp tanjantı arasındaki ilişkiyi en iyi ifade eden eşitliğin belirlenebilmesi için tüm regresyon eşitlikleri denenmiş ve bütün rutubet gruplarında en uygun eşitliğin lineer eşitlik $\tan\delta = b_0 + b_1 \delta_0$ olduğu belirlenmiştir. Tablo 60-61 de, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20 °C sıcaklıkta % 0, 8, 12, 15, 22 ve 28 gruplarında dielektrik kayıp tanjantı ve tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 60. 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan\delta = b_0 + b_1 \delta_0$]

Rutubet Grubu	Lif Yönü	R ²	F Oranı	Önem düzeyi	Denklem Katsayıları	
					b ₀	b ₁
% 0	T	0.43	39.99	***	0.0022	0.0397
	R	0.34	24.54	***	0.0114	0.0234
	L	0.35	20.44	***	0.0223	0.0299
% 7-9	T	0.30	27.10	***	0.0575	0.0293
	R	0.34	26.81	***	0.0494	0.0849
	L	0.62	48.93	***	0.0410	0.1624
% 11-13	T	0.57	84.73	***	0.0607	0.1474
	R	0.53	68.88	***	0.0619	0.1622
	L	0.62	98.87	***	0.0811	0.2510
% 14-16	T	0.47	54.05	***	0.0874	0.1186
	R	0.61	59.43	***	0.0744	0.1723
	L	0.49	33.56	***	0.1086	0.2764
% 21-23	T	0.79	102.97	***	0.0814	0.2300
	R	0.75	69.33	***	0.0033	0.4249
	L	0.46	54.21	***	0.2032	0.3913
% 27-30	T	0.87	234.13	***	0.0293	0.3935
	R	0.79	107.74	***	0.0334	0.4057
	L	0.54	130.81	***	0.2701	0.4200

Tablo 61. 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta rutubet gruplarına göre dielektrik kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ile tam kuru özgül ağırlık (δ_0) arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon eşitlikleri [$\tan\delta = b_0 + b_1 \delta_0$]

Rutubet Grubu	Lif Yönü	R ²	F Oram	Önem düzeyi	Denklem Katsayıları	
					b ₀	b ₁
% 0	T	0.59	96.80	***	0.0120	0.0270
	R	0.61	104.98	***	0.0133	0.0261
	L	0.28	27.78	***	0.0281	0.0170
% 7-9	T	0.57	106.30	***	-0.0211	0.2272
	R	0.46	51.44	***	0.0081	0.2095
	L	0.32	33.85	***	0.0616	0.1776
% 11-13	T	0.46	136.69	***	0.0516	0.1472
	R	0.36	102.63	***	0.0589	0.1581
	L	0.35	82.56	***	0.1071	0.1799
% 14-16	T	0.38	59.26	***	0.0783	0.1781
	R	0.37	51.91	***	0.1007	0.1563
	L	0.30	20.66	***	0.1696	0.1602
% 21-23	T	0.27	17.82	***	0.1681	0.1286
	R	0.30	12.48	***	0.1921	0.0859
	L	0.30	12.35	***	0.2522	0.0733
% 27-30	T	0.26	11.69	***	0.2296	0.0664
	R	0.36	17.76	***	0.1376	0.2984
	L	0.29	18.29	***	0.1763	0.4180

Regresyon analizi sonuçlarına göre, tam kuru özgül ağırlığın dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Dielektrik kayıp tanjantı ile tam kuru özgül ağırlık arasında bütün rutubet gruplarında pozitif linner bir ilişki vardır. Regresyon katsayısı (R²) 2.45 GHz için 0.88-0.30 ve 9.8 GHz için 0.59-0.26 arasında değişmektedir. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında bulunan bu eşitlikler vasıtasıyla 0.300-0.800 (gr/cm³) tam kuru özgül ağırlık sınırlarında istenen herhangi bir özgül ağırlık ve rutubet miktarındaki dielektrik kayıp tanjantı değeri hesaplanabilir.

3.2.3..5. Dielektrik Kayıp Tanjantı Üzerine Frekansın Etkisi

Dielektrik kayıp tanjantı üzerine frekansın etkisini belirleyebilmek amacıyla 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen verilerin tümü rutubet grubu, lif yönü ve odun türü ayrımı yapılmaksızın birlikte ele alınarak basit varyans analizi ile araştırılmıştır. Basit varyans analizi sonuçları Tablo 62' de verilmektedir.

Basit varyans analizi sonuçlarına göre, frekansın dielektrik kayıp tanjantı üzerindeki etkisinin 0.05 anlam düzeyinde önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Tablo 62. Dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Ortalama Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Gruplar arası	9.412E-04	1	9.412E-04	0.065	BD
Gruplar içi	18.204	1258	1.447E-02		
Toplam	18.205	1259			

Varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları Tablo 63'de verilmektedir. Student-Newman-Keuls testi sonuçlarına göre frekans yükseldikçe dielektrik kayıp tanjantı artış göstermekle birlikte ortalamalar arasındaki fark önemsizdir.

Tablo 63. Dielektrik kayıp faktörü üzerine frekansın etkisinin araştırıldığı varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Frekans (GHz)	n	Dielektrik Kayıp Tanjantı	
2.45	630	0.17799	a
9.8	630	0.17972	a

3.3. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özelliklerine Ait Bulgular

3.3.1. Emprenye Çözeltilerinin Özellikleri

Doğu Kayını, Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç odun örneklerinin emprenye edilmesi işlemlerinde kullanılan çözeltilerin özellikleri Tablo 64' de verilmektedir.

Bu sonuçlara göre, çözeltilerin emprenye öncesi ve sonrasında ölçülen pH değerleri ve yoğunluklarında önemli ölçüde değişimler olmamıştır. Bu durum her emprenye varyasyonunda taze çözeltiyle çalışmaktan kaynaklanmıştır.

Tablo 64. Emprenye çözeltilerinin özellikleri

Emprenye Maddeleri	Çözücü Türü	Çözelti Kons. (%)	Sıcaklık (°C)		pH		Yoğunluk (g/ml)	
			EÖ	ES	EÖ	ES	EÖ	ES
Emprenyesiz (Kontrol)	DS	-	-	-	-	-	-	-
Amonyum sülfat	DS	10	26	25	5.62	5.64	1.033	1.033
Boraks	DS	5	30	28	9.35	9.37	1.012	1.012
Borik asit	DS	5	30	28	3.60	3.60	1.007	1.007
Tanalith-C	DS	3	25	25	1.15	1.16	1.014	1.014
Fosforik asit	DS	7	26	26	0.33	0.34	1.030	1.030
İmmersol-WR	DS	100	24	24	4.23	4.23	0.859	0.858
Polietilen glükol-1000	DS	30	24	24	5.80	5.82	1.029	1.029

EÖ: Emprenye öncesi ES: Emprenye sonrası DS: Destile su

3.3.2. Emprenye Sonrası Örneklerin Absorpladığı Emprenye Maddesi Miktarları (Retensiyon)

3.3.2.1. Retensiyon Miktarları (kg/m³)

2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarındaki ölçümler için hazırlanan Doğu Kayını, Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç odunu örneklerinde çeşitli kimyasal maddelerle emprenye işlemi sonrası tespit edilen retensiyon oranları Tablo 65-66' da verilmektedir. Immersol-WR'nin kimyasal formülünün patent altında bulunması nedeniyle konsantrasyon değeri bilinemediğinden kg/m³ retensiyon miktarı hesaplanamamıştır.

Bu sonuçlara göre, 9.8 GHz frekansındaki ölçümler için hazırlanan örneklerdeki kg/m³ retensiyon oranları 2.45 GHz frekansındaki ölçümler için hazırlanan örneklerdeki kg/m³ oranlarından yaklaşık % 54 daha fazladır. Bu, 9.8 GHz ölçümlerinde kullanılan örnek hacminin 2.45 GHz ölçümleri için kullanılan örnek hacminden yaklaşık % 30 daha küçük olmasına rağmen aynı şartlarda emprenye edilmelerinden kaynaklanmış olabilir.

Ayrıca ortalamalar karşılaştırıldığında, her iki frekansta da en düşük kg/m^3 retensiyon oranına Doğu Kayını odunu sahip olup Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç'ın kg/m^3 retensiyon oranları birbirine yakındır.

Tablo 65. 2.45 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin retensiyon miktarları (kg/m^3)

Retensiyon (kg/m^3)								
Emprenye Maddeleri	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	25.42	0.30	33.06	1.14	27.22	4.78	28.57
	//	26.86	2.01	29.36	1.28	26.92	4.88	27.71
	Ort.	26.14	1.55	31.21	2.26	27.07	4.55	28.14
Boraks	⊥	25.76	0.05	26.54	1.11	29.74	0.23	27.29
	//	25.26	1.06	30.50	0.78	30.08	1.18	28.61
	Ort.	25.51	0.75	28.52	2.28	29.91	0.82	27.98
Borik asit	⊥	12.48	0.54	14.18	1.13	14.74	0.38	13.80
	//	13.72	1.29	13.44	0.37	14.64	1.01	13.93
	Ort.	13.10	1.14	13.81	0.89	14.69	0.72	13.87
Tanalith-C	⊥	8.22	0.75	7.68	0.79	7.94	1.05	7.95
	//	8.78	1.91	9.24	1.67	8.20	0.98	8.74
	Ort.	8.50	1.40	8.46	1.48	8.07	0.97	8.60
Fosforik asit	⊥	24.78	1.26	20.80	0.46	20.12	8.17	21.90
	//	22.42	3.71	25.38	2.32	14.64	2.53	20.81
	Ort.	23.60	2.90	23.09	2.88	17.38	6.39	21.36
Immorsol-WR	⊥	*	*	*	*	*	*	*
	//	*	*	*	*	*	*	*
	Ort.	*	*	*	*	*	*	*
Polietilen glikol-1000	⊥	77.04	6.24	54.44	10.43	67.70	2.88	68.39
	//	72.94	2.89	76.32	0.90	79.42	3.35	76.23
	Ort.	74.99	5.06	65.38	13.47	73.56	6.84	71.31

* Immorsol-WR'nin konsantrasyon değeri patent altında olması nedeniyle bilinemediğinden kg/m^3 retensiyon miktarı hesaplanamamıştır.

Tablo 66. 9.8 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin retensiyon miktarları (kg/m³)

Retensiyon (kg/m ³)								
Emprenye Maddeleri	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	53.96	3.44	65.09	5.07	62.04	2.03	60.36
	//	51.12	2.64	64.05	4.33	62.13	3.03	59.10
	Ort.	52.54	3.32	64.57	4.62	62.08	2.51	59.73
Boraks	⊥	27.61	1.90	32.59	1.28	31.33	1.54	30.51
	//	27.44	1.21	29.96	2.52	31.85	1.14	29.75
	Ort.	27.53	1.56	31.28	2.37	31.59	1.35	30.13
Borik asit	⊥	27.88	0.92	32.24	0.53	32.09	0.87	30.74
	//	27.72	1.15	28.81	3.83	32.06	0.64	29.53
	Ort.	27.80	1.02	30.53	3.19	32.08	0.74	30.14
Tanalith-C	⊥	16.92	0.44	20.91	0.95	20.01	0.67	19.28
	//	17.46	0.67	20.63	0.44	20.20	0.33	19.43
	Ort.	17.19	0.62	20.77	0.73	20.11	0.53	19.36
Fosforik asit	⊥	41.13	0.86	46.01	2.69	46.44	0.79	44.53
	//	40.63	1.15	43.74	6.28	46.98	1.34	43.78
	Ort.	40.88	1.02	44.88	4.84	46.71	1.10	44.16
Immorsol-WR	⊥	*	*	*	*	*	*	*
	//	*	*	*	*	*	*	*
	Ort.	*	*	*	*	*	*	*
Polietilen glikol-1000	⊥	152.9	3.73	199.1	9.40	192.4	3.88	181.5
	//	156.5	5.10	169.5	36.31	196.6	3.96	174.2
	Ort.	154.7	4.72	184.3	29.97	194.5	4.36	177.8

* Immorsol-WR'nin konsantrasyon değeri patent altında olması nedeniyle bilinemediğinden kg/m³ retensiyon miktarı hesaplanamamıştır.

3.3.2.2. Tam Kuru Odun Ağırlığına Oranla Retensiyon Miktarları (%)

Doğu Kayını, Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç odunlarından elde edilen test örneklerinin çeşitli emprenye çözeltileriyle emprenye edilmesi sonucu elde edilen retensiyon oranları tam kuru odun ağırlığına oranla % olarak Tablo 67-68' de verilmektedir.

Bu sonuçlara göre, 9.8 GHz frekansındaki ölçümler için hazırlanan örneklerdeki tam kuru odun ağırlığına oranla % retensiyon oranları 2.45 GHz frekansındaki ölçümler için hazırlanan örneklerdeki % retensiyon oranlarından yaklaşık % 45 daha fazladır. Bunun nedeni, 9.8 GHz ölçümlerinde kullanılan örnek hacminin 2.45 GHz ölçümleri için

kullanılan örnek hacminden yaklaşık % 30 daha küçük olmasına karşılık aynı şartlarda emprenye edilmelerine bağlanabilir.

Ayrıca ortalamalar karşılaştırıldığında, her iki frekansta da en düşük tam kuru odun ağırlığına oranla % retensiyon oranına Doğu Kayını odunu sahip olup Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç'ın % retensiyon oranları birbirine yakındır.

Tablo 67. 2.45 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin tam kuru odun ağırlığına oranla retensiyon miktarları (%)

Retensiyon (%)								
Emprenye Maddeleri	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	S	
Amonyum sülfat	⊥	3.54	0.01	7.06	0.15	5.08	1.08	5.23
	//	3.42	0.26	5.66	0.46	5.02	0.97	4.70
	Ort.	3.48	0.19	6.36	0.80	5.05	0.97	4.96
Boraks	⊥	0.76	0.01	1.10	0.10	1.16	0.05	1.01
	//	0.68	0.13	1.16	0.05	1.18	0.08	1.01
	Ort.	0.72	0.10	1.13	0.08	1.17	0.07	1.01
Borik asit	⊥	0.70	0.01	1.0	0.01	0.98	0.04	0.89
	//	0.78	0.04	0.86	0.05	1.10	0.10	0.91
	Ort.	0.74	0.05	0.93	0.08	1.04	0.10	0.90
Tanalith-C	⊥	1.98	0.04	2.42	0.24	2.22	0.22	2.21
	//	1.84	0.32	2.70	0.35	2.56	0.50	2.37
	Ort.	1.91	0.23	2.56	0.32	2.39	0.41	2.29
Fosforik asit	⊥	0.96	0.09	2.24	0.71	1.84	0.17	1.68
	//	1.36	0.05	3.28	0.30	1.44	0.13	2.03
	Ort.	1.16	0.22	2.76	0.75	1.64	0.35	1.85
Immersol-WR	⊥	3.16	0.62	6.26	1.05	5.78	0.97	5.07
	//	4.24	1.81	6.34	0.88	6.34	0.88	5.64
	Ort.	3.70	1.40	6.3	0.91	6.06	0.92	5.35
Polietilen glikol-1000	⊥	11.42	0.39	11.32	1.07	13.78	0.61	12.17
	//	10.12	0.20	15.28	0.25	16.02	1.14	12.81
	Ort.	10.77	0.75	13.30	2.21	14.90	1.46	9.66

Tablo 68. 9.8 GHz frekansında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan örneklerin tam kuru odun ağırlığına oranla retensiyon miktarları (%)

Retensiyon (%)								
Emprenye Maddeleri	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	S	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	7.42	0.53	14.19	2.14	12.20	0.60	11.27
	//	7.39	0.81	13.73	1.48	12.60	0.48	11.34
	Ort.	7.41	0.67	13.96	1.81	12.40	0.57	11.26
Boraks	⊥	2.14	0.25	2.21	0.50	2.47	0.31	2.27
	//	1.51	0.03	2.16	0.56	2.42	0.28	2.03
	Ort.	1.83	0.37	2.19	0.52	2.45	0.29	2.16
Borik asit	⊥	2.15	0.49	2.98	0.36	2.81	0.46	2.65
	//	1.87	0.40	2.28	0.24	2.38	0.53	2.18
	Ort.	2.01	0.46	2.63	0.47	2.60	0.53	2.41
Tanalith-C	⊥	3.58	0.29	6.61	0.98	5.47	0.40	5.22
	//	3.72	0.68	7.45	0.38	6.35	0.60	5.84
	Ort.	3.65	0.51	7.03	0.84	5.91	0.67	5.53
Fosforik asit	⊥	4.78	0.14	7.94	0.99	6.07	0.57	6.26
	//	4.13	0.72	8.19	1.52	5.44	0.92	5.92
	Ort.	4.46	0.60	8.07	1.25	5.75	0.81	6.09
Immersol-WR	⊥	4.89	0.38	9.72	0.38	8.36	0.45	6.05
	//	4.60	0.26	9.23	1.99	8.88	0.92	7.57
	Ort.	4.75	0.35	9.48	1.88	8.62	0.75	7.62
Polietilen glikol-1000	⊥	21.64	0.94	40.74	2.57	38.71	2.13	33.70
	//	23.59	1.98	36.44	10.79	40.45	1.42	33.49
	Ort.	22.62	1.81	38.59	7.94	39.58	1.98	33.60

3.3.2. Dielektrik Sabiti

Amonyum sülfat, boraks, borik asit, tanalith-C, fosforik asit, immersol -WR ve polietilen glikol-1000 ile emprenye edilen, Doğu Kayını, Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç odun örneklerinin 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20-24 °C sıcaklıkta yapılan ölçümleri sonucu elde edilen verilerinin aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 69-70' de verilmektedir.

Tablo 69. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik sabiti değerleri

2.45 GHz FREKANSINDA DİELEKTRİK SABİTİ								
EMPRENYE MADDESİ	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	2.68	0.054	2.22	0.088	2.33	0.157	2.41
	//	3.15	0.117	3.06	0.118	3.02	0.073	3.08
Boraks	⊥	2.55	0.134	2.09	0.046	2.14	0.084	2.26
	//	3.35	0.028	2.93	0.068	2.86	0.080	3.05
Borik asit	⊥	2.51	0.075	2.04	0.048	2.10	0.046	2.21
	//	3.18	0.125	3.01	0.055	2.77	0.069	2.99
Tanalith-C	⊥	2.49	0.046	2.26	0.075	2.16	0.023	2.30
	//	3.33	0.134	2.92	0.066	2.92	0.073	3.06
Fosforik asit	⊥	2.60	0.062	2.09	0.089	2.15	0.044	2.28
	//	3.26	0.014	2.97	0.065	3.01	0.036	3.08
Immersol-WR	⊥	2.70	0.109	2.18	0.079	2.31	0.091	2.40
	//	3.34	0.102	2.97	0.054	3.00	0.063	3.10
Polietilen glikol-1000	⊥	2.69	0.092	2.19	0.122	2.23	0.068	2.37
	//	3.27	0.045	2.97	0.031	2.87	0.061	3.04
KONTROL	⊥	2.74	0.152	2.13	0.071	2.29	0.096	2.39
	//	3.40	0.061	2.88	0.064	2.86	0.131	3.04

Tablo 70. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik sabiti değerleri

9.8 GHz FREKANSINDA DİELEKTRİK SABİTİ								
EMPRENYE MADDESİ	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	2.37	0.103	2.01	0.063	2.07	0.069	2.15
	//	2.88	0.130	2.44	0.184	2.54	0.105	2.62
Boraks	⊥	2.29	0.099	1.84	0.064	1.87	0.055	2.00
	//	2.81	0.053	2.29	0.071	2.32	0.067	2.48
Borik asit	⊥	2.31	0.120	1.84	0.039	1.88	0.152	2.01
	//	2.74	0.082	2.24	0.115	2.23	0.053	2.40
Tanalith-C	⊥	2.36	0.099	1.90	0.068	1.93	0.052	2.06
	//	2.76	0.070	2.30	0.085	2.31	0.054	2.46
Fosforik asit	⊥	2.39	0.153	1.89	0.046	1.92	0.061	2.06
	//	3.00	0.194	2.25	0.062	2.29	0.056	2.51
Immersol-WR	⊥	2.34	0.100	1.94	0.088	1.99	0.047	2.09
	//	2.83	0.060	2.27	0.126	2.40	0.073	2.50
Polietilen glikol-1000	⊥	2.67	0.115	2.17	0.062	2.13	0.058	2.32
	//	2.84	0.128	2.41	0.043	2.53	0.063	2.59
KONTROL	⊥	2.42	0.099	1.99	0.052	2.00	0.090	2.14
	//	2.93	0.159	2.44	0.129	2.49	0.109	2.62

Dielektrik sabiti üzerine emprenye maddesinin etkisi, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçları Tablo 71-72' de verilmektedir.

Tablo 71. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	41.576 ^a	47	0.885	126.356	***
Sabit Terim	1738.009	1	1738.009	248257.48	***
A: Emprenye maddesi türü	0.505	7	7.209E-02	10.297	***
B: Lif yönü	31.704	1	31.704	4528.671	***
C: Odun türü	8.173	2	4.086	583.713	***
Etkileşim AB	0.189	7	2.695E-02	0.820	***
Etkileşim AC	0.431	14	3.080E-02	4.400	***
Etkileşim BC	0.248	2	0.124	17.700	***
Etkileşim ABC	0.326	14	2.331E-02	3.329	***
Hata	1.344	192	7.001E-03		
Toplam	1780.930	240			
Düzeltilmiş Toplam	42.920	239			

a. R^2 : 0.969

Tablo 72. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	48.175 ^a	47	1.025	111.866	***
Sabit Terim	2568.957	1	2568.957	280369.47	***
A: Emprenye maddesi türü	3.110	7	0.444	48.481	***
B: Lif yönü	20.854	1	20.854	2275.972	***
C: Odun türü	22.737	2	11.369	1240.733	***
Etkileşim AB	0.520	7	7.422E-02	8.100	***
Etkileşim AC	0.497	14	3.553E-02	3.877	***
Etkileşim BC	0.114	2	5.711E-02	6.232	**
Etkileşim ABC	0.343	14	2.452E-02	2.676	***
Hata	3.958	432	9.163E-03		
Toplam	2621.090	480			
Düzeltilmiş Toplam	52.133	479			

a. R^2 : 0.924

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik sabiti üzerine emprenye maddesi türünün etkisi 0.001 anlam düzeyinde önemlidir. Ayrıca her iki frekansta dielektrik sabiti üzerine, emprenye maddesi türü ile lif yönü, emprenye maddesi türü ile odun türü ve emprenye maddesi türü lif yönü ve odun türünün etkileşimlerinin etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Varyans ortalamalarının karşılaştırıldığı Student-Newman Keuls testi sonuçları Tablo 73-74' de verilmektedir. Bu sonuçlara göre, 2.45 GHz frekansında, kontrol örnekleriyle kıyaslandığında borik asit ve boraks ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti değeri kontrol örneklerinden daha düşük, Immersol-WR ve amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti değeri ise daha yüksektir. tanalith-C, fosforik asit ve PEG-1000 ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti değerleri ise kontrolle aynı grupta yer almaktadır. 9.8 GHz frekansında ise borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, immersol-WR ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti değeri kontrol örneklerinin dielektrik sabiti değerinden daha düşük, PEG-1000 ile emprenye edilmiş odun ise daha yüksek değere sahiptir. Amonyum sülfatla emprenye edilmiş odun örneklerinin dielektrik sabiti ise kontrol örneklerinin dielektrik sabiti ile aynı gruptadır.

Tablo 73. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Sabiti	
Emprenye Maddesi Türü	Borik asit	30	2.6000	a
	Boraks	30	2.6540	b
	Tanalith -C	30	2.6800	bc
	Fosforik asit	30	2.6827	bc
	PEG-1000	30	2.7047	bcd
	Kontrol	30	2.7160	cd
	Amonyum sülfat	30	2.7447	d
	Immersol-WR	30	2.7493	d
Odun Türü	Kızılağaç	80	0.15841	a
	Sarıçam	80	0.16406	a
	Doğu Kayın	80	0.20984	b

Tablo 74. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik sabiti üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Sabiti	
Emprenye Maddesi Türü	Borik asit	60	2.2048	a
	Boraks	60	2.2370	ab
	Tanalith -C	60	2.2602	bc
	Fosforik asit	60	2.2877	c
	Immorsol-WR	60	2.2957	c
	Kontrol	60	2.3787	d
	Amonyum sülfat	60	2.3853	d
	PEG-1000	60	2.4582	e
Odun Türü	Sarıçam	120	2.1387	a
	Kızılağaç	120	2.1813	a
	Doğu Kayını	120	2.6203	b

İki frekans birlikte değerlendirildiğinde, borik asit ve boraksla emprenye edilmiş odunun en düşük, amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun ise en yüksek dielektrik sabiti değerine sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca odun türlerine dikkat edildiğinde her iki frekansta Doğu Kayını en yüksek dielektrik sabiti değerine sahip olup Sarıçam ve Sakallı Kızılağacın dielektrik sabiti benzerdir.

Lif yönü dikkate alındığında ise her iki frekansta da liflere dik yöndeki dielektrik sabiti değerinin liflere paralel yöndekinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

3.3.3. Dielektrik Kayıp Faktörü

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilen test örneklerinin, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20-24 °C sıcaklıkta yapılan ölçümleri sonucu elde edilen dielektrik kayıp faktörü değerlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 75-76' da verilmektedir.

Tablo 75. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp faktörü değerleri

2.45 GHz FREKANSINDA DIELEKTRİK KAYIP FAKTÖRÜ								
EMPRENYE MADDESİ	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	0.392	0.033	0.290	0.017	0.315	0.031	0.332
	//	1.146	0.144	0.706	0.058	0.682	0.030	0.845
Boraks	⊥	0.330	0.036	0.232	0.012	0.234	0.026	0.265
	//	0.849	0.037	0.559	0.041	0.504	0.020	0.638
Borik asit	⊥	0.296	0.026	0.211	0.015	0.207	0.011	0.238
	//	0.811	0.095	0.442	0.148	0.457	0.013	0.570
Tanalith-C	⊥	0.340	0.047	0.301	0.019	0.259	0.024	0.300
	//	0.878	0.054	0.562	0.042	0.534	0.030	0.658
Fosforik asit	⊥	0.370	0.028	0.250	0.024	0.246	0.010	0.289
	//	0.775	0.055	0.702	0.023	0.643	0.037	0.707
Immersol-WR	⊥	0.371	0.037	0.255	0.020	0.277	0.028	0.301
	//	1.132	0.148	0.594	0.038	0.599	0.037	0.775
Polietilen glikol-1000	⊥	0.332	0.057	0.290	0.030	0.287	0.016	0.303
	//	0.848	0.048	0.630	0.028	0.693	0.188	0.724
KONTROL	⊥	0.414	0.054	0.268	0.029	0.354	0.037	0.345
	//	0.931	0.137	0.584	0.020	0.559	0.058	0.691

Tablo 76. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp faktörü değerleri

9.8 GHz FREKANSINDA DIELEKTRİK KAYIP FAKTÖRÜ								
EMPRENYE MADDESİ	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	0.264	0.024	0.218	0.017	0.236	0.021	0.239
	//	0.460	0.052	0.380	0.074	0.439	0.060	0.426
Boraks	⊥	0.235	0.021	0.157	0.015	0.157	0.011	0.183
	//	0.416	0.013	0.309	0.021	0.309	0.026	0.344
Borik asit	⊥	0.229	0.030	0.147	0.010	0.148	0.036	0.175
	//	0.381	0.025	0.300	0.033	0.268	0.021	0.316
Tanalith-C	⊥	0.260	0.024	0.182	0.028	0.177	0.014	0.206
	//	0.405	0.026	0.349	0.034	0.304	0.034	0.353
Fosforik asit	⊥	0.311	0.061	0.174	0.013	0.162	0.017	0.216
	//	0.568	0.111	0.284	0.021	0.272	0.019	0.375
Immersol-WR	⊥	0.246	0.024	0.198	0.019	0.203	0.020	0.215
	//	0.407	0.051	0.339	0.049	0.379	0.029	0.375
Polietilen glikol-1000	⊥	0.435	0.162	0.243	0.028	0.227	0.025	0.302
	//	0.464	0.060	0.311	0.012	0.359	0.028	0.378
KONTROL	⊥	0.374	0.051	0.258	0.027	0.269	0.039	0.300
	//	0.828	0.151	0.474	0.040	0.506	0.084	0.602

Dielektrik kayıp faktörü üzerine empenye maddesinin etkisi, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansında odun türü ve lif yönü birlikte ele alınarak çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçları Tablo 77-78' de verilmektedir.

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik kayıp faktörü üzerine empenye maddesi türünün etkisi 0.001 anlam düzeyinde önemlidir. Ayrıca her iki frekansta dielektrik kayıp faktörü üzerine, empenye maddesi türü ile lif yönü, empenye maddesi türü ile odun türü ve empenye maddesi türü lif yönü ve odun türünün etkileşimlerinin etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 77. 2.45 GHz frekansında empenyeli odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine empenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	14.309 ^a	47	0.304	84.040	***
Sabit Terim	59.709	1	59.709	16482.382	***
A: Emprenye maddesi türü	0.653	7	9.331E-02	25.757	***
B: Lif yönü	9.805	1	9.805	2706.742	***
C: Odun türü	2.338	2	1.169	322.731	***
Etkileşim AB	0.216	7	3.091E-02	8.534	***
Etkileşim AC	0.260	14	1.855E-02	5.120	***
Etkileşim BC	0.791	2	0.396	109.181	***
Etkileşim ABC	0.245	14	1.749E-02	4.828	***
Hata	0.696	192	3.623E-03		
Toplam	74.714	240			
Düzeltilmiş Toplam	15.004	239			

a. R^2 : 0.954

Tablo 78. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	6.217 ^a	47	0.132	54.341	***
Sabit Terim	45.729	1	45.729	18785.176	***
A: Emprenye maddesi türü	1.235	7	0.176	72.479	***
B: Lif yönü	3.002	1	3.002	1233.139	***
C: Odun türü	1.267	2	0.634	260.283	***
Etkileşim AB	0.209	7	2.987E-02	12.270	***
Etkileşim AC	0.374	14	2.672E-02	10.977	***
Etkileşim BC	1.802E-02	2	9.011E-03	3.702	*
Etkileşim ABC	0.112	14	7.999E-03	3.286	***
Hata	1.052	432	2.434E-03		
Toplam	52.998	480			
Düzeltilmiş Toplam	7.269	479			

a. R^2 : 0,855

Varyans ortalamalarının karşılaştırıldığı Student-Newman Keuls testi sonuçları

Tablo 79-80' de verilmektedir.

Tablo 79. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Faktörü	
Emprenye Maddesi Türü	Borik asit	30	0.40397	a
	Boraks	30	0.45160	b
	Tanalith -C	30	0.47903	bc
	Fosforik asit	30	0.49773	c
	PEG-1000	30	0.51327	cd
	Kontrol	30	0.51827	cd
	Immersol-WR	30	0.53800	d
	Amonyum sülfat	30	0.58843	e
Odun Türü	Kızılğaç	80	0.42821	a
	Sarıçam	80	0.42978	a
	Doğu Kayını	80	0.63838	b

Tablo 80. 9.8 GHz frekansında emprenyeli ağaç malzemede dielektrik kayıp faktörü üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları ($P < 0.05$)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Faktörü	
Emprenye Maddesi Türü	Borik asit	60	0.24565	a
	Boraks	60	0.26388	b
	Tanalith -C	60	0.27963	bc
	Fosforik asit	60	0.29505	c
	Immersol-WR	60	0.29517	c
	Amonyum sülfat	60	0.33265	d
	PEG-1000	60	0.33963	d
	Kontrol	60	0.45133	e
Odun Türü	Sarıçam	160	0.26895	a
	Kızılağaç	160	0.27581	a
	Doğu Kayını	160	0.38121	b

Bu sonuçlara göre, 2.45 GHz frekansında, kontrol örnekleriyle kıyaslandığında borik asit ve boraks ile emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp faktörü kontrol örneklerinden daha düşük, Immersol-WR ve amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp faktörü değeri ise daha yüksektir. Tanalith-C, fosforik asit ve PEG-1000 ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti değerleri ise kontrolle aynı grupta yer almaktadır.

9.8 GHz frekansında ise en düşük kayıp faktörü değerine borik asit ve boraks ile emprenye edilmiş odun en yüksek değere ise kontrol örnekleri sahiptir. Böylece kullanılan tüm emprenye maddelerinin 9.8 GHz frekansında odunun dielektrik kayıp faktörünü düşürdüğü belirlenmiştir.

Ayrıca odun türlerine dikkat edildiğinde her iki frekansta Doğu Kayını en yüksek dielektrik kayıp faktörü değerine sahip olup Kızılağaç ve Sarıçamın dielektrik kayıp faktörü benzerdir.

Lif yönü dikkate alındığında ise her iki frekansta da liflere dik yöndeki dielektrik kayıp faktörü değerinin liflere paralel yönden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

3.3. 4. Dielektrik Kayıp Tanjantı

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilen test örneklerinin, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20-24 °C sıcaklıkta yapılan ölçümleri sonucu elde edilen dielektrik kayıp tanjantı değerlerine ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 81 ve 82' de verilmektedir.

Tablo 81. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 2.45 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri

2.45 GHz FREKANSINDA DIELEKTRİK KAYIP TANJANTI								
EMPRENYE MADDESİ	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	0.146	0.009	0.130	0.004	0.135	0.005	0.137
	//	0.364	0.059	0.230	0.011	0.226	0.011	0.273
Boraks	⊥	0.124	0.015	0.111	0.003	0.109	0.008	0.115
	//	0.284	0.054	0.191	0.005	0.176	0.004	0.217
Borik asit	⊥	0.118	0.071	0.104	0.006	0.101	0.003	0.108
	//	0.257	0.041	0.187	0.003	0.165	0.001	0.203
Tanalith-C	⊥	0.130	0.012	0.134	0.006	0.117	0.007	0.127
	//	0.270	0.031	0.193	0.014	0.183	0.005	0.215
Fosforik asit	⊥	0.131	0.019	0.119	0.008	0.114	0.003	0.122
	//	0.238	0.001	0.236	0.008	0.213	0.012	0.229
Immersol-WR	⊥	0.137	0.008	0.117	0.006	0.120	0.008	0.125
	//	0.340	0.051	0.200	0.009	0.200	0.009	0.247
Polietilen glikol-1000	⊥	0.132	0.015	0.126	0.016	0.129	0.007	0.129
	//	0.261	0.020	0.218	0.008	0.197	0.011	0.225
KONTROL	⊥	0.150	0.014	0.126	0.010	0.154	0.010	0.143
	//	0.273	0.036	0.203	0.005	0.195	0.012	0.224

Tablo 82. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun türlerinin 9.8 GHz frekansında ve 20-24 °C sıcaklıkta lif yönüne göre dielektrik kayıp tanjantı değerleri

9.8 GHz FREKANSINDA DİELEKTRİK KAYIP TANJANTI								
EMPRENYE MADDESİ	Lif Yönü	Odun Türü						Genel Ort.
		Doğu Kayını		Sarıçam		Kızılağaç		
		x	s	x	s	x	s	
Amonyum sülfat	⊥	0.111	0.057	0.108	0.053	0.114	0.067	0.111
	//	0.159	0.011	0.154	0.018	0.172	0.017	0.162
Boraks	⊥	0.103	0.005	0.085	0.005	0.084	0.004	0.091
	//	0.148	0.002	0.135	0.005	0.133	0.007	0.138
Borik asit	⊥	0.099	0.008	0.080	0.005	0.078	0.011	0.086
	//	0.139	0.006	0.134	0.008	0.120	0.007	0.131
Tanalith-C	⊥	0.110	0.006	0.095	0.013	0.092	0.005	0.099
	//	0.147	0.006	0.151	0.009	0.140	0.008	0.146
Fosforik asit	⊥	0.130	0.016	0.092	0.005	0.084	0.006	0.102
	//	0.188	0.024	0.126	0.007	0.119	0.006	0.144
Immersol-WR	⊥	0.105	0.006	0.102	0.006	0.102	0.008	0.103
	//	0.144	0.017	0.148	0.013	0.158	0.008	0.150
Polietilen glikol-1000	⊥	0.144	0.008	0.111	0.010	0.106	0.009	0.121
	//	0.162	0.015	0.129	0.006	0.142	0.009	0.144
KONTROL	⊥	0.154	0.020	0.132	0.012	0.136	0.014	0.141
	//	0.264	0.038	0.186	0.010	0.202	0.027	0.217

Dielektrik kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesinin etkisi, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansında odun türü ve lif yönü birlikte ele alınarak çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir. Çoğul varyans analizi sonuçları Tablo 83-84'de verilmektedir.

Çoğul varyans analizi sonuçlarına göre, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesi türünün etkisi 0.001 anlam düzeyinde önemlidir. Ayrıca her iki frekansta dielektrik kayıp tanjantı üzerine, emprenye maddesi türü ile lif yönü, emprenye maddesi türü ile odun türü ve emprenye maddesi türü lif yönü ve odun türünün etkileşimlerinin etkisinin 0.001 anlam düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 83. 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0.953 ^a	47	2.028 ^E -02	57.799	***
Sabit Terim	7.556	1	7.556	21539.840	***
A: Emprenye maddesi türü	4.637E-02	7	6.624E-03	18.882	***
B: Lif yönü	0.643	1	0.643	1833.083	***
C: Odun türü	0.127	2	6.362E-02	181.368	***
Etkileşim AB	1.748E-02	7	2.497E-03	7.118	***
Etkileşim AC	2.495E-02	14	1.782E-03	5.080	***
Etkileşim BC	7.372E-02	2	3.686E-02	105.080	***
Etkileşim ABC	2.014E-02	14	1.439E-03	4.102	***
Hata	6.735E-02	192	3.508E-04		
Toplam	8.576	240			
Düzeltilmiş Toplam	1.020	239			

a. R^2 : 0.934

Tablo 84. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesi türü, odun türü ve lif yönünün etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	0.493 ^a	47	1.049 ^E -02	71.440	***
Sabit Terim	8.024	1	8.024	54646.942	***
A: Emprenye maddesi türü	0.151	7	2.150E-02	146.442	***
B: Lif yönü	0.253	1	0.253	1724.331	***
C: Odun türü	3.425E-02	2	1.712E-02	116.618	***
Etkileşim AB	1.241E-02	7	1.773E-03	12.078	***
Etkileşim AC	3.660E-02	14	2.614E-03	17.806	***
Etkileşim BC	6.617E-04	2	3.309E-04	2.253	BD
Etkileşim ABC	5.385E-03	14	3.846E-04	2.620	***
Hata	6.343E-02	432	1.468E-04		
Toplam	8.580	480			
Düzeltilmiş Toplam	0.556	479			

a. R^2 : 0.886

Varyans ortalamalarının karşılaştırıldığı Student-Newman Keuls testi sonuçları Tablo 85-86' da verilmektedir.

Tablo 85 . 2.45 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P< 0.05)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Tanjantı	
Emprenye Maddesi Türü	Borik asit	30	0.15523	a
	Boraks	30	0.16607	b
	Tanalith -C	30	0.17103	b
	Fosforik asit	30	0.17547	bc
	PEG-1000	30	0.17720	bc
	Kontrol	30	0.18360	c
	Immorsol-WR	30	0.18567	c
	Amonyum sülfat	30	0.20523	d
Odun Türü	Kızılağaç	80	0.15841	a
	Sarıçam	80	0.16406	a
	Doğu Kayını	80	0.20984	b

Tablo 86. 9.8 GHz frekansında emprenyeli odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Student-Newman-Keuls karşılaştırma sonuçları (P< 0.05)*

Varyans Kaynakları		n	Dielektrik Kayıp Tanjantı	
Emprenye Maddesi Türü	Borik asit	60	0.10825	a
	Boraks	60	0.11458	b
	Tanalith -C	60	0.12260	c
	Fosforik asit	60	0.12313	c
	Immorsol-WR	60	0.12628	c
	PEG-1000	60	0.13252	d
	Amonyum sülfat	60	0.13650	d
	Kontrol	60	0.17947	e
Odun Türü	Sarıçam	160	0.12300	a
	Kızılağaç	160	0.12364	a
	Doğu Kayını	160	0.14123	b

Bu sonuçlara göre, 2.45 GHz frekansında, kontrol örnekleriyle kıyaslandığında borik asit, boraks ve tanalith-C ile emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp faktörü değeri kontrol örneklerinden daha düşük, Immorsol-WR ve amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp tanjantı değeri ise daha yüksektir. Fosforik asit ve PEG-

1000 ile emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp tanjantı değerleri ise kontrolle aynı grupta yer almaktadır.

9.8 GHz frekansında ise en düşük kayıp tanjantı değerine borik asit ve boraksla emprenye edilmiş odun ve en yüksek değere kontrol örnekleri sahiptir. Böylece kullanılan tüm emprenye maddelerinin 9.8 GHz frekansında odunun dielektrik kayıp tanjantını düşürdüğü belirlenmiştir.

Ayrıca odun türlerine dikkat edildiğinde her iki frekansta Doğu Kayını en yüksek dielektrik kayıp tanjantı değerine sahip olup Kızılağaç ve Sarıçamın dielektrik kayıp tanjantı değerleri benzerdir.

Lif yönü dikkate alındığında ise her iki frekansta da liflere dik yöndeki dielektrik kayıp faktörü değerinin liflere paralel yöndekinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

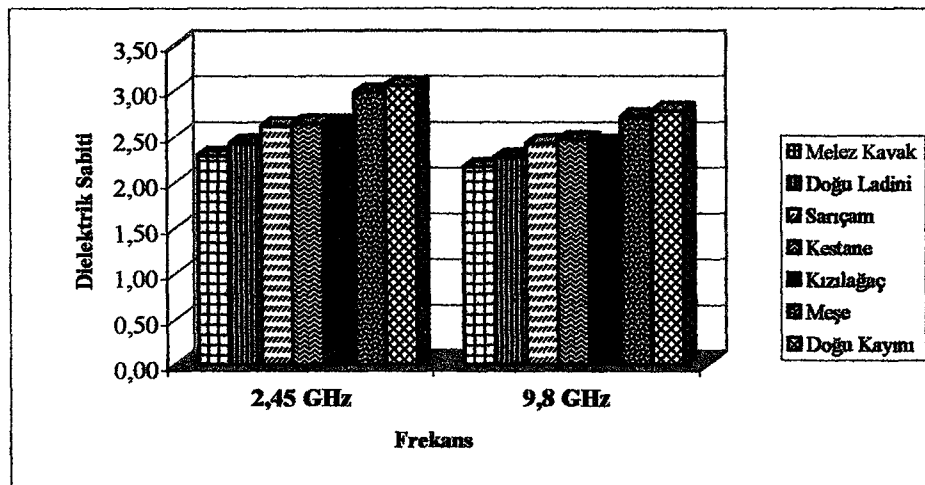
4. İRDELEME

4.1. Doğal Haldeki Odunun Dielektrik Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Bu çalışmada, Doğu Ladini, Sarıçam, Melez Kavak, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını odun türlerinin dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı, 2.45 ve 9.8 GHz frekanslarında ve oda sıcaklığında (20-24 °C), teğet, radyal ve liflere paralel yönde ve % 0-28 rutubet miktarı sınırlarında incelenmiştir. Bu bölümde dielektrik parametrelerin odun türüne, lif yönüne, rutubet miktarına, özgül ağırlığa ve frekansa göre değişimi yapılan istatistik analizlerin ışığı altında açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1.1. Odun Türünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi

Dielektrik sabiti, üzerine odun türünün etkisinin, hem 2.45 GHz (Tablo 24) hemde 9.8 GHz (Tablo 25) frekansında istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca odun türü ile rutubet grubu ve odun türü ile lif yönünün etkileşiminin de dielektrik sabiti üzerine etkisinin her iki frekansta önemli olduğu bulunmuştur. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında odun türünün dielektrik sabiti üzerine etkisi Şekil 26'da verilmektedir.



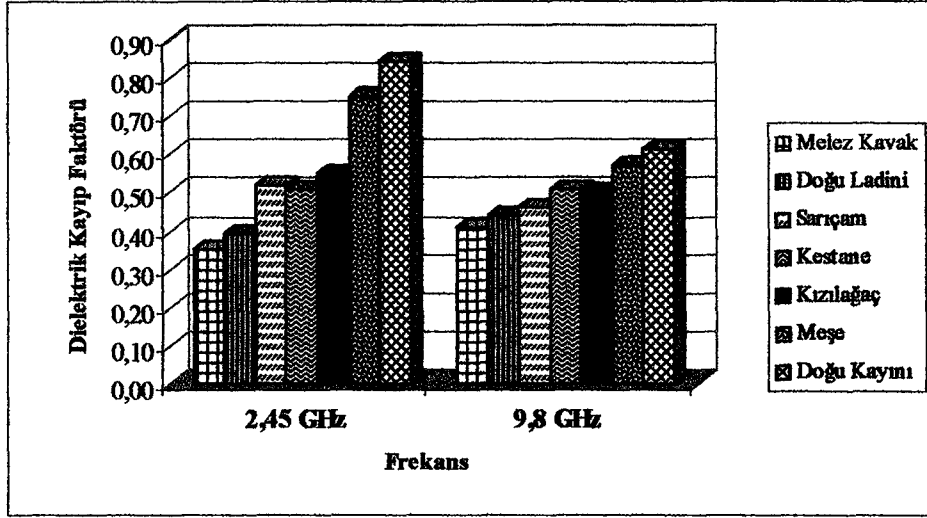
Şekil 26. Dielektrik sabiti üzerine odun türünün etkisi

En düşük değerden en yüksek değere doğru dielektrik sabiti 2.45 GHz de, Melez Kavak, Doğu Ladini, Sariçam, Anadolu Kestanesi, Sakallı Kızılağaç, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını sırasını takip etmekte olup, Sariçam, Anadolu Kestanesi ve Sakallı Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır. 9.8 GHz frekansında ise Melez Kavak, Doğu Ladini, Sakallı Kızılağaç, Sariçam, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını sırasını takip etmekte olup, Sariçam, Sakallı Kızılağaç ve Anadolu Kestanesi aynı grupta yer almaktadır.

En yüksek dielektrik sabiti değerine sahip olan Doğu Kayını odunu çok yüksek oranda trahe ve lif oranına sahiptir. Bu neticede traheleri ve lifleri oluşturan mikrofibrillerdeki polar grupların sayısının çok yüksek olması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla dielektrik sabitinin yüksek olması beklenir. Ayrıca en düşük dielektrik sabiti değerine sahip olan Melez Kavak ele alındığında lif ve trahe oranının Kayın ve diğer odun türlerine oranla oldukça düşük, boşluk hacmi ise yüksektir. Bu durumda dielektrik davranışı yöneten polar grupların sayısı oldukça azdır. Buda dielektrik sabitinin düşük olmasına neden olacaktır. Ayrıca, her odun türünün kimyasal içeriği farklıdır. Bu durumda odunun makroskopik yapısının yanında bu davranışta odunun kimyasal içeriğinin de önemli olduğunu gözardı etmemek gerekir. Çünkü özgül ağırlığı birbirine oldukça yakın olan türler arasında meydana gelen küçük farklılıklar ancak kimyasal içeriklerinin farklı olması ile açıklanabilir.

Kayıp faktörü üzerinde odun türünün etkisini inceleyen çoğul varyans analizi sonuçlarına göre (Tablo 38-39), 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında odun türünün dielektrik kayıp faktörü üzerine etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca odun türünün, lif yönü ve rutubet grubu ile bunların etkileşimlerinin de kayıp faktörü üzerine etkisi istatistiksel olarak önemlidir. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında kayıp faktörünün odun türüne göre değişimi Şekil 27'de verilmektedir.

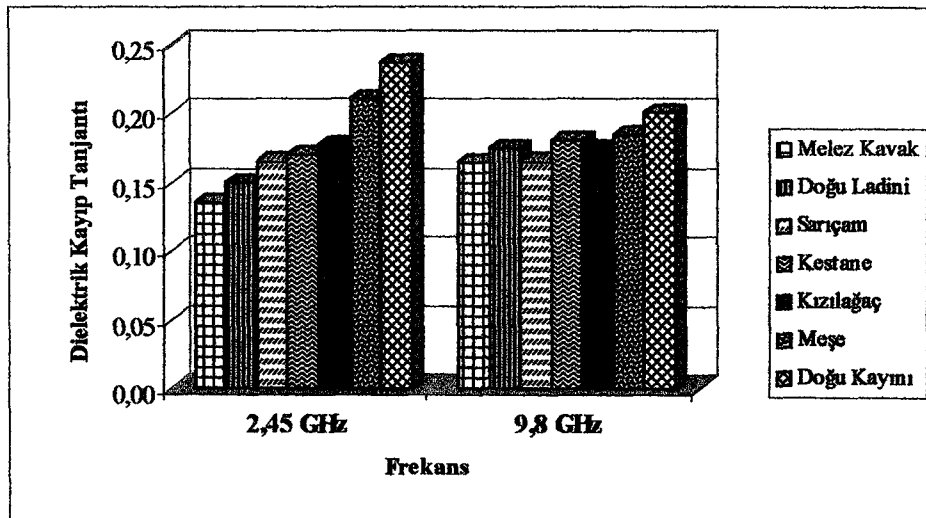
Dielektrik kayıp faktörü en yüksek değerden en düşük değere doğru sırasıyla 2.45 GHz de, Melez Kavak, Doğu Ladini, Sariçam, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını sıralamasını takip etmekte olup, Sariçam, Sakallı Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır; 9.8 GHz de, Melez Kavak, Doğu Ladini, Sariçam, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını sırasını takip etmekte olup Ladin, Sariçam, Kızılağaç ile Kestane, Kızılağaç bir grup oluşturmaktadır.



Şekil 27. Kayıp faktörü üzerine odun türünün etkisi

Odun türlerinin kayıp faktörü sıralamasına dikkat edildiğinde dielektrik sabitinde olduğu gibi en yüksek özgül ağırlığa sahip Kayın odunu en yüksek kayıp faktörü değerine ve en düşük özgül ağırlığa sahip Kavak en düşük kayıp faktörüne sahiptir. Yani dielektrik sabitiyle kayıp faktörünün odun türüne göre değişimi oldukça benzerdir.

Kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisinin (Tablo 52-53), odun türünün lif yönü ve rutubet grubu etkileşimlerinin etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Odun türüne göre kayıp tanjantının değişimi Şekil 28’de verilmektedir.



Şekil 28. Kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisi

Kayıp tanjantı odun türlerine göre, düşük değerden yüksek değere doğru 2.45 GHz de Melez Kavak, Doğu Ladini, Sarıçam, Anadolu Kestanesi, Sakallı Kızılağaç, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını sıralamasını takip etmekte olup, Sarıçam, Sakallı Kızılağaç aynı grupta yer almaktadır. 9.8 GHz de ise Melez Kavak, Sarıçam, Doğu Ladini, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını sırasını takip etmekte olup, Melez Kavak, Doğu Ladini ve Sarıçam, Doğu Ladini, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi ve Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe bir grup oluşturmaktadır. Bu sonuçlardan farkedildiği üzere kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisi daha karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu durum literatürde de belirtilmektedir [10]. Kayıp tanjantının bu karmaşık durumu odunun özel yapısının kayıp tanjantı üzerinde daha belirgin olduğu sonucunu vurgular gibi görünmekle birlikte, kayıp tanjantının ölçüm hata büyüklüğünün diğer dielektrik özelliklere oranla çok daha büyük olduğunu gözardı etmemek gerekir.

Literatürde genel olarak, türlerin dielektrik davranışları arasındaki farklılıkların onların spesifik karakteristikleriyle ilişkili olduğu belirtilmektedir [7, 10, 31]. Bunların arasında odunun sorpsiyon kapasitesini yöneten faktörlerin özellikle etkili olduğu üzerinde durulmaktadır. Aynı zamanda odunun özgül ağırlığı ve permeabilitesini belirleyen odunun genel yapısıyla ilgili faktörlerin de türe göre dielektrik özelliklerin değişiminde en etkili faktörler olduğu belirtilmektedir [7, 31]. Bu çalışmada bulunan sonuçlar, bu teorileri destekler niteliktedir.

Çalışılan odun türlerinin tam kuru özgül ağırlık değerleri incelendiğinde (Tablo 19) odun türlerine göre dielektrik özelliklerdeki sıralamanın odun türlerinin özgül ağırlıktaki sıralamasıyla oldukça benzer olduğu göze çarpmaktadır. Bu çalışmada bulunan sonuçlardan, özgül ağırlığın odun türünün dielektrik özellikleri üzerinde en belirgin faktör olduğu yargısına varılmakla birlikte dielektrik özelliklerin türlere göre değişiminde türe has özelliklerin yani odun elemanlarının oduna katılım oranları, kimyasal madde içeriği vb. faktörlerin de önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü dielektrik kayıp faktöründe ve kayıp tanjantında türler arasında açıklanması güç değişkenlikler göze çarpmaktadır. Dielektrik özellikler ile odunun kül ve mineral madde içeriği arasında ilişki bulunduğu düşünülmektedir [7]. Torgovnikov [10], beyaz meşede dielektrik sabiti değerinin yumuşak odunlardan daha yüksek olmasını beyaz meşede trahelerin ve özışını oranının daha yüksek olması ile açıklamıştır.

Bu bağlamda, türlerin dielektrik davranışları arasındaki farklılıkların, özgül ağırlık ve türlere ait spesifik karakteristiklerin birlikte ele alınarak değerlendirilmesi gerektiği göze çarpmaktadır. Bu çalışmadaki mevcut verilerle dielektrik özellikler ile odunun özgül ağırlığı arasındaki ilişki analiz edilmiştir.

4.1.2. Odun Türü Bazında Dielektrik Özelliklerin Rutubet Miktarı ve Lif Yönüne Göre Değişimi

Odunun dielektrik özellikleri üzerine rutubet miktarı ve lif yönünün etkisi odun türü bazında ele alınmış ve sonra bütün türler birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir. Çünkü yapılan çoğul varyans analizi sonuçlarına göre dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine odun türü, rutubet miktarı ve lif yönünün birlikteki etkileşimlerinin önemli olduğu belirlenmiştir.

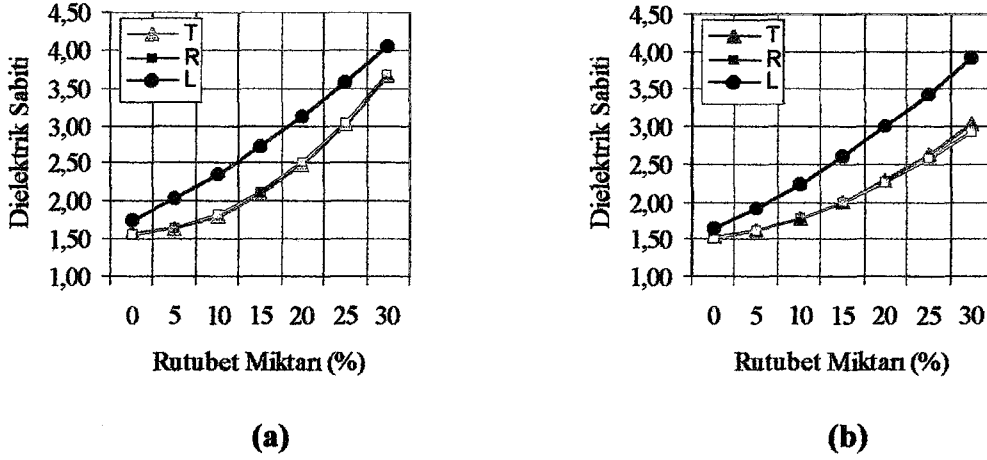
Odun türlerinin her biri için, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik özelliklerin rutubet miktarına göre değişimi, üç lif yönünde gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucu elde edilen eşitliklerin hesaplanmasıyla oluşturulan grafikler kullanılarak yorumlanmıştır.

Odun türlerinin her biri için dielektrik özelliklerin lif yönüne göre değişimi ise yapılan basit varyans analizlerine dayandırılarak grafikler üzerinde yorumlanmıştır. Liflere paralel ve liflere dik yöndeki dielektrik parametreler arasındaki ilişkiler dielektrik sabiti için $k_1 = \epsilon'_{//} / \epsilon'_{\perp}$, kayıp tanjantı için $k_2 = \tan\delta_{//} / \tan\delta_{\perp}$, kayıp faktörü için $k_3 = \epsilon''_{//} / \epsilon''_{\perp}$ katsayıları ile teğet ve radyal yöndeki dielektrik parametreler arasındaki ilişkiler ise $k_{1(R/T)} = \epsilon'_{R/T} / \epsilon'_{T}$, $k_{2(R/T)} = \tan\delta_{R/T} / \tan\delta_T$ ve $k_{3(R/T)} = \epsilon''_{R/T} / \epsilon''_T$ katsayıları ile ifade edilmiştir.

4.1.2.1. Doğu Ladini Odununun Dielektrik Özellikleri

Doğu Ladini odununda dielektrik sabiti bütün lif yönlerinde rutubet miktarının artışıyla sürekli artmaktadır (Şekil 29). Rutubet miktarı % 0 dan % 28'e yükselirken dielektrik sabiti, 2.45 GHz de teğet yönde 1.59'dan 3.24'e, radyal yönde 1.56'dan 3.25'e

ve liflere paralel yönde 1.82'den 4.12'ye; 9.8 GHz de teğet yönde 1.53'den 2.95'e, radyal yönde 1.53'den 2.93'e ve liflere paralel yönde 1.72'den 3.73'e çıkmaktadır.



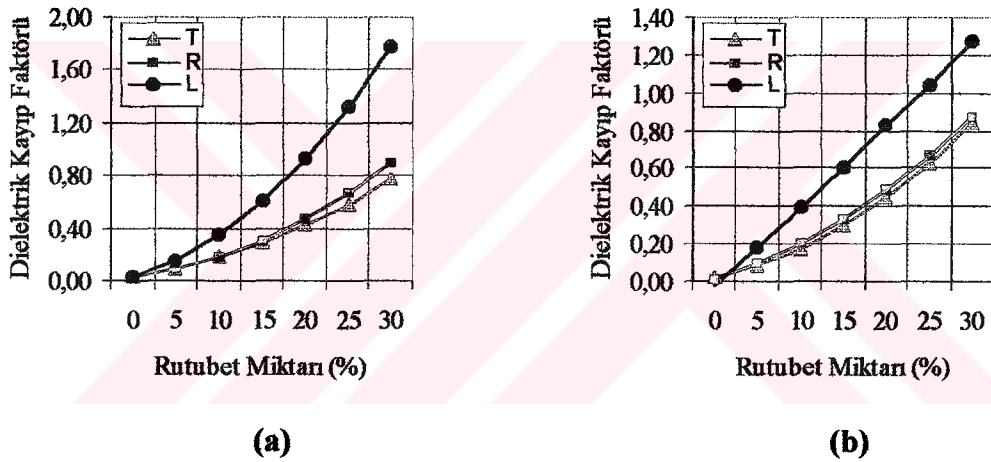
Şekil 29. Doğu Ladini odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Doğu Ladini odununda liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti değeri liflere dik yöndekinden $k_1 = 1.3$ kat yüksek olup frekansla değişmemektedir. Ayrıca rutubet miktarına göre, çalışılan iki frekansta liflere paralel ve liflere dik yön arasında farklılık gözlenmiştir. 2.45 GHz de % 28 rutubet miktarına yaklaşıldığında liflere paralel ve liflere dik yön arasındaki fark azalmaktadır. Teğet yöndeki dielektrik sabiti değeri radyal yöndekine oldukça yakındır (2.45 GHz de $k_{1(R/T)} = 1$ ve 9.8 GHz de $k_{1(R/T)} = 0.99$) ve aradaki fark istatistiksel anlamda önemsizdir. Rutubet miktarıyla ve frekansla $k_{1(R/T)}$ katsayısı değişmemektedir.

Peyskens vd.[7], 3 GHz de yaptıkları çalışmada, Ladin [*Picea abies (L.)Karst.*] odununun dielektrik sabiti değerinin rutubet miktarının artışıyla arttığını ve % 28 de yaklaşık $\epsilon'_L : 5.4$ olduğunu belirtmiştir. Tüm rutubet miktarlarındaki değerler Doğu Ladini değerlerine benzer olmakla birlikte bir derece daha yüksektir. Ayrıca Jain ve Dubey [31] 9.8 GHz de, *Picea smithiana* odununun liflere paralel yöndeki dielektrik sabitinin % 0 rutubette 1.65 olduğunu belirtmektedirler. Torgovnikov [10], 2.375 GHz frekansında Ladin üzerinde yaptığı çalışmada rutubet miktarına göre liflere dik yöndeki dielektrik sabitinin % 5'de 1.8, % 10'da 2.1, % 20'de 2.8 ve % 30'da 3.5 olduğunu ; liflere paralel yöndeki dielektrik sabitinin ise rutubet miktarına göre %5'de 2.0, %10'da 2.5, %20'de 3.8,

% 30'da 5.5 olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada Doğu Ladininin dielektrik sabiti değerleri literatürle benzer olmakla birlikte küçük farklılıklar vardır. Dielektrik sabitindeki bu küçük farklılıkların türlerin varyetelerinin farklı olmasından ve özgül ağırlık gibi türe has özelliklerin değişiminden veya frekansın farklılığından kaynaklanabilir.

Doğu ladini odununda kayıp faktöründe (ϵ'') (Şekil 30) çalışılan her iki frekans sınırında rutubet miktarının artışıyla belirgin şekilde artış olduğu görülmektedir. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp faktörü, 2.45 GHz de teğet yönde 0.038'den 0.622'ye, radyal yönde 0.030'dan 0.749'a ve liflere paralel yönde 0.070'den 1.32'ye; 9.8 GHz de teğet yönde 0.038 den 0.78'e, radyal yönde 0.040'dan 0.79'a ve liflere paralel yönde 0.06'dan 1.124'e yükselmektedir.



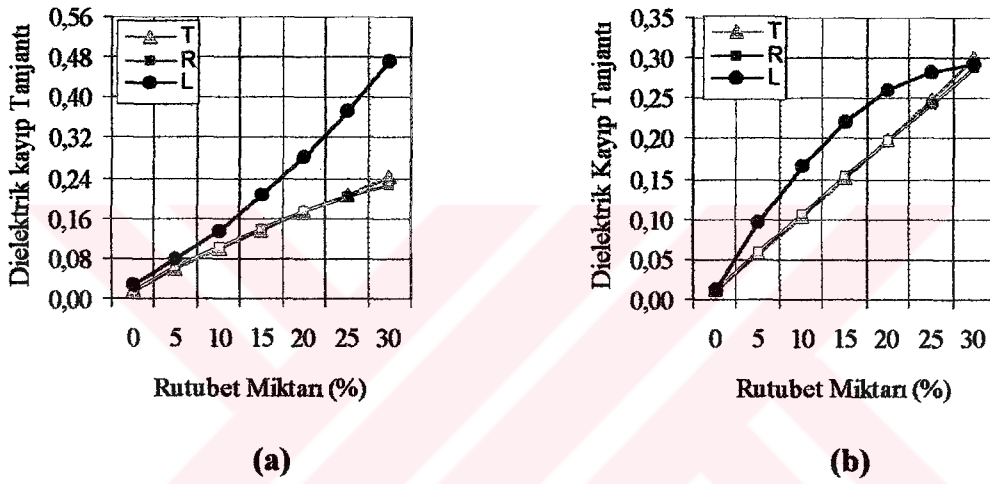
Şekil 30. Doğu Ladini odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yöndekinden 2.45 GHz de $k_3= 2.1$ ve 9.8 GHz de $k_3= 1.8$ kat yüksektir. Radyal yöndeki kayıp faktörü teğet yöndekinden yüksektir, fakat aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur. 2.45 GHz de $k_{3(R/T)} = 0.97$ ve 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 0.99$ olarak bulunmuş olup rutubet miktarıyla önemsiz oranda değişmektedir.

Peyskens vd.[7], 3. GHz de Ladinde rutubet miktarı ve lif yönüne göre kayıp faktöründe benzer bir eğilim olduğunu belirtmişlerdir ve ayrıca bu çalışmada belirtilen

bütün rutubet miktarlarındaki değerleri Doğu Ladinine oldukça benzerdir (örneğin, % 15 de $\epsilon''_T : 0.20$, $\epsilon''_R : 0.24$, $\epsilon''_L : 0.65$).

Doğu Ladininin kayıp tanjantının ($\tan\delta$) (Şekil 31), rutubet miktarı ile arttığı gözlenmiştir. Rutubet miktarının % 0'dan % 28 yükselirken tanjantı, 2.45 GHz de teğet yönde 0.024'den 0.189'a, radyal yönde 0.019'dan 0.188'e ve liflere paralel yönde 0.035'den 0.32'ye; 9.8 GHz de teğet yönde 0.026'da 0.268'e, radyal yönde 0.028'den 0.272'e, liflere paralel yönde 0.034'den 0.304'e yükselmektedir.



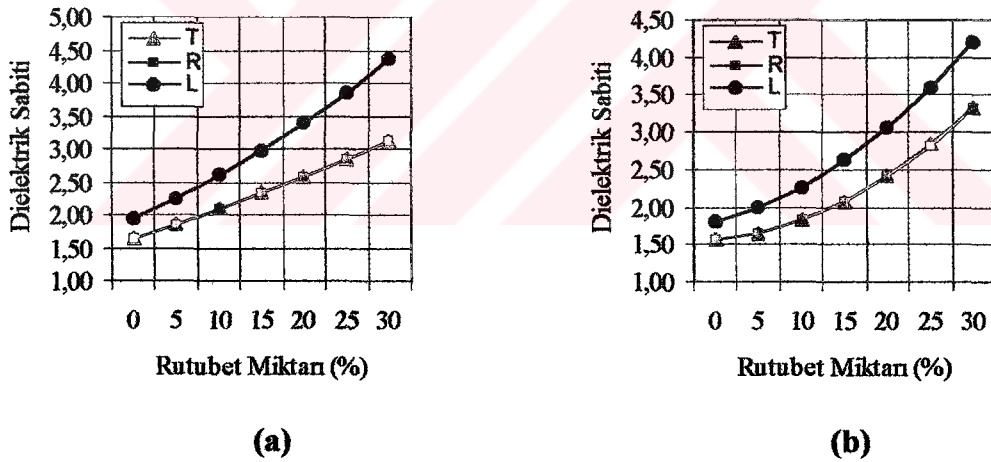
Şekil 31. Doğu Ladini odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı liflere dik yöndekinden 2.45 GHz de $k_2 = 1.6$ ve 9.8 GHz de $k_2 = 1.5$ kat yüksek olup frekans arttıkça liflere paralel ve liflere dik yöndeki farkın azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca rutubet miktarı arttıkça lif yönlerindeki durumda farklılık gözlenmiştir. Kayıp tanjantının rutubet ile değişimi incelendiğinde rutubet miktarının artışıyla 9.8 GHz frekansında liflere paralel yönde kayıp tanjantında bir ani bir yükseliş (% 22'ye kadar) sonra düşüş gözlenmiş olup, LDN yakın rutubet miktarında liflere paralel yön eğrisinin teğet ve radyal eğrileriyle birleştiği görülmüştür. Ancak bu duruma 2.45 GHz de rastlanmamıştır. Teğet ve radyal yön arasında ise fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (2.45 GHz de $k_{2(R/T)} = 0.95$ ve 9.8 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.0$). Teğet ve radyal yön arasındaki fark rutubet miktarıyla önemsiz oranda artış gözlenmiştir.

Peyskens vd. [7], Ladin odununda rutubet miktarının artışıyla benzer bir eğilim olduğunu ve % 25 rutubet miktarından sonra kayıp tanjantının azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada % 6-35 rutubet miktarı sınırlarında bulunan değerler Doğu Ladini ile oldukça benzerdir. Torgovnikov [10], 2.375 GHz frekansında Ladinin kayıp tanjantını rutubet miktarına göre liflere dik yönde ve liflere paralel yönde sırasıyla %5’de 0.06, 0.08; %10’da 0.09, 0.15; %20’de 0.16, 0.26 ve %30’da 0.22,0.30 olarak bulmuştur.

4.1.2.2. Sarıçam Odununun Dielektrik Özellikleri

Sarıçamın dielektrik sabiti rutubet miktarı ile artmaktadır (Şekil 32). Rutubet miktarı % 0’dan % 28 yükselirken dielektrik sabiti, 2.45 GHz de teğet yönde 1.67’den 3.49’a, radyal yönde 1.64’den 3.46’a ve liflere paralel yönde 1.96’den 4.23’e; 9.8 GHz de teğet yönde 1.6’dan 3.07’ye, radyal yönde 1.59’dan 3.09’a ve liflere paralel yönde 1.85’den 3.99’a çıkmıştır.

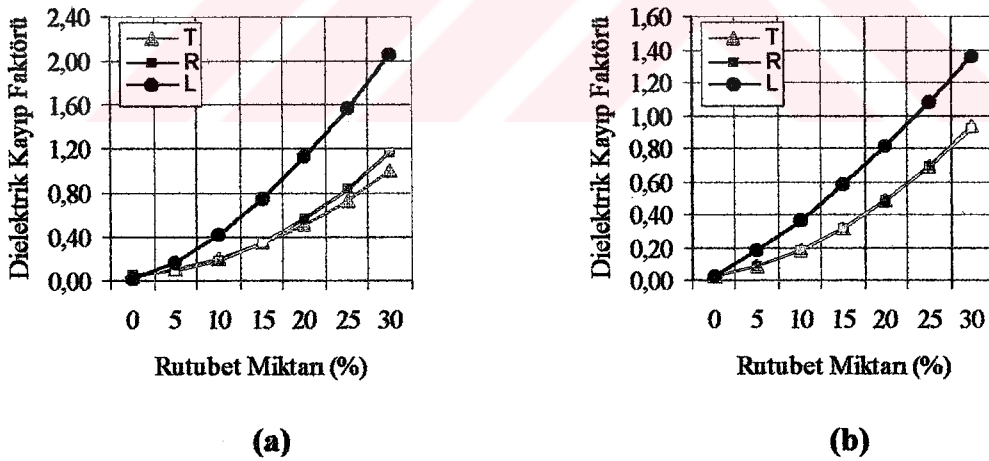


Şekil 32. Sarıçam odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yöndekinden 2.45 GHz de $k_1=1.3$, 9.8 GHz de de $k_1=1.2$ kat yüksek olup frekansla önemsiz oranda değişmektedir. Teğet ve radyal yöndeki dielektrik sabiti değeri birbirine oldukça yakın olup 2.45 GHz de $k_{1(R/T)} = 0.99$, 9.8 GHz de $k_{1(R/T)} = 0.99$ olarak bulunmuştur. Lif yönleri arasındaki fark rutubet miktarı ve frekansa göre aynı olup rutubet ve frekansla değişmemektedir.

Sarıçamın 2.45 GHz de dielektrik sabitinin rutubet miktarı ve lif yönüne göre sergilediği durum ve değerleri Peyskens vd. [7] çalışmalarında *Pinus sylvestris L* için bulduklarıyla oldukça benzerdir. Jain ve Dubey [31], 9.8 GHz de *Pinus roxburghii* ($\delta_0 = 397 \text{ gr/cm}^3$) için % 0 da ϵ'_L : 1.53, % 8.6 da ϵ'_L : 1.92, % 13.4 de ϵ'_L : 2.17 değerlerini ve *Pinus wallichiana* ($\delta_0 = 0.432 \text{ gr/cm}^3$) % 0 da ϵ'_L : 1.50, % 8.4 da ϵ'_L : 1.81, % 13.3 de ϵ'_L : 2.33 değerlerini bulmuşlardır. Bu değerler 9.8 GHz de Sarıçam için bulunan değerlere oldukça benzerdir. Olmi vd.[38] 2-3 GHz frekanslarında Avrupa çamı üzerinde yaptıkları çalışmada çamın rutubet miktarının % 0'dan % 28'e artışıyla dielektrik sabitinin, 1.80'den 4.4'e yükseldiğini belirtmişlerdir. Bu değerler Sarıçam için liflere paralel yönde 2.45 GHz de bulunan değerlerle hemen hemen aynıdır.

Sarıçamın kayıp faktörü (Şekil 33) rutubet miktarı arttıkça artmaktadır. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp faktörü, 2.45 GHz de teğet yönde 0.042'den 0.896'a, radyal yönde 0.036'dan 0.924'e ve liflere paralel yönde 0.087'den 1.504'e; 9.8 GHz de teğet yönde 0.046'dan 0.774'e, radyal yönde 0.038'den 0.784'e ve liflere paralel yönde 0.074'den 1.262'e yükselmektedir.



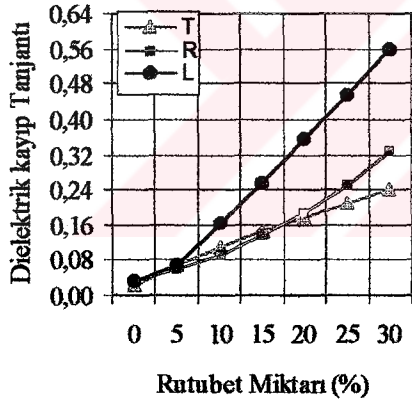
Şekil 33. Sarıçam odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Sarıçam'da liflere paralel yöndeki dielektrik kayıp faktörü değeri liflere dik yöndekilerden 2.45 GHz de $k_3 = 2.2$, 9.8 GHz de $k_3 = 1.8$ kat yüksek olup olup frekans arttıkça aradaki fark azalmaktadır. Sarıçamın kayıp faktörü teğet ve radyal yönlerde oldukça benzer olup 2.45 GHz de $k_{3(R/T)} = 0.98$, 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.01$ olarak

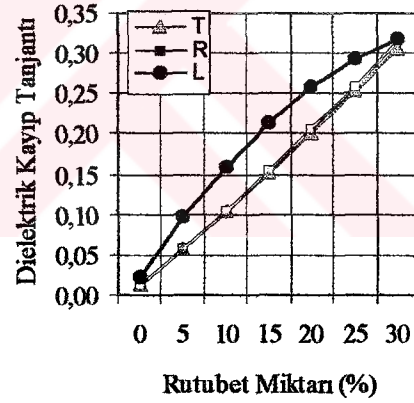
bulunmuştur. Teğet ve radyal yöndeki dielektrik kayıp faktöründeki değişim frekansla ve rutubet miktarı ile değişmemektedir.

Peyskens vd. [7], Sarıçamın dielektrik kayıp faktörü için rutubet miktarı ve lif yönü ile benzer bir eğilim göstermiş ve değerler birbirine oldukça yakındır. Olmi vd. [38], 2-3GHz de Avrupa çamının %0-28 sınırlarında kayıp faktörünün 0.07'den 0.85'e yükseldiğini belirtmiştir. Bu değerler Sarıçam için bululan değerlerden bir derece daha düşüktür.

Sarıçamın kayıp tanjantı (Şekil 34) her iki frekansta rutubet miktarının artışıyla artmaktadır. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp tanjantı, 2.45 GHz de teğet yönde 0.025'den 0.204'e, radyal yönde 0.022'den 0.226'ya, liflere paralel yönde 0.036'dan 0.367'e; 9.8 GHz de teğet yönde 0.026'dan 0.250'e, radyal yönde 0.026'dan 0.262' e , liflere paralel yönde 0.042' den 0.316' ya yükselmektedir.



(a)



(b)

Şekil 34. Sarıçam odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

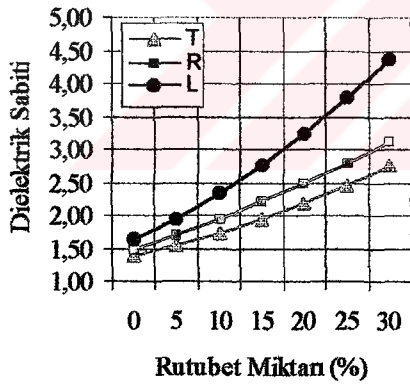
Sarıçamda liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı değeri liflere dik yöndekinden 2.45 GHz de $k_2= 1.8$ ve 9.8 GHz de $k_2= 1.5$ kat yüksek olup, aradaki fark frekans arttıkça azalmaktadır. Teğet ve radyal yöndeki dielektrik kayıp tanjantı değerleri ise birbirine oldukça yakındır. Ancak kayıp tanjantının rutubet miktarı ile değişimi frekansa göre farklılık göstermektedir. 9.8 GHz frekansında liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti yaklaşık LDN rutubet miktarında teğet ve radyal yöndeki değerle aynı olmaktadır. Bu

durum Sarıçam için 3 GHz frekansında Peyskens vd. [7] tarafından da belirtilmektedir. Teğet yöndeki kayıp tanjantı radyal yöndekiyle oldukça benzer olup 2.45 GHz de $k_{2(R/T)} = 0.98$, 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.05$ olarak bulunmuştur.

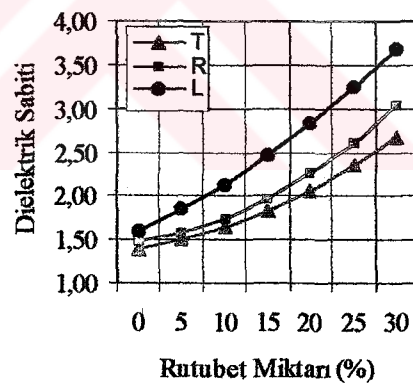
Peyskens vd. [7], Sarıçamda radyal yöndeki kayıp tanjantının teğet yöndekiyle aynı olmakla birlikte yüksek rutubet miktarlarında teğet yöndeki kayıp tanjantının arttığını belirtmişlerdir.

4.1.2.3. Melez Kavak Odununun Dielektrik Özellikleri

Melez Kavak odununda rutubet miktarı arttıkça her iki frekansta dielektrik sabiti (Şekil 35) artmaktadır. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken dielektrik sabiti, 2.45 GHz de teğet yönde 1.44'den 2.67'ye, radyal yönde 1.52'den 3.02'ye, liflere paralel yönde 1.70'den 3.93'e; 9.8 GHz de teğet yönde 1.41'den 2.48'e, radyal yönde 1.47'den 2.97'ye, liflere paralel yönde 1.62'den 3.57'ye yükselmektedir.



(a)



(b)

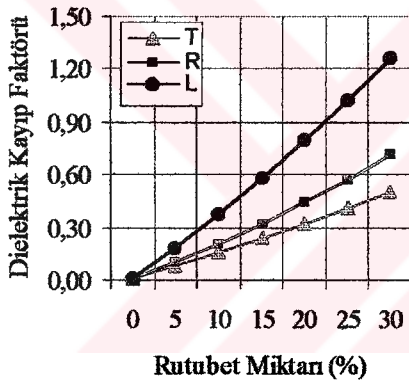
Şekil 35. Melez Kavak odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Lif yönü dikkate alındığında liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti değeri liflere dik yönden $k_1 = 1.3$ kat yüksek olup frekansla değişmemektedir. Radyal yöndeki dielektrik sabiti teğet yönden yüksek olmakla birlikte aradaki fark istatistiksel olarak anlamsız çıkmıştır. 2.45 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.1$, 9.8 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.08$ olarak bulunmuştur.

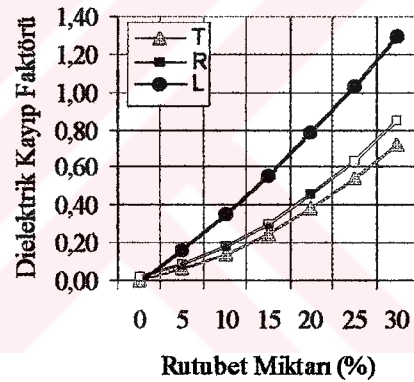
Teğet ve radyal yöndeki değişim frekansla birlikte oldukça benzer olup her iki frekansta rutubet arttıkça teğet ve radyal yön arasındaki fark belirginleşmektedir.

Olmi vd. [38], Kavak odununun 2-3 GHz frekans sınırlarında dielektrik sabitinin rutubet miktarının % 0 dan % 30'a artışıyla dielektrik sabitinin 1.7den 3.8'e yükseldiğini ve rutubet miktarıyla benzer bir eğilim olduğunu belirtmişlerdir.

Melez Kavakta dielektrik kayıp faktörü (Şekil 36) rutubet miktarının artışıyla artış göstermektedir. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp faktörü, 2.45 GHz de teğet yönde 0.018'den 0.473'e, radyal yönde 0.027'den 0.655'e ve liflere paralel yönde 0.046'dan 0.968'e; 9.8 GHz de teğet yönde 0.030'dan 0.654'e, radyal yönde 0.030'dan 0.778'e ve liflere paralel yönde 0.052'den 1.166'a yükselmiştir.



(a)



(b)

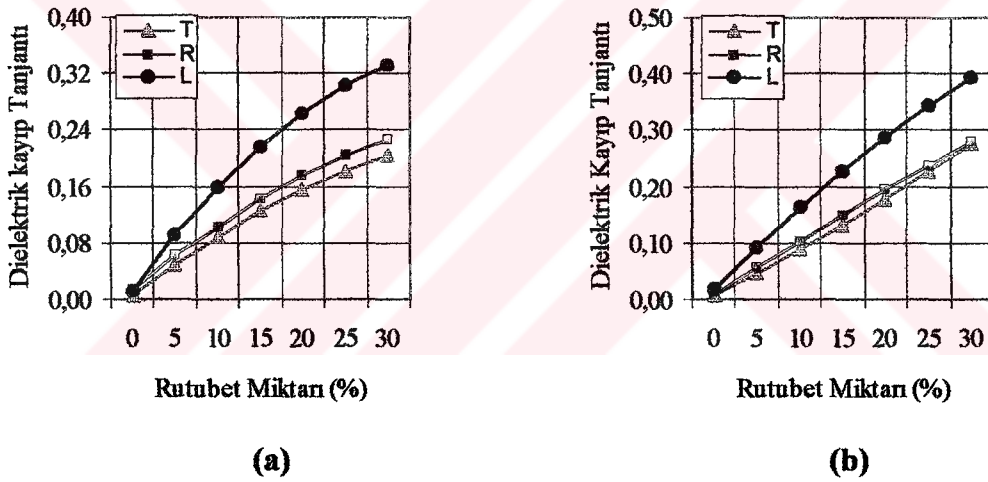
Şekil 36. Melez Kavak odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Lif yönü dikkate alındığında Melez Kavak'ta liflere paralel yöndeki kayıp faktörü liflere dik yöndekinden $k_3=2$ kat yüksek olup frekansla sabit kalmaktadır. Rutubet miktarı ile liflere paralel ve liflere dik yöndeki fark belirginleşmekte özellikle 2.45 GHz frekansında oldukça LDN yakın rutubet miktarına yaklaşıldığında aradaki fark oldukça yüksek olmaktadır. Radyal yöndeki kayıp faktörü teğet yöndekinden yüksek çıkmıştır, ancak bu iki yön arasındaki fark istatistiksel olarak anlamsızdır (2.45 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.31$, 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.07$). Teğet ve radyal yön arasındaki fark her iki frekansta oldukça

benzer olup her iki frekansta rutubet miktarı arttıkça lif yönleri arasındaki fark belirginleşmektedir.

Olmi vd.[38], Kavak odununda rutubet miktarının %0' dan % 30' a yükselişle kayıp faktörünün 0.040 'lardan 0.80'e yükseldiğini belirtmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar oldukça benzerdir.

Melez Kavakta kayıp tanjantı da (Şekil 37) diğer dielektrik parametrelerde olduğu rutubetle artış göstermektedir. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp tanjantı, 2.45 GHz de teğet yönde 0.012'den 0.197'ye, radyal yönde 0.018'den 0.201'e ve liflere paralel yönde 0.027'den 0.234'e; 9.8GHz de teğet yönde 0.020'den 0.262'e , radyal yönde 0.020'den 0.282'ye ve liflere paralel yönde 0.032'den 0.330'a yükselmiştir.

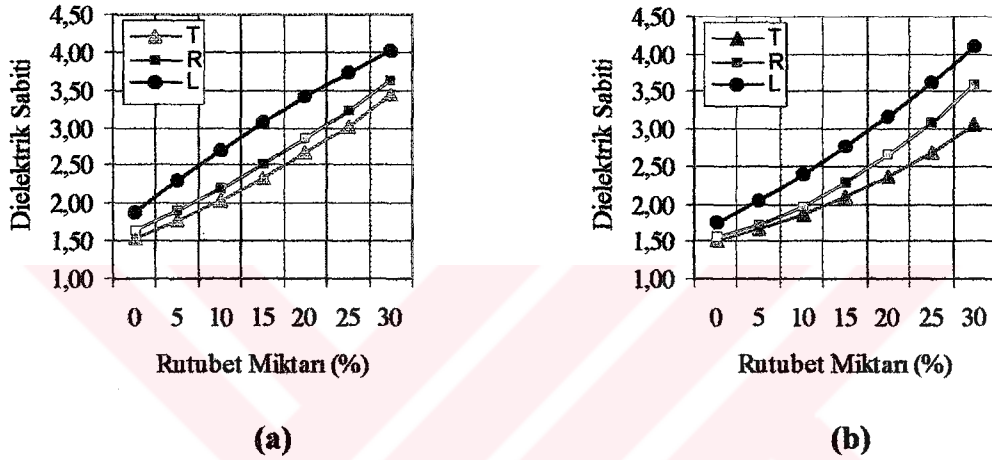


Şekil 37. Melez Kavak odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki tanjantı liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_2 = 1.6$, 9.8 GHz de $k_2 = 1.5$ kat yüksek olup frekansla azalmaktadır. Rutubet miktarı arttıkça aradaki fark belirginleşmektedir. Teğet yöndeki kayıp faktörü radyal yöndekinden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.15$, 9.8 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.08$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur. Çalışılan her iki frekansta rutubet miktarına göre teğet ve radyal yön arasında belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

4.1.2.4. Sakallı Kızılağaç Odununun Dielektrik Özellikleri

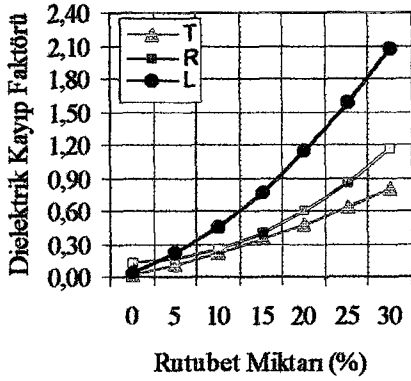
Kızılağaç odununda dielektrik sabiti (Şekil 38) rutubet miktarının artışıyla artış göstermektedir. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken dielektrik sabiti, 2.45 GHz de teğet yönde 1.59'dan 3.32'ye, radyal yönde 1.67'den 3.47'ye ve liflere paralel yönde 1.88'den 4.33'e; 9.8 GHz de teğet yönde 1.58'den 3.07'ye, radyal yönde 1.65'den 3.35'e ve liflere paralel yönde 1.87'den 3.71'e yükselmiştir.



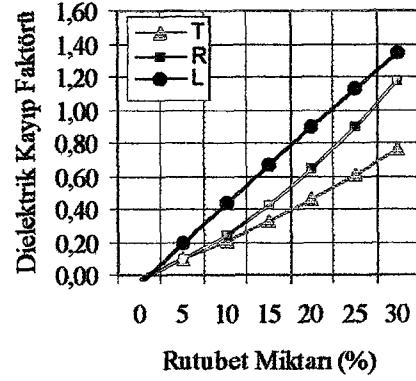
Şekil 38. Kızılağaç odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Kızılağaç odunda liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti, liflere dik yöndekinden 2.45 ve 9.8 GHz de sırasıyla $k_1=1.3$ ve 1.2 kat daha yüksek olup frekansla artış göstermiştir. Teğet yöndeki dielektrik sabiti değeri radyal yöndekinden 2.45 ve 9.8 GHz de sırasıyla $k_{1(R/T)}$: 1.06 kat daha yüksektir. Dielektrik sabiti radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.06$, 9.8 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.07$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. Rutubet miktarı arttıkça her üç lif yönü arasındaki fark artış göstermekle birlikte çok belirgin değildir.

Kızılağaç odununda kayıp faktörü (Şekil 39) rutubet miktarı arttıkça artmaktadır. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp faktörü, 2.45 GHz de teğet yönde 0.029'dan 0.742'ye, radyal yönde 0.034'den 0.889'a ve liflere paralel yönde 0.053'den 1.690'a; 9.8 GHz de teğet 0.040'dan 0.762'ye, radyal yönde 0.040'dan 0.903'e ve liflere paralel yönde 0.066'dan 1.260'a yükselmiştir.



(a)



(b)

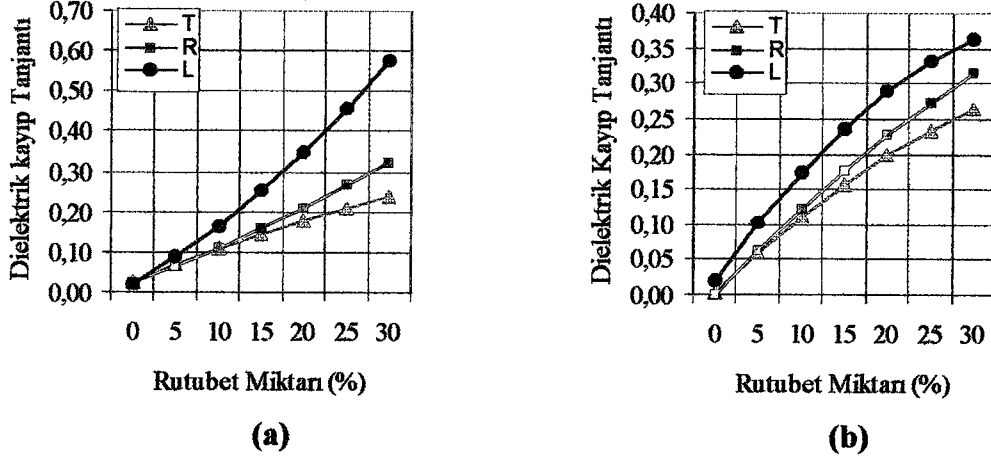
Şekil 39. Kızılağaç odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki kayıp faktörü liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_3 = 2.1$, 9.8 GHz de $k_2 = 1.7$ kat yüksek olup frekansla azalmaktadır. Kayıp faktörü radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.22$, 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.17$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. $k_{3(R/T)}$ katsayısında frekansla birlikte önemsiz bir düşüş gözlenmektedir. Rutubet miktarının artışıyla her iki frekansta radyal ve teğet yön arasındaki fark belirginleşmektedir.

Kızılağaç odununda kayıp tanjantı (Şekil 40) rutubet miktarının artışıyla yükselmektedir. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp tanjantı, 2.45 GHz de teğet yönde 0.018'den 0.224'e, radyal yönde 0.021'den 0.307'e ve liflere paralel yönde 0.028'den 0.413'e; 9.8 GHz de teğet yönde 0.020'den 0.254'e, radyal yönde 0.024'den 0.396'ya ve liflere paralel yönde 0.036'dan 0.344'e yükselmiştir.

Kızılağaç odununda liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_2 = 1.7$, 9.8 GHz de $k_2 = 1.4$ kat yüksek olup frekansla azalmaktadır. Kayıp tanjantı radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.2$, 9.8 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.18$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. Rutubet miktarı arttıkça lif yönleri arasındaki fark belirginleşmektedir. Özellikle 2.45 GHz de kayıp tanjantı değerinde rutubet miktarının artışıyla aşırı bir artış gözlenmiştir. Ancak, 9.8 GHz frekansında aynı duruma rastlanmadığından ve Kızılağaç odununun tam kuru özgül

ağırlığının geniş sınırlarda içinde (0.422-0.593 gr/cm³) değiştiği belirlendiğinden bu durumun %22 ve 28 grubu örneklerinin özgül ağırlığından kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır.

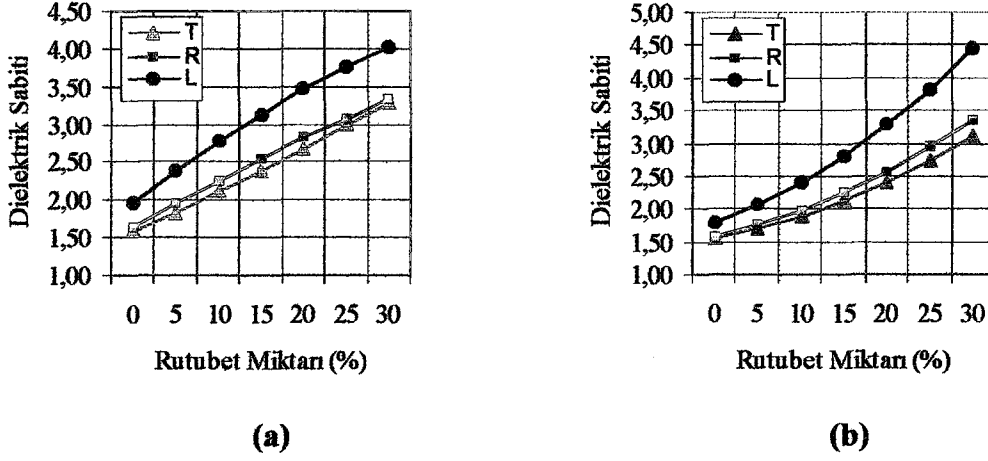


Şekil 40. Kızılağaç odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

4.1.2.5. Anadolu Kestanesi Odununun Dielektrik Özellikleri

Kestane odununda dielektrik sabiti (Şekil 41) rutubet miktarının artışıyla yükselmektedir. Rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken dielektrik sabiti, 2.45 GHz de teğet yönde 1.62'den 3.22'ye, radyal yönde 1.68'den 3.27'ye ve liflere paralel yönde 1.97'den 3.90'a; 9.8 GHz de teğet yönde 1.59'dan 3.01'e, radyal yönde 1.66'dan 3.26'ya ve liflere paralel yönde 1.89'dan 3.30'a yükselmiştir.

Kestane odununda liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yönlerdekinden $k_1 = 1.2$ kat yüksek olup frekansla ve rutubetle değişmemektedir. Dielektrik sabiti radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.05$, 9.8 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.04$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. Teğet ve radyal yönde dielektrik sabitinin rutubet miktarı ile değişimi her iki frekansta benzer olup rutubetin farkı etkilemediği görülmektedir.

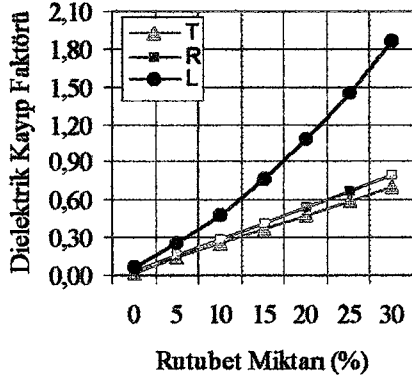


Şekil 41. Kestane odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

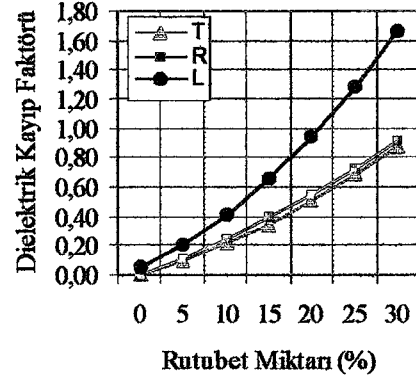
Olmi vd.[38], 2-3 GHz de yaptıkları çalışmada Kestane odununda rutubet miktarının artışıyla benzer bir eğilim olduğunu ve %0-28 rutubete kadar dielektrik sabitinin 1.90'dan 4.4'e yükseldiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada % 28 rutubet miktarında Kestanenin dielektrik sabiti değeri Olmi vd. [38] tarafından belirtilen değerden daha düşük çıkmıştır.

Kestane odununda kayıp faktörü (Şekil 42) rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp faktörü, 2.45 GHz de teğet yönde 0.035'den 0.664'e, radyal yönde 0.046'dan 0.688'e ve liflere paralel yönde 0.085'den 1.385'e; 9.8 GHz de teğet yönde 0.046'dan 0.784'e, radyal yönde 0.044'den 0.846'ya ve liflere paralel yönde 0.066'dan 1.514'e yükselmiştir. Olmi vd.[38] 2-3GHz frekanslarında kayıp faktörü için rutubet miktarı ile benzer bir değişim bulmakla birlikte değerler daha düşüktür.

Liflere paralel yöndeki kayıp faktörü liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_3 = 2.1$, 9.8 GHz de $k_3 = 1.7$ kat yüksek olup frekansla azalmakta, rutubet miktarıyla artış göstermektedir. Kayıp faktörü radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.21$, 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.15$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. $k_{3(R/T)}$ de rutubet miktarı ve frekansla değişmemektedir.



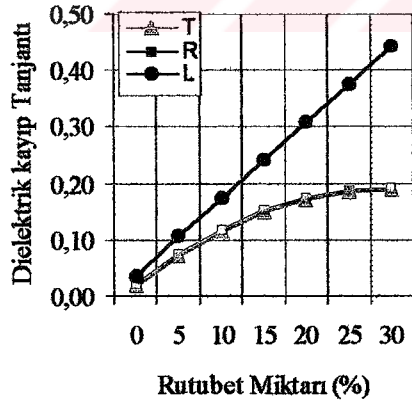
(a)



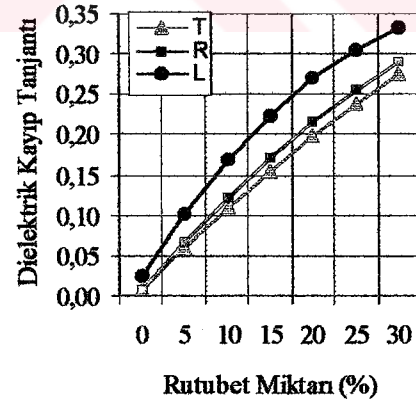
(b)

Şekil 42. Kestane odununun kayıp faktörünün (a) 2.45GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Kestane odununda kayıp tanjantı (Şekil 43) rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp tanjantı, 2.45 GHz de teğet yönde 0.022'den 0.206'ya, radyal yönde 0.028'den 0.225'e ve liflere paralel yönde 0.043'den 0.359'a; 9.8 GHz de teğet yönde 0.028'den 0.258'e, radyal yönde 0.028'den 0.260'a ve liflere paralel yönde 0.038'den 0.490'a yükselmiştir.



(a)



(b)

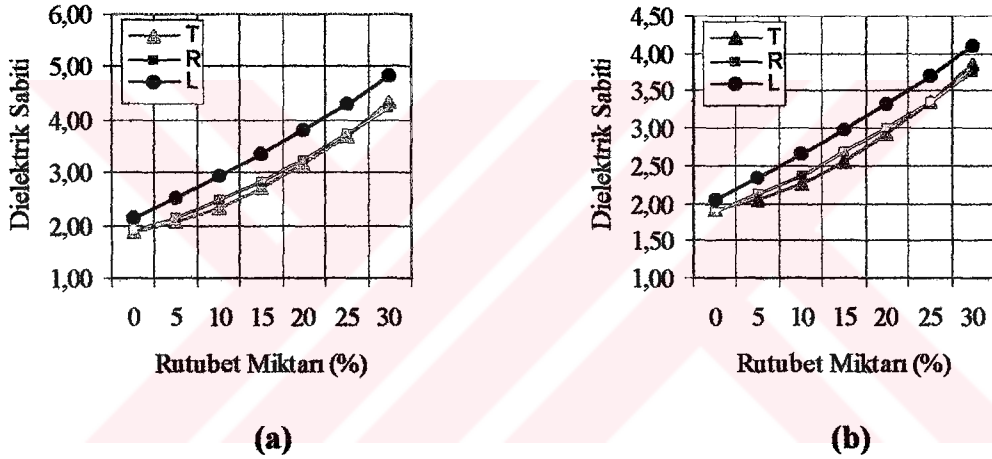
Şekil 43. Kestane odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_2 = 1.7$, 9.8 GHz de $k_2 = 1.5$ kat yüksek olup frekansla azalmakta, rutubet miktarıyla önemsiz

şekilde artmaktadır. Kayıp tanjantı radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.16$, 9.8 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.08$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır.

4.1.2.6. Sapsız Meşe Odununun Dielektrik Özellikleri

Meşe odununda dielektrik sabiti (Şekil 44) rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken dielektrik sabiti, 2.45 GHz de teğet yönde 1.81'den 4.14'e, radyal yönde 1.87'den 4.08'e ve liflere paralel yönde 2.13'den 4.63'e; 9.8 GHz de teğet yönde 1.85'den 3.69'a; radyal yönde 1.89'dan 3.66'a ve liflere paralel yönde 2.06'dan 3.45'e yükselmiştir.



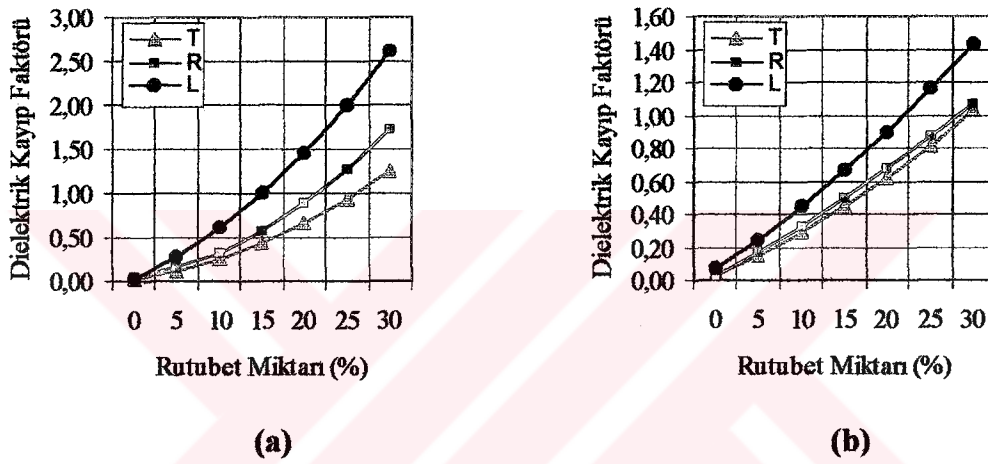
Şekil 44. Meşe odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_1 = 1.2$, 9.8 GHz de $k_1 = 1.1$ kat yüksek olup frekansla ve rutubet miktarıyla değişimin önemsiz olduğu belirlenmiştir. Radyal yönde teğet yöndeki dielektrik sabiti oldukça benzer olup (2.45 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.04$, 9.8 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.02$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır.

Olmi vd. [38], 2-3 GHz frekanslarında Meşe odunu için rutubet miktarı ile benzer bir eğilim gözlemiş ve %0-28 rutubet miktarına artışla dielektrik sabitinin 2.1'den 5.2'ye yükseldiğini belirtmiştir. Jain ve Dubey [31], 9.8 GHz de *Quercus semicarpifolia* ($\delta_0 =$

0.678 gr/cm³) odununun liflere paralel yöndeki dielektrik sabitinin % 0'da 1.88, % 10.1'de 2.68 ve % 14.4'de 3.08 olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar 9.8 GHz de Meşe odunu için bulunan değerlerle benzerdir.

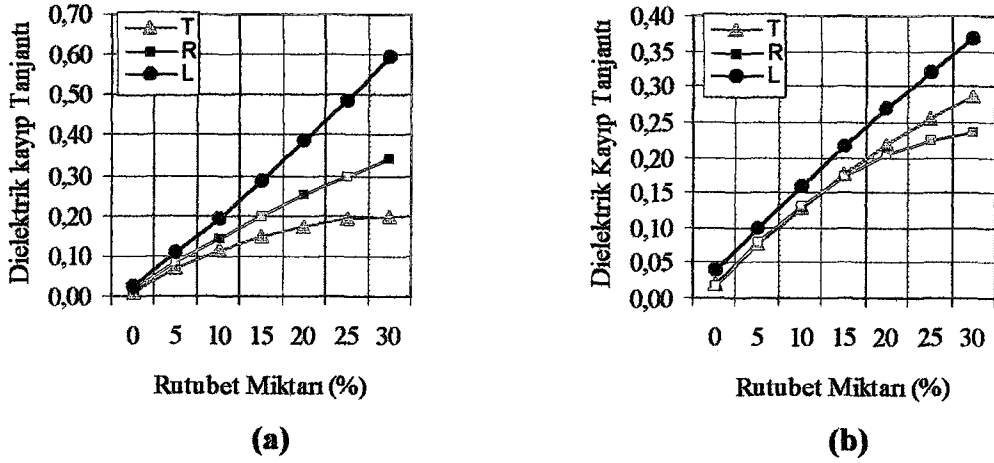
Meşe odununda kayıp faktörü (Şekil 45) rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken, 2.45 GHz de teğet yönde 0.047'den 1.106'a, radyal yönde 0.050'dan 1.480'e ve liflere paralel yönde 0.067'den 2.226'ya; 9.8 GHz de teğet yönde 0.052'den 1.006'ya, radyal yönde 0.052'den 0.104'e ve liflere paralel yönde 0.074'den 1.600'e yükselmiştir.



Şekil 45. Meşe odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki kayıp faktörü liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_3 = 1.9$, 9.8 GHz de $k_3 = 1.5$ kat yüksek olup frekansla azalmakta, rutubet miktarıyla artmaktadır. Kayıp faktörü radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.26$, 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.06$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. Rutubet miktarının artışıyla her iki frekansta da $k_{3(R/T)}$ önemsiz bir artış göstermektedir.

Meşe odununda kayıp tanjantı (Şekil 46), rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken, 2.45 GHz de teğet yönde 0.027'den 0.266'ya, radyal yönde 0.027'den 0.296'ya ve liflere paralel yönde 0.040'dan 0.544'e; 9.8 GHz de teğet yönde 0.029'dan 0.270'e, radyal yönde 0.030'dan 0.304'e ve liflere paralel yönde 0.034'den 0.458'e yükselmiştir.



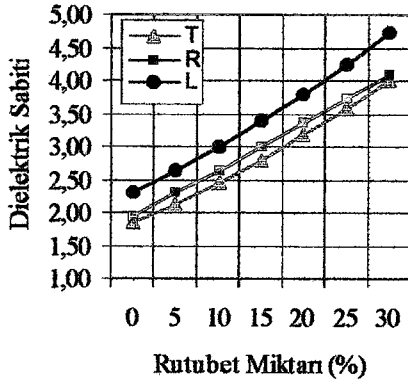
Şekil 46. Meşe odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_2 = 1.7$, 9.8 GHz de $k_2 = 1.3$ kat yüksek olup frekansla azalmakta ve rutubet miktarı ile artış göstermektedir. Kayıp tanjantı radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.15$, 9.8 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.04$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. $k_{2(R/T)}$ frekansla azalmakta ve rutubet miktarıyla artmaktadır.

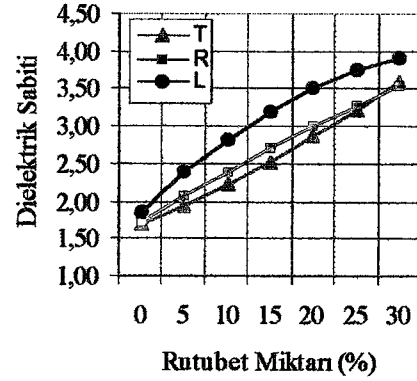
4.1.2.7. Doğu Kayını Odununun Dielektrik Özellikleri

Doğu Kayını odununda dielektrik sabiti (47), rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp sabiti, 2.45 GHz de teğet yönde 1.88'den 4.37'ye, radyal yönde 1.98'den 4.38'e ve liflere paralel yönde 2.26'dan 4.77'ye; 9.8 GHz de teğet yönde 1.80'den 3.65'e, radyal yönde 1.91'den 3.48'e ve liflere paralel yönde 2.10'dan 3.27'ye yükselmiştir.

Liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti liflere dik yönlerdekinden $k_1 = 1.2$ kat yüksek olup frekansla ve rutubet miktarı ile değişmemektedir. Dielektrik sabiti radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.06$, 9.8 GHz de $k_{1(R/T)} = 1.02$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. $k_{1(R/T)}$ nin rutubetle değişimi önemsiz olup her iki frekansta aynı eğilimi göstermektedir.



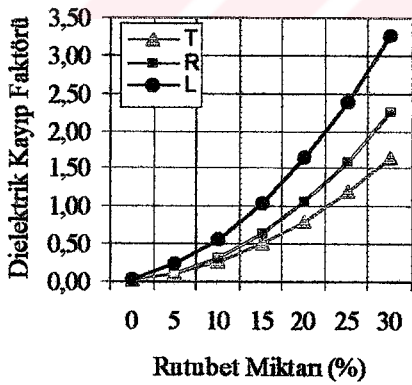
(a)



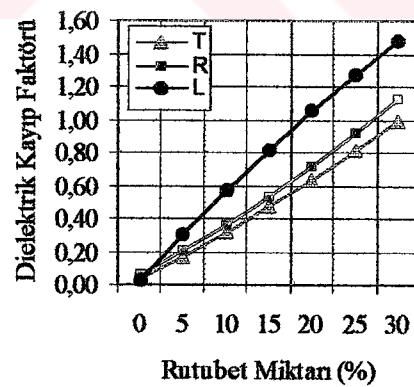
(b)

Şekil 47. Doğu Kayını odununun dielektrik sabitinin (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Doğu Kayını odununda kayıp faktörü (Şekil 48), rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp faktörü, 2.45 GHz de teğet yönde 0.045'den 1.240'a, radyal yönde 0.044'den 1.640'a ve liflere paralel yönde 0.077'den 2.506'ya; 9.8 GHz de teğet yönde 0.052'den 0.976'ya, radyal yönde 0.068'den 1.122'ye ve liflere paralel yönde 0.080'den 1.454'e yükselmiştir.



(a)

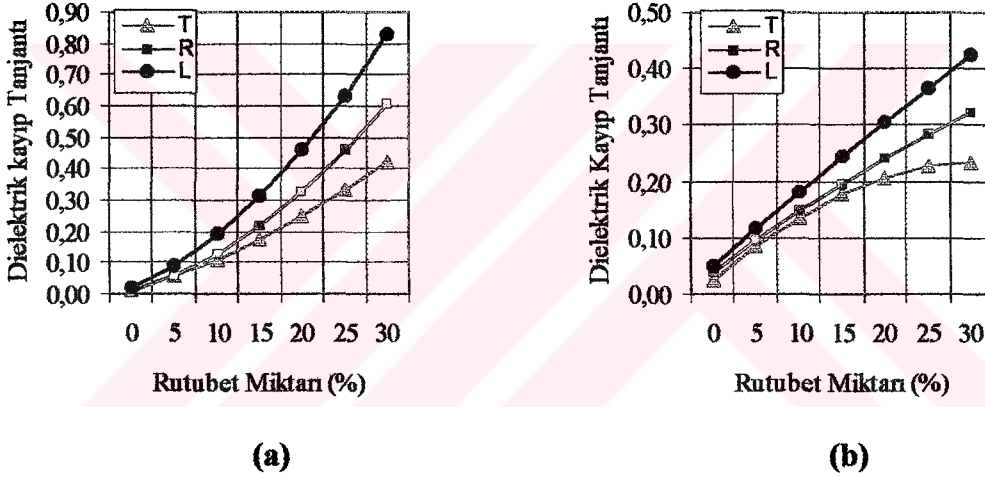


(b)

Şekil 48. Doğu Kayını odununun kayıp faktörünün (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki kayıp faktörü liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_3 = 2$, 9.8 GHz de $k_3 = 1.6$ kat yüksek olup frekansla azalmakta, rutubet miktarıyla önemsiz şekilde artış göstermektedir. Kayıp faktörü radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.26$, 9.8 GHz de $k_{3(R/T)} = 1.13$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. $k_{3(R/T)}$ frekansla azalmakta, rutubet miktarı ile artmaktadır.

Doğu Kayını odununda kayıp tanjantı (Şekil 49), rutubet miktarı % 0'dan % 28 yükselirken kayıp tanjantı, 2.45 GHz de teğet yönde 0.028'den 0.285'e, radyal yönde 0.027'den 0.321'e ve liflere paralel yönde 0.042'den 0.613'e; 9.8 GHz de teğet yönde 0.030'dan 0.268'e, radyal yönde 0.030'dan 0.318'e ve liflere paralel yönde 0.038'den 0.436'ya yükselmiştir.



Şekil 49. Doğu Kayını odununun kayıp tanjantının (a) 2.45 GHz, (b) 9.8 GHz frekanslarında rutubet miktarı ve lif yönüne göre değişimi

Liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı liflere dik yönlerdekinden 2.45 GHz de $k_2 = 1.8$, 9.8 GHz de $k_2 = 1.4$ kat yüksek olup frekansla azalmakta ve rutubet miktarı ile artış göstermektedir. Kayıp tanjantı radyal yönde teğet yönden yüksek olmakla birlikte (2.45 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.15$, 9.8 GHz de $k_{2(R/T)} = 1.05$) aradaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. $k_{2(R/T)}$ frekans arttıkça azalmakta olup her iki frekansta rutubetle artış göstermektedir.

4.1.3. Rutubet Miktarının Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisinin Genel Olarak Değerlendirilmesi

2.45 GHz ve 9.8 GHz mikrodalga frekanslarında gerçekleştirilen bu araştırmada, tüm odun türlerinde üç lif yönü için, genelde dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantının %0-LDN rutubet sınırlarında rutubet miktarının artışıyla arttığı belirlenmiştir. Yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, dielektrik özelliklerle rutubet miktarı arasındaki ilişkiyi tüm odun türlerinde ve lif yönlerinde en iyi ifade eden eşitliğin $Y = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$ (Y: ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$ ve r: rutubet miktarı) polinomial eşitliğinin olduğu belirlenmiştir. Regresyon analizi sonuçlarına göre, çalışılan her iki frekansda tüm odun türlerinde ve lif yönlerinde dielektrik özelliklerle rutubet miktarı arasında pozitif güçlü bir ilişki vardır.

Literatürde, dielektrik özelliklerle rutubet miktarı arasında lineer yada eğrisel bir ilişkinin olduğu belirtilmektedir [7, 24, 27, 28, 29, 30, 31]. Peykens vd. [7], Ladin, Avrupa çamı ve Hemlock olmak üzere 3 yumuşak odun türü için 3 GHz de ve % 6-35 rutubet miktarlarında yaptıkları incelemelerde rutubet miktarı ile dielektrik özellikler arasında $Y = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$ şeklinde bir ilişki bulmuşlardır. Jain ve Dubey [31], 20 Hindistan odun türü üzerinde liflere paralel yönde ve 9.8 GHz frekansında % 0-16 rutubet miktarı sınırlarında yaptıkları incelemelerde rutubet miktarı ile dielektrik sabiti arasında benzer bir eğilim bulmuşlardır. Kabir vd. [27], 1-17 GHz frekanslarında ve %0-100 rutubet sınırlarında Rubber odunu üzerinde yaptıkları çalışmalarda rutubet miktarı ile dielektrik özellikler arasında 4. dereceden polinomial eşitliğinin uygun olduğunu ve eşitliğin derecesinin yüksek olmasını, geniş rutubet aralığında çalışmaktan kaynaklandığını belirtmektedirler. Böylece bulunan ilişkinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Rutubet miktarı ile dielektrik özelliklerdeki artış ayrıca düşük frekanslarda yapılan çalışmalarda da belirtilmektedir. Kabir vd. [28] düşük frekanslarda dielektrik özelliklerle rutubet miktarı arasında üssel bir ilişkinin bulunduğunu ve rutubet miktarıyla dielektrik özelliklerde artış olduğunu belirtmektedirler. Vermaas [3, 6], Çam odununda 10-30 MHz de % 0-LDN arasında gerçekleştirdiği çalışmalarda benzer sonuçlar bulmuşlardır.

Tüm odun türlerinde üç lif yönünde ve çalışılan frekanslarda % 0-LDN rutubet sınırlarında dielektrik sabiti, rutubet miktarının artışıyla sürekli olarak artmıştır. Ayrıca rutubet miktarının etkisinin yüksek rutubet miktarlarında daha baskın olduğu görülmüştür.

Bu durum literatürle uyumludur. James ve Hamill [29] Douglas odununun 1, 3, 8.53 GHz frekanslarında % 6-30 rutubet miktarı sınırlarında dielektrik sabitinin rutubet miktarıyla arttığı belirtilmektedir. Kabir vd.[27], Rubber odununda 1-17 GHz de dielektrik sabitinin % 0-30 rutubet miktarı sınırlarında lineer olarak değiştiğini vurgulamışlardır. Tinga [36], 2.45 GHz de Douglas odununun dielektrik özelliklerini incelemiş ve %0-LDN a kadar dielektrik sabitinin arttığını belirtmektedir. Olmi vd. [38], 2-3 GHz frekanslarında yaptıkları çalışmada, % 0-35 rutubet miktarı sınırlarında, Kavak, Kestane, Çam ve Meşe odunlarının dielektrik sabitinin devamlı olarak arttığını belirtmektedir. Khalid vd. [30], 0.2-20 GHz frekans sınırlarında rutubet miktarının artışıyla dielektrik sabitinin arttığını belirtmiştir. James [8] Douglas ve Meşe odunu üzerinde 20 Hz ile 50 MHz de yaptıkları çalışmalarda dielektrik sabitinin rutubet miktarının artışıyla arttığını belirtmiştir.

Bu çalışma kapsamında bulunan tüm odun türlerinde üç lif yönünde ve çalışılan her iki frekansta % 0-LDN rutubet sınırlarında kayıp faktörü rutubet miktarının artışıyla sürekli olarak artmıştır ve rutubet miktarının etkisinin yüksek rutubet miktarlarında daha baskın olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlar, literatürle oldukça benzerdir. Kabir vd.[27], Rubber odununda 1-17 GHz de %0-100 rutubet sınırlarında kayıp faktörünün rutubet miktarıyla arttığını ve % 0-30 rutubet miktarı sınırlarında lineer olarak değiştiği vurgulanmaktadır. Tinga [36], 2.45 GHz de Douglas odununda %0-LDN a kadar kayıp faktörünün arttığını belirtmiştir. Olmi vd. [38], 2.45 GHz de yaptıkları çalışmada, % 0-35 rutubet miktarı sınırlarında, Kavak, Kestane, Çam ve Meşe odun türlerinde kayıp faktörünün önce arttığını belli bir rutubet sınırından sonra sabit kaldığını belirtmektedirler. Khalid vd. [17], 0.2-20 GHz sınırlarında %0-60 rutubet miktarlarında rutubet miktarının artışıyla kayıp faktörünün arttığını belirtmiştir.

Kayıp tanjantında da diğer dielektrik özelliklerde olduğu gibi genelde tüm odun türlerinde çalışılan sınırlarda rutubet miktarının artışıyla artış gözlenmiştir. Ancak

yumuşak odun türlerinde, yani Doğu Ladini ve Sarıçamda 9.8 GHz frekansında liflere paralel yönde % 30 rutubet miktarına yaklaşıldığında kayıp tanjantında önemsenmeyecek bir düşüş gözlenmiştir. Ancak bu iki türde, bu duruma 2.45 GHz de rastlanmamış olup diğer türlerdeki benzer eğilim gözlenmiştir.

Peyskens vd. [7], 3 GHz de ve % 6-35 rutubet miktarlarında yaptıkları incelemelerde Ladin ve Sarıçamın kayıp tanjantında yüksek rutubet miktarlarında düşüş olduğundan bahsetmektedirler. James ve Hamill [29], Duglas odununda 1, 3 GHz de kayıp tanjantında düşük rutubet miktarlarında rutubet miktarının artışıyla belirgin bir artış olduğu ve LDN yakın rutubet seviyelerinde bir maksimuma ulaştıktan sonra kayıp tanjantının düştüğü, 8.53 GHz de ise devamlı artış gösterdiği belirtilmektedir. Tinga [36], 2.45 GHz de Duglas odununda %0-LDN sınırlarında kayıp tanjantının % 20 rutubet miktarında max. olacak şekilde arttığını ve bu noktadan sonra önemsiz oranda azaldığını belirtmektedir. Vermaas vd. [6], çam odununda 10-30 MHz de % 0-LDN arasında gerçekleştirdiği çalışmalarda , kayıp tanjantının %8 rutubet miktarında maksimum olacak şekilde artışı ve % 20' lerde minimum değere ulaştıktan sonra tekrar artışı belirtilmektedir. James [8] Duglas ve Meşe odunu üzerinde 20 Hz ile 50 MHz de yaptıkları çalışmalarda rutubet miktarının artışıyla kayıp tanjantının bazı noktalarda max. ve min. değerler aldığını belirtmiştir. Torgovnikov [10] Farklı çalışmalarda dielektrik kayıp tanjantının rutubet bağımlılığının dielektrik sabitine kıyasla daha karmaşık bir yapı sergilemesini kayıp tanjantı ölçümlerinde varyasyon katsayısı büyüklüğünün daha büyük olmasından kaynaklandığını belirtmektedir.

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 [27, 29). Başka bir deyişle, rutubet miktarının artışıyla birlikte odun makromoleküllerinin polar

bileşenlerinin hem sayısı hem de hareket yeteneği artar [29]. Bunun sonucunda da elektrik alanının etkisi altında yönelmiş moleküller tarafında absorbe edilen enerji artar [27, 28].

Tam kuru halde odundaki selüloz makromolekülleri ikincil kuvvetlerle birbirine bağlıdır. Bu kuvvetler elektromanyetik alanın etkisi altında molekül dipollerinin yer değişimini önler. Rutubetlendirme işlemi, selülozun molekülleri arasına su moleküllerinin penetrasyonuna neden olur ve böylece enine bağların zayıflamasına yol açar [10]. Bu durum dipollerin hareket yeteneğinin artışına neden olur. Rutubetlenmenin başlangıç aşamalarında bu iki faktörün kombinasyonu dielektrik özelliklerde hızlı bir artışa neden olur. Bununla beraber LDN rutubet miktarına yaklaşıırken odundaki polar grupların devir serbestliği maksimuma ulaştığından bu noktadan sonra polar gruplar dielektrik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahip değillerdir. Bundan sonra dielektrik özellikler yalnızca odundaki mevcut serbest suyun miktarından etkilenir [7, 27]. Serbest su molekülleri % 30 rutubet miktarının üzerinde hücre çeperi maddeleri ve bağlı sudan bağımsız olarak mikrodalga alanı ile etkileşim halindedir. Bu nedenle LDN üzerinde odunun dielektrik sabiti ve kayıp faktöründeki değişim, esas olarak serbest suyun nisbi hacmi ve dielektrik özellikleri ile belirlenir [27].

Bu sonuçlara göre, % 0 dan % 28' e rutubet miktarının artışıyla ısı olarak yayılan enerji miktarı artar. Rutubet miktarının etkisi göstermiştir ki, mikrodalga enerji kullanılarak seçici bir kurutma sağlanabilir. Daha fazla rutubete sahip bölgeler, daha yüksek kayıp faktörü değerine sahip olacağından odunda rutubetli bölgeler rutubeti az olan bölgelere oranla daha hızlı kuruyacaktır. Tabi ki, bu sonuçta ürünün kalitesine katkıda bulunur ve dış kısımdan iç kısma doğru kurutma olarak bilinen klasik yöntemlere kıyasla daha az riskle kurutma sağlanabilir [7].

Mikrodalgalarla kurutma yapılması amaçlanıyorsa, her odun türü farklı dielektrik özellik gösterdiğinden kurutma cetvelleri hazırlanırken, odun türlerinin ilgilenilen frekanstaki dielektrik verilerinden yararlanılmalıdır. Ancak bu şekilde doğru bir işlem kontrolüne ulaşılabilir.

Mikrodalga frekanslarda, % 0-LDN rutubet sınırlarında, rutubet miktarı ile kayıp tanjantının bağımlılığı eğrisel bir lineerlik taşıdığı kayıp tanjantı için hesaplamalarda integral sonucu elde edilen ortalama değerler kullanılır. % 28-30'un üzerinde kayıp tanjantının rutubet miktarı ile lineer olarak değiştiği belirtildiğinden aritmetik ortalama değerleri kullanılır.

Sabit bir sıcaklıkta ve % 0- LDN rutubet miktarı sınırlarında, başlangıç rutubeti r_b , son rutubet değeri r_s olarak ele alınırsa ortalama $(\epsilon')_i$ ve $(\tan\delta)_i$ dielektrik parametreleri aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$(\epsilon')_i = \int_{r_b}^{r_s} \epsilon'(r) dr / (r_b - r_s) \quad (45)$$

$$(\tan\delta)_i = \int_{r_b}^{r_s} \tan \delta(r) dr / (r_b - r_s) \quad (46)$$

4.1.4. Lif Yönünün Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisinin Genel Olarak Değerlendirilmesi

Çalışılan tüm odun türleri birlikte ele alındığında, liflere paralel yöndeki dielektrik özelliklerin liflere dik yönden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Teğet ve radyal yön arasındaki fark ise türlere göre değişmektedir. Genelde, dielektrik özellikler için $T \leq R < L$ sıralaması geçerlidir.

Bütün faktörler birlikte ele alındığında odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine lif yönünün etkisinin, lif yönü ile odun türü etkileşiminin etkisinin, lif yönü rutubet grubunun etkileşiminin ve lif yönü rutubet grubu odun türünün birlikte etkileşiminin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, lif yönünün dielektrik özellikler üzerindeki etkisinin odun türüne göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

4.1.4.1. Liflere Paralel ve Liflere Dik Yöndeki Dielektrik Özelliklerin Karşılaştırılması

Dielektrik sabiti ve kayıp faktörü çalışılan tüm odun türlerinde liflere paralel yönde liflere dik yönden oldukça yüksektir ve aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır. Türler göre önemsiz bir farklılık göstermekle birlikte, 2.45 ve 9.8 GHz frekanslarında sırasıyla liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti değeri liflere dik yönden yaklaşık 1.3 ve 1.2 kat, liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı değeri liflere dik yönden yaklaşık olarak 1.7 ve 1.5 kat ve liflere paralel yöndeki dielektrik kayıp faktörü liflere dik yönden 2.1 ve 1.8 kat yüksektir ve genelde rutubet miktarının artışıyla fark daha belirgin bir durum almaktadır.

Liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti ve kayıp faktörünün liflere dik yönden yüksek olduğu, Peyskens vd. [7], Norimoto vd. [43], Norimoto ve Yamada [19, 23, 24], James ve Hamill [29] ve Peyskens [7], Kabir vd.[27], Vermaas [3] tarafından da belirtilmiştir.

Genelde, liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı da liflere dik yönden yüksek olmakla birlikte bu iki yön arasındaki fark rutubet miktarının artışıyla odun türlerine göre değişiklik göstermektedir. Doğu Ladini ve Sarıçam hariç diğer çalışılan tüm odun türlerinde rutubet miktarının artışıyla liflere paralel ve liflere dik yöndeki kayıp tanjantı arasındaki fark artış göstermiştir. Doğu Ladini [Şekil 31] ve Sarıçamda [Şekil 34] ise yüksek rutubet miktarlarında 9.8 GHz frekansında liflere paralel yöndeki dielektrik kayıp tanjantı ile liflere dik kayıp tanjantı arasındaki fark azalmaktadır. Bu odun türlerinde çalışılan rutubet sınırlarında 9.8 GHz frekansında liflere paralel yöndeki kavis önce bir maksimuma ulaşır ve sonra liflere dik kavise bağlanır.

Bu sonuçlara oldukça benzer şekilde, Peyskens vd. [7], 3 GHz de Ladin, Sarıçam ve Hemlock odunu üzerinde yaptıkları çalışmalarda, Sarıçam ve Ladinde, düşük rutubet miktarlarında her iki yönün kayıp tanjantı arasında daha belirgin fark bulunduğunu ve yüksek rutubet miktarlarında farkın azaldığını vurgulamışlardır. James ve Hamill [29], 1, 3, 8.53 GHz frekanslarında kayıp tanjantının liflere paralel yönde liflere dik yönden

yüksek olduğunu belirtmiştir. Vermaas vd. [6], 30 MHz de liflere paralel yöndeki kayıp tanjantının liflere dik yöndekinden yüksek olduğunu belirtmiştir.

4.1.4.2. Teğet ve Radyal Yöndeki Dielektrik Özelliklerin Karşılaştırılması

Tüm odun türlerinde teğet ve radyal yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz çıkmıştır. Ancak türlere ait grafikler incelendiğinde, Doğu Ladini ve Sarıçam hariç diğer odun türlerinde genelde dielektrik özellikler radyal yönde teğet yöndekinden yüksektir ve rutubet arttıkça aradaki fark belirginleşmektedir. Doğu Ladini ve Sarıçamda rutubet miktarına göre teğet ve radyal yöndeki dielektrik özelliklerin durumu değişmektedir.

Vermaas [3], *Pinus pinaster* odunu üzerinde yaptığı çalışmada teğet yöndeki dielektrik sabitinin radyal yönden bir derece kadar yüksek olduğunu belirtmektedir. Peyskens vd.[7] Ladin, Sarıçam ve Hemlock üzerinde yaptıkları çalışmalarda, Çam ve Hemlock için teğetsel değerlerin radyal değerlerden yüksek olduğunu belirtmişlerdir. James ve Hamill [29], Duglas odunu üzerinde yaptıkları çalışmalarda, 8.53 GHz de teğet yöndeki dielektrik sabitinin radyal yönden yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Kabir vd [27], Rubber odununda radyal yöndeki dielektrik sabitinin teğet yöndekinden yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Torgovnikov [10], genellikle radyal yöndeki dielektrik sabitinin teğet yönden yüksek olduğunu ve bu durumun özellikle özışım oranı yüksek olan odun türlerinde daha belirgin olduğunu belirtmiştir. Sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında oldukça benzerlikler bulunmaktadır.

Kabir vd. [27], Rubber odununda radyal yöndeki kayıp faktörünün teğet yöndekinden yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Peykens vd.[7], sarıçamın kayıp faktörünün teğet yönde radyal yöndekinden yüksek olduğunu bu durumun özellikle yüksek rutubet miktarlarında belirginleştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Hemlock için de aynı durumun sözkonusu olduğunu belirtmişlerdir. Ladin odununda ise radyal yöndeki kayıp faktörünün yüksek olduğu belirtmişlerdir.

James ve Hamill [29], Duglas odununda 1,3 ve 8.53 GHz de kayıp tanjantının teğet yönde radyal yönden yüksek olduğunu belirtmiştir. Vermaas [6], 30 MHz de *Pinus pinaster*

odununda kayıp tanjantının radyal yönde teğet yönden yüksek olduğunu belirtmiştir. Peykens vd [7], 3 GHz de Sarıçam odununun düşük rutubet miktarlarında teğet yöndeki kayıp tanjantının radyal yöndekine eşit yüksek rutubet miktarlarında ise teğet yöndeki kayıp tanjantının radyal yönden yüksek olduğunu belirtmiştir.

Teğet, radyal ve liflere paralel yöndeki dielektrik anizotropi odunun bu üç farklı lif yönündeki moleküler durumunun yanında odunun mikroskopik ve makroskopik yapısından kaynaklanır [27]. Norimoto vd. [43] göre, odunun liflere paralel, radyal ve teğet yöndeki dielektrik özelliklerdeki farklılıklar hücre çeperini oluşturan kimyasal bileşiklerin dielektrik özellikleri yanında hücre çeperi ve lümeni düzenindeki farklılıklara atfedilir. Liflere paralel yöndeki daha büyük dielektrik sabiti Norimoto ve Yamada [24] tarafından şu temele dayandırılarak ifade edilmiştir: "Liflere paralel yönde elektrik alanı uygulandığında bitişik kesime dipolun geçiş olasılığının liflere dik yönlerde uygulanması durumundakinden daha yüksektir." Odunun kimyasal bileşikleri de Norimoto ve Yamada [19] tarafından ifade edildiği üzere dielektrik heterojenliğe neden olmaktadır. Buna göre, odunun dielektrik özellikleri liflere paralel yönde selüloz ve mannamın dielektrik özelliklerinden, diğer yandan liflere dik yönlerde ligninin dielektrik özelliklerinden etkilenir. Ayrıca, selülozun hidroksil grupları liflere paralel yönde daha fazla serbest rotasyona sahiptir [28]. Norimoto vd. [43], bu üç lif yönündeki anizotropinin açıklanabilmesi için en azından üç faktörün birlikte dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Bunlar; yaz odunu oranı, hücre çeperi alanının hücreye oranı ve hücrenin spesifik düzeni yani hücrenin mikrofibriler ve kimyasal yapısıdır.

Odunun makroskopik yapısının yanında odunun dielektrik parametrelerinin anizotropisi aynı şekilde hücre çeperinin mikro yapısından etkilenir. İlkbahar odununda mikrofibril açısı radyal çeperlerde teğet çeperlerden daha yüksektir [18]. Mikrofibril açısı azaldıkça dielektrik özellikler artar [19]. Selüloz ve hemiselülozların polar grupları liflere paralel yönde liflere dik yöndekinden daha fazla hareket serbestliğine sahiptir.

Aynı odun özgül ağırlığı ve alan frekansı için tam kuru odunun dielektrik özellikleri liflere paralel yönde liflere dik yöndekinden daha büyüktür. Bu odunun makroskopik yapısıyla açıklanabilir. Uzun odun hücreleri (traheler, traheidler, ve lifler) tomruk boyunca uzanmışlardır ve hücre çeperi mikrofibrilleri çoğunlukla boyuna yönle bir

açı oluşturacak şekilde bu yönde yönelmişlerdir. Mikro fibrilleri oluşturan selüloz zincirleri liflere paralel yönde daha büyük dielektrik karakteristiklere sahiptir. Çünkü selülozun polar grupları liflere paralel yönde daha büyük hareket serbestliğine sahiptir. Teğet yön ile kıyaslandığında radyal yönde dielektrik parametrelerin daha yüksek olması radyal yönde uzanmış özışınları ile açıklanabilir. Özışınlarının etkisinin oduna katılım oranı ile orantılı olduğu belirtilmektedir [10]. Ayrıca, radyal ve teğet yönlerdeki farklılığın rutubet miktarı ve odun türüne bağlı olduğu ifade edilmektedir [7, 27, 28].

Tablo 87’de çalışılan odun türlerinin literatürden alınan özışını oranları ve deneysel verilerden hesaplanan ortalama k_1 , k_2 , k_3 , $k_{1(R/T)}$, $k_{2(R/T)}$ ve $k_{3(R/T)}$ katsayıları verilmiştir. Tablo 87’e dikkat edildiğinde özışını hacminin artışıyla teğet ve radyal yön arasındaki farkta çok küçük bir artış olduğu gözlenmiştir.

Tablo 87. Odun türlerinin 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında özışını oranına bağlı olarak $k_1 = \epsilon'_{//} / \epsilon'_{\perp}$, $k_2 = \tan \delta_{//} / \tan \delta_{\perp}$, $k_3 = \epsilon''_{//} / \epsilon''_{\perp}$ ve $k_{1(R/T)} = \epsilon'_{R/T}$, $k_{2(R/T)} = \tan \delta_{R/T}$ ve $k_{3(R/T)} = \epsilon''_{R/T}$ oranları

Odun Türü	Özışını Hacmi (%)	F (GHz)	$k_{1(R/T)}$	$k_{2(R/T)}$	$k_{3(R/T)}$	k_1	k_2	k_3
Doğu Ladini	8.6	2.45	1.00	0.95	0.97	1.3	1.6	2.1
		9.8	1.00	1.00	0.99	1.3	1.6	1.8
Sarıçam	5-8	2.45	0.99	0.98	0.98	1.3	1.8	2.2
		9.8	0.99	1.05	1.01	1.2	1.5	1.8
Melez Kavak	3-20	2.45	1.10	1.15	1.31	1.3	1.6	2.0
		9.8	1.08	1.08	1.07	1.3	1.5	2.0
Kızılağaç	13.9	2.45	1.06	1.20	1.22	1.3	1.7	2.1
		9.8	1.07	1.18	1.17	1.2	1.4	1.7
Kestane	17.2	2.45	1.05	1.16	1.21	1.2	1.8	2.1
		9.8	1.04	1.08	1.15	1.2	1.5	1.7
Meşe	44.6	2.45	1.04	1.15	1.26	1.2	1.7	1.9
		9.8	1.02	1.04	1.06	1.1	1.3	1.7
Doğu Kayını	20.2	2.45	1.06	1.15	1.26	1.2	1.8	2.0
		9.8	1.02	1.05	1.13	1.2	1.4	1.6

Literatürde genellikle radyal ve teğet yön ayrımı yapılmaksızın liflere dik ve liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri verilmektedir. Eğer radyal ve teğet yönlerdeki dielektrik parametreler arasındaki farklılığı dikkate almak

gerekiyorsa, herbir tür için belirlenen $k_{1(R/T)}$, $k_{2(R/T)}$ ve $k_{3(R/T)}$ katsayıları yardımıyla ϵ'_R , ϵ'_T , ϵ''_R , ϵ''_T ve $\tan\delta_R$, $\tan\delta_T$ değerleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir [10].

$$\epsilon'_R = \frac{2\epsilon'_\perp}{1+1/k_{1(R/T)}} \quad \epsilon'_T = \frac{2\epsilon'_\perp}{1+k_{1(R/T)}} \quad (47)$$

$$\tan\delta_R = \frac{2\tan\delta_\perp}{1+1/k_{2(R/T)}} \quad \tan\delta_T = \frac{2\tan\delta_\perp}{1+k_{2(R/T)}} \quad (48)$$

Çalışılan bütün odun türlerinde radyal ve teğet yönlerdeki dielektrik parametreleri arasındaki fark önemsiz çıktığından ayrıca $\epsilon_{//}'$, $\epsilon_{//}''$ ve $\tan\delta_{//}$ değerleri k_1 , k_2 , ve k_3 katsayıları yardımıyla (18) ve (19) eşitlikleri kullanılarak belirlenebilirler [10].

Bu sonuçlara göre, birim alan şiddetinde elektrik yerdeğişim, liflere paralel yönde daha yüksek yani liflere paralel yönde moleküller daha yüksek hareket serbestliğine sahip olmasına rağmen yayılan enerji daha yüksektir. Çünkü meydana gelen ısı depolanan enerjiyle orantılıdır ($\tan\delta = \epsilon'' / \epsilon'$). Bu sonuçlardan odunun en iyi şekilde liflere paralel yönde ısıtıldığı sonucu çıkmaktadır [6]. Odunun kurutulmasında mikrodalga tekniklerinin uygulanmasında bu sonuçlar oldukça büyük önem taşımaktadır. Kayıp faktörü ile belirlenen absorbe edilen güç, mikrodalga uygulayıcılarında odunun uygun yönünün seçilmesiyle önemli ölçüde artırılabilir [7].

Odun türü dikkate alındığında ise, mikrodalgalarla ısıtma esnasında tüm odun türlerinde teğet ve radyal yönde meydana gelen ısı hemen hemen aynı olacaktır. Ancak genel olarak yumuşak odunlarda teğet ve radyal yönde meydana gelen ısı aynı olmakla birlikte yapraklı ağaç türlerinde radyal yön teğet yöne oranla daha kolay ısıtılacaktır.

4.1.4. Özgül Ağırlığın Dielektrik Özellikler Üzerine Etkisi

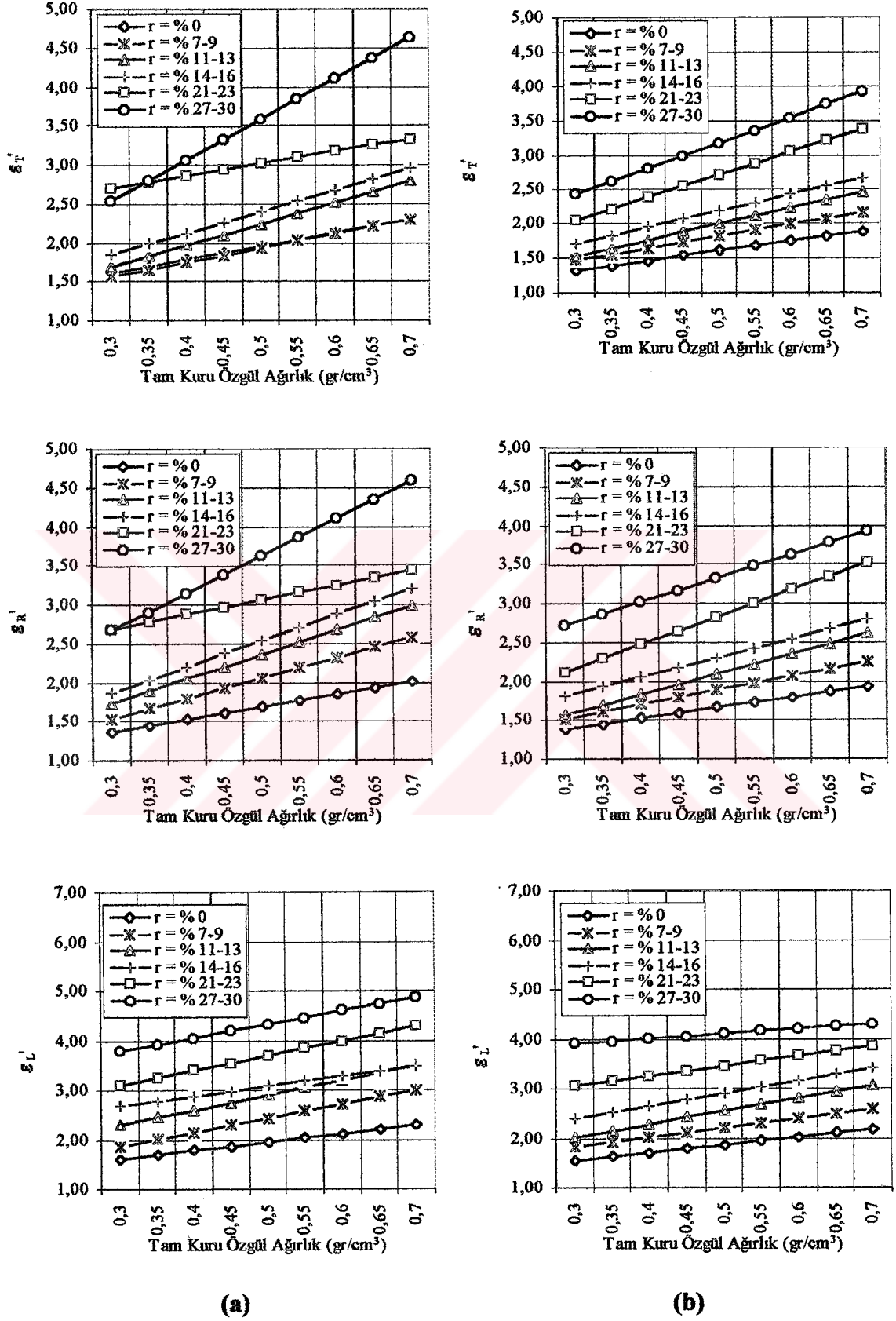
Bu çalışmada tam kuru özgül ağırlık ile dielektrik özellikler arasındaki ilişki tüm odun türleri birlikte ele alınarak, 0.300-0.800 (gr/cm^3) özgül ağırlık sınırlarında ve % 0, 8, 12, 15, 22, 28 rutubet gruplarında incelenmiştir. Yapılan regresyon analizi sonuçlarına

göre, tam kuru özgül ağırlık ile dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı arasında güçlü lineer pozitif bir ilişki vardır.

2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik sabiti, kayıp faktörü, kayıp tanjantı ile tam kuru özgül ağırlık arasında bütün rutubet gruplarında $Y = b_0 + b_1 \delta_0$ (Y: ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$; δ_0 : tam kuru özgül ağırlık; b_0 , b_1 . katsayılar) şeklinde pozitif lineer bir ilişkinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu regresyon eşitliklerinin hesaplanmasıyla her rutubet grubu için elde edilen eğriler 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekansları için Şekil 50-53' de verilmiştir.

Jain ve Dubey [31], 0.271-0.763 gr/cm³ özgül ağırlık sınırlarında , % 0-16 rutubet miktarına kadar 9.8 GHz de dielektrik sabiti ile tam kuru özgül ağırlık arasında lineer ilişki bulmuşlardır. Vermaas [6], dielektrik özelliklerle özgül ağırlık arasında düşük frekanslarda geniş yoğunluk sınırlarında eğrisel, dar yoğunluk sınırlarında ise lineer bir ilişki bulmuştur. Peyskens vd.[7] 3.GHz de %0-30 rutubet sınırlarında dielektrik özelliklerle tam kuru özgül ağırlık arasında lineer bir ilişki bulmuştur.

Teğet, radyal ve liflere paralel yönde dielektrik sabitinin özgül ağırlıkla değişimi incelendiğinde (Şekil 50), üç lif yönünde özgül ağırlığın artışıyla dielektrik sabitinin arttığı belirlenmiştir. Dielektrik sabiti ile tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişki üç lif yönünde rutubetin artışıyla daha belirgin bir durum almaktadır.Yani çalışılan rutubet gruplarında rutubet miktarının artışıyla eğrilerin eğiminde artış olduğu, bu nedenle rutubetin etkisinin yüksek rutubet miktarlarında daha baskın olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı durum, Jain ve Dubey [31] ve Peyskens [7] tarafından da belirtilmektedir. Ayrıca Şekil 50'ye dikkat edildiğinde teğet ve radyal yönde rutubet miktarının artışıyla bu ilişkinin daha belirginleştiği görülmektedir.



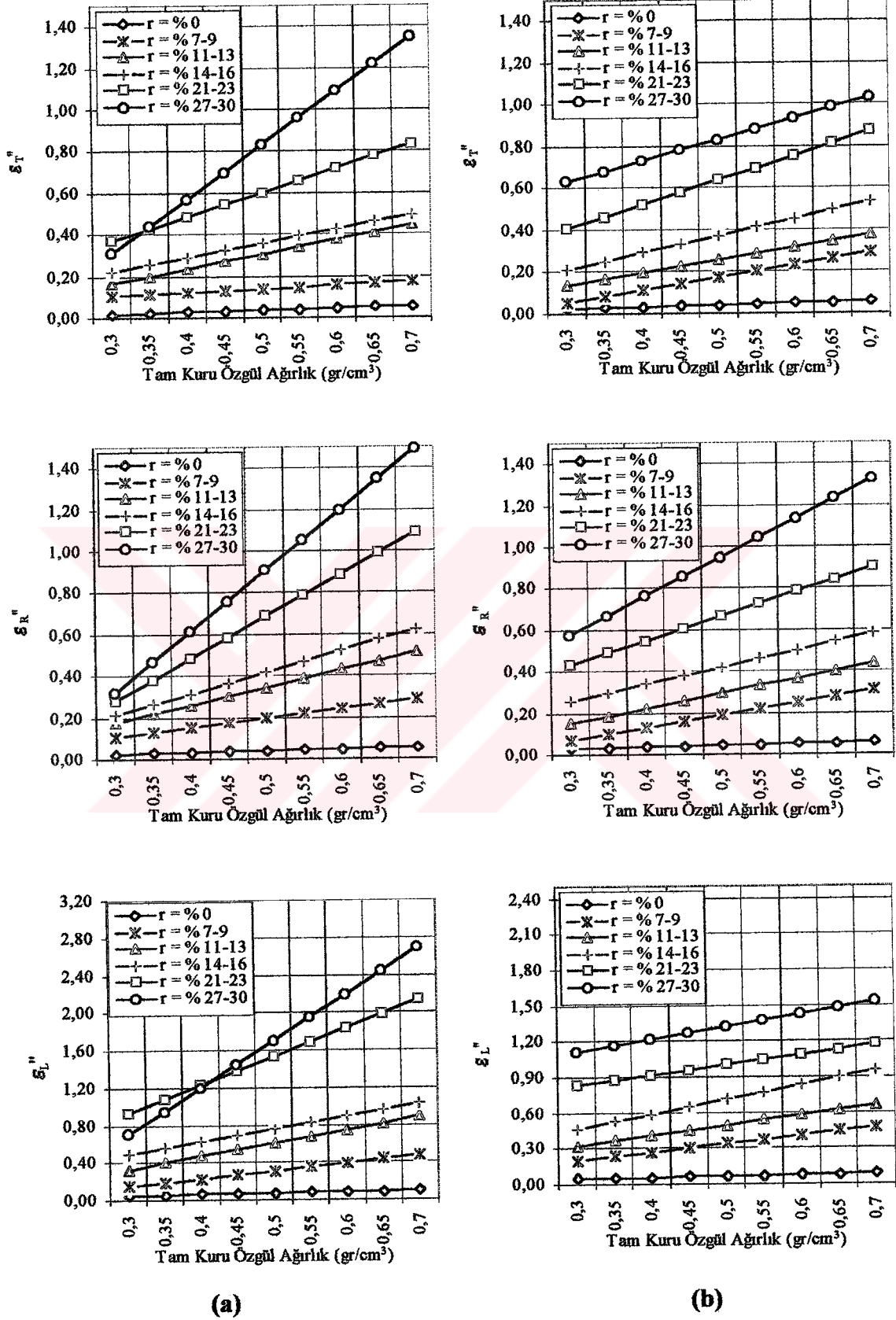
Şekil 50. (a) 2.45 GHz (b) 9.8 GHz frekanslarında teğet, radyal ve liflere paralel yönde rutubet miktarının fonksiyonu olarak dielektrik sabitinin özgül ağırlıkla değişimi

Dielektrik kayıp faktörünün tam kuru özgül ağırlıkla değişimi incelendiğinde, özgül ağırlığın artışıyla dielektrik kayıp faktöründe çalışılan her iki frekansta artış gözlenmiştir. Ayrıca dielektrik sabitinde olduğu gibi her üç lif yönünde rutubet miktarının artışıyla artış olduğu ancak liflere paralel yöndeki artışın daha az belirgin olduğu belirlenmiştir (Şekil 51).

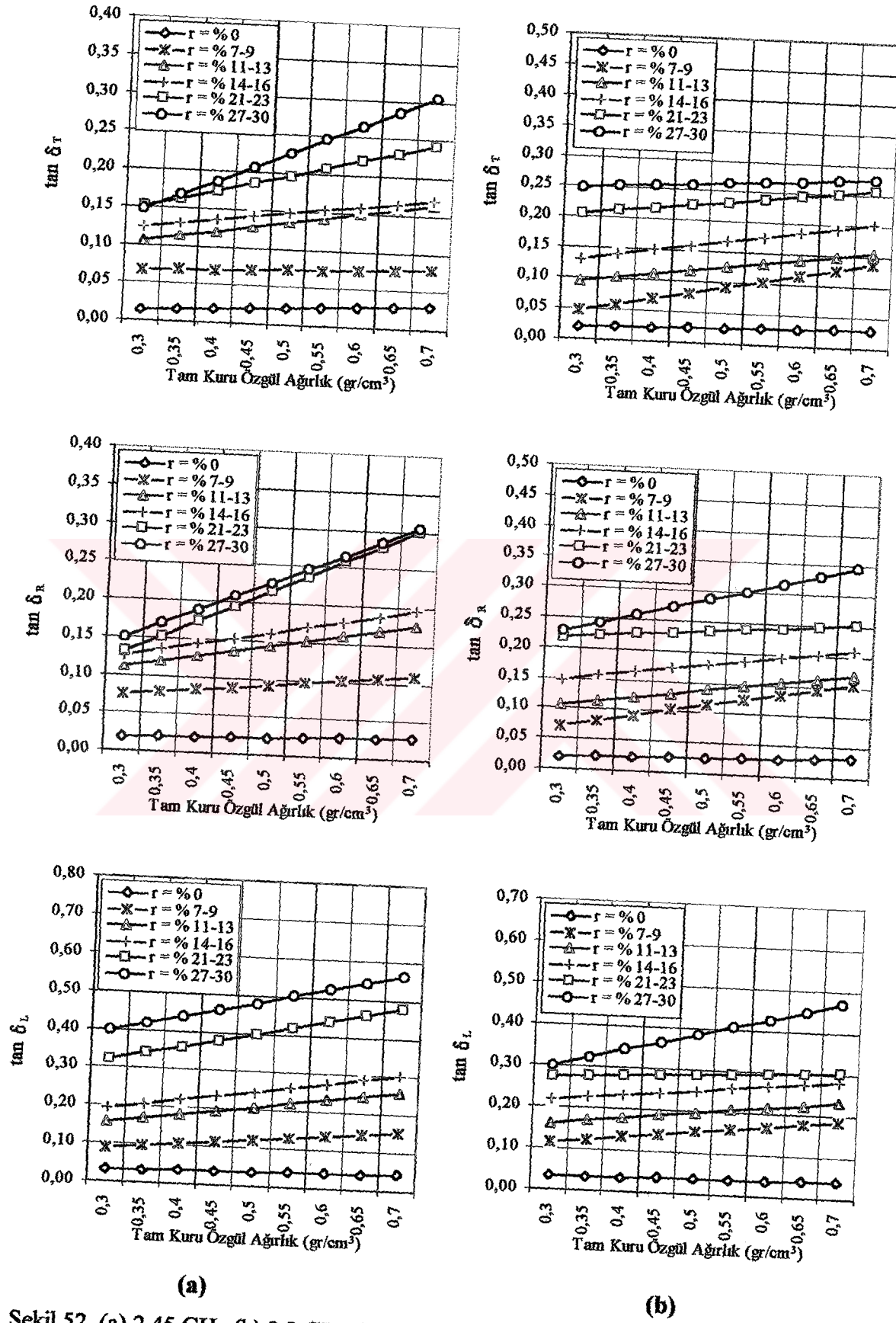
Kayıp tanjantı ise tam kuru özgül ağırlık ile artış göstermektedir (Şekil 52). Ancak rutubet miktarının artışıyla belirgin bir yargıya varılamamıştır. Buna göre kayıp tanjantı üzerinde özgül ağırlığın etkisinin rutubet durumuna bağlı olduğu söylenebilir.

Torgovnikov [10] özgül ağırlığın artışıyla dielektrik sabitinin arttığını, ancak kayıp tanjantının özgül ağırlıkla bağımlılığının karmaşık bir yapı sergilediğini belirtmiştir. Vermaas [6,14], düşük frekanslarda yaptığı çalışmalarda, düşük rutubet miktarlarında özgül ağırlığın artışıyla kayıp tanjantı artarken yüksek rutubet miktarlarında özgül ağırlık 0.4 den 0.7 gr/cm³ e çıkarken kayıp tanjantının azaldığını ifade etmektedir. Ayrıca, Peykens [7] kayıp tanjantında özgül ağırlıkla ilişkili olarak düşük rutubet miktarlarında görülen pozitif ilişkinin daha yüksek rutubet miktarlarında negatif ilişkiye döndüğünü belirtmektedir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatürle kısmen doğrulanabilir.

Özgül ağırlıkla ilgili grafikler ele alındığında odunun sorpsiyon kapasitesinin odunun dielektrik özellikleri üzerindeki direkt etkisi ortaya çıkar [7]. Örnekteki yaz oranı arttığında dielektrik sabiti değeri artar ki bu ortalama özgül ağırlığın artışından kaynaklanır [10]. Norimoto vd. [43], yumuşak odunlarda yaz odununun nisbi hacmindeki artışın rutubetli odunun teğet yöndeki dielektrik sabiti değerinin radyal yönden daha yüksek olmasına yol açtığını belirtmektedir. Bu açıklama James [8] tarafından yaz odunu yüzdesi yüksek olan Douglas odunu kullanarak gerçekleştirilen deneylerde teğet yöndeki dielektrik sabitinin radyal yönden daha yüksek çıkmasını desteklemektedir. Bilindiği üzere odun en fazla teğet yönde çalışır. Bu durumda rutubet miktarının artışıyla özgül ağırlıkla değişimin teğet yönde daha belirgin olması beklenir. Çünkü rutubet miktarı arttıkça odunda teğet yönde genişleme miktarı büyük olacak polar gruplar daha rahat hareket edecektir. Ayrıca rutubet miktarının artışıyla su miktarı artacaktır, bu da yüksek dielektrik sabiti ile karakterize edilir. Liflere paralel yönde ise daha az genişleme olacağından rutubet miktarı ile daha az bir artış gözlenir.



Şekil 51. (a) 2.45 GHz (b) 9.8 GHz frekanslarında teğet, radyal ve liflere paralel yönde rutubet miktarının fonksiyonu olarak kayıp faktörünün özgül ağırlıkla değişimi



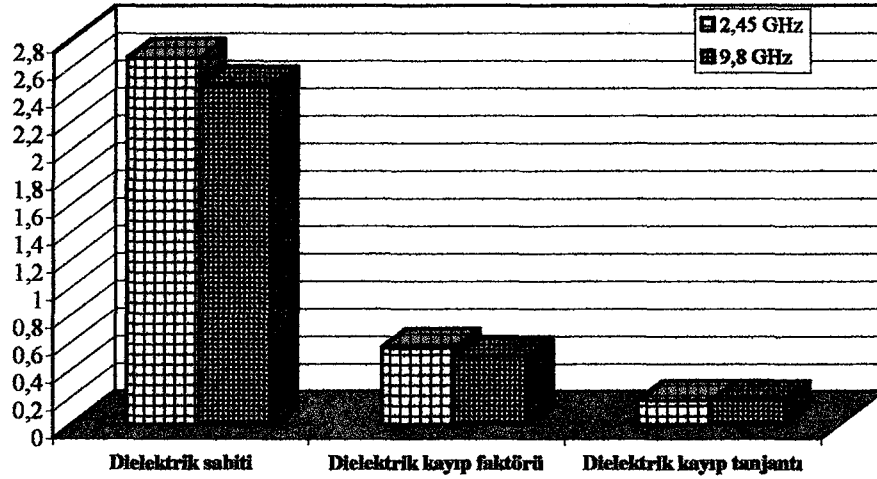
Şekil 52. (a) 2.45 GHz (b) 9.8 GHz frekanslarında teğet, radyal ve liflere paralel yönde rutubet miktarının fonksiyonu olarak kayıp tanjantının özgül ağırlıkla değişimi

Tam kuru özgül ağırlığın artması durumunda odundaki polar grupların sayısında artış olur ve sonuçta dielektrik özellikler artar. Yoğun odunlar az yoğun odunlardan daha yüksek bir madde hacmine sahiptirler. Bir dielektriğe alternatif voltaj uygulandığında moleküller uygulanan alan yönünde düzene girme eğilimine sahip olacaklardır ve bu sırada materyal içinde iç bağlanma kuvvetlerine karşı çalışma meydana gelecektir. Düşük özgül ağırlıktaki odunda yani daha düşük kayıp tanjantına sahip odunda moleküller arasında yalnızca küçük bir sürtünme meydana gelir ki, bu nedenle az ısı meydana gelir. Bu durumda, düşük yoğunluktaki odunda, polar grupların daha az hareket serbestliğine sahip olduğu yoğun odunkinden daha yüksek kayıp tanjantı meydana gelir. Böylece, genel olarak özgül ağırlıktaki artışla birlikte oluşan ısıda artış olduğu söylenebilir [6].

4.1.5. Dielektrik Özellikler Üzerine Frekansın Etkisi

Odunun dielektrik özellikleri frekansla birlikte değişim göstermektedir. 2.45 GHz frekansındaki dielektrik sabitinin 9.8 GHz frekansındakinden önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 53). Kayıp tanjantı ise frekansla birlikte artış göstermekle birlikte bu artış istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Kayıp faktörü de frekans yükseldikçe azalır, ancak bu azalma dielektrik sabiti kadar belirgin değildir. Kayıp faktöründeki bu davranış ϵ' , ϵ'' ($\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$) ile yakından ilişkilidir.

James ve Hamill [29], 1, 3 ve 8.53 GHz frekanslarında yaptıkları çalışmalarda, frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabitinde genel bir azalma olduğunu, kayıp tanjantının ise rutubet miktarı ve lif yönüne bağlı olarak frekansın artışıyla ya sabit kaldığını ya da önemsiz şekilde artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Kabir vd. [27], 1-17 GHz frekans sınırlarında odunun dielektrik özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir ve frekans artarken dielektrik sabitinin azaldığını ve 6 ile 17 GHz frekanslarında kayıp faktöründe küçük bir artış olduğunu vurgulanmıştır. Ayrıca frekansla birlikte kayıp tanjantında artış olduğu belirtilmiştir. Khalid vd. [17] 0.2 GHz den 20 GHz frekansa kadar frekansın artışıyla dielektrik sabitinin azaldığını belirtmiştir. Ayrıca frekansla birlikte dielektrik sabitinde azalma ve kayıp tanjantındaki artış, Torgovnikov [10] ve Tiuri vd. [30] tarafından da belirtilmiştir. Vermaas [6] düşük frekanslarda kayıp tanjantınının 10 MHz'den 50 MHz'e kadar frekansın artışıyla arttığını belirtmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatürle kısmen doğrulanabilir.



Şekil 53. Dielektrik özelliklerin frekansla değişimi

Bu sonuçlara göre, ölçüm frekansının dielektrik özellikleri büyük ölçüde etkilediği sonucu çıkmaktadır. Bilindiği üzere, bir elektrik şiddetinin uygulanmasından sonra moleküllerin alanı takip etmesi için gerekli süre relaksasyon süresi olarak adlandırılmıştır. Frekans düşük olduğunda, yani moleküllerin devinimi için gerekli süre yeterli olduğunda yerdeğişim tamamlanabilecek ve dielektrik sabiti ve sonuçta da kayıp faktörü ve kayıp tanjantı yüksek olacaktır. Çünkü odun içindeki bütün mevcut moleküllerinin yönelmeleri için yeterli süre vardır. Frekans yükseldikçe, elektrik alanının ters çevrilme periyodu moleküllerin relaksasyon zamanından kısa olacağından, elektrik alanı şiddeti yönü ters çevrilmeden önce meydana gelen yerdeğişim miktarı azalacaktır [6]. Odunda kutuplaşabilen elementler selüloz ve lignin makromolekülleri olarak kabul edilirse, o zaman belirli bir elementin kutuplaşabilmesi için gerekli süre hem elektrik alanının etkisiyle hem de sabit dipol momentlerinin yerdeğişimiyle meydana gelir [29]. James [8], yüksek frekanslarda odunun dielektrik sabitinin frekansın artışıyla homojen polar katılardaki tipik bir değere kadar azaldığını ve arayüzey kutuplaşmasının katılımının önemsiz olduğunu ve üstün kutuplaşmanın moleküler olduğunu belirtmiştir. Böylece frekans artarken, polar moleküllerin daha az bir kısmı elektrik alan değişimlerini takip etmek için yeterli süreye sahip olur ve kutuplaşabilen elementlerin sayısında tedrici bir azalma olur [10]. Bu durumda dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı azalır. Frekans artarken dielektrik sabiti monoton bir şekilde azalırken, kayıp tanjantı mikrodalga frekanslarda tekrar yükselme gösterir. Bu durum, yüksek frekanslarda elektromanyetik

alan ile odun maddesi molekülleri ile elektromanyetik alan arasındaki etkileşim karakteri düşük frekanslardakinden farklı olmasıyla açıklanır. Çünkü mikrodalga frekanslarda alan titreşim periyodu moleküllerin relaksasyon zamanından daha yüksektir [10]. Yani dipoller henüz elektrik alanına göre yönelişlerini tamamlayamadan alan yönü tersine çevrilecektir. Böylece alan şiddeti vektörü ile kutuplaşma vektörü arasında ters bir faz farkı doğacaktır. Bu frekansın artışıyla birlikte dielektrik sabitinde azalmaya ve kayıp tanjantında artışa neden olacaktır [27, 28]. Ayrıca, rutubet miktarının artışıyla birlikte dielektrik-sabiti frekans eğrilerinin eğimi artar [29]. Kayıp tanjantı ise düşük rutubet miktarlarında frekansla birlikte değişim göstermez, ancak yüksek rutubet miktarlarında kayıp tanjantı frekansın artışıyla artar [29].

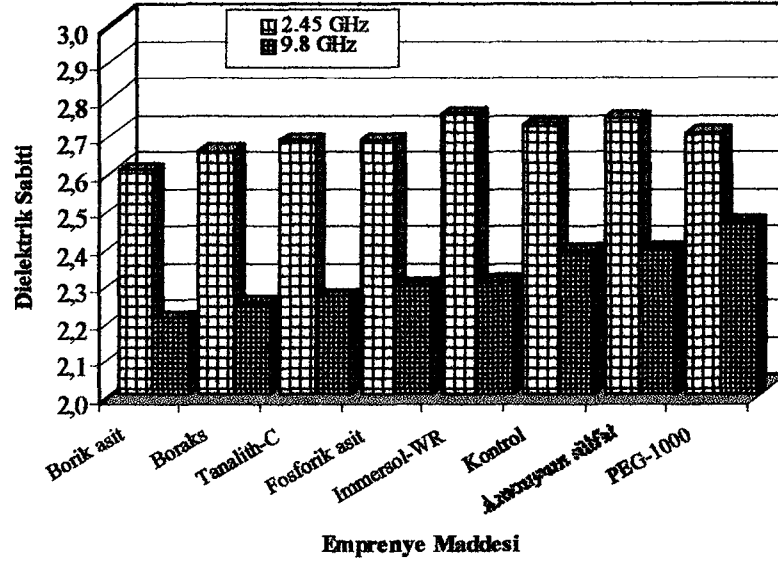
Bu sonuçlara göre, mikrodalgalarla odunun işlenmesi esnasında bütün odun türlerinde absorbe edilen güç 2.45 GHz frekansında daha yüksektir.

4.2. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özellikleri

Doğu Kayını, Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç odunu örnekleri, boraks, borik asit, tanalith-C, fosforik asit, immersol-WR, PEG-1000 ve amonyum sülfat ile emprenye edildikten sonra dielektrik özellikleri belirlenmiştir ve veriler çoğul varyans analizi ile irdelenmiştir.

Hem 2.45 GHz hemde 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesi türünün ve ayrıca emprenye maddesi türü ile lif yönü ve emprenye maddesi ile odun türünün birlikte etkileşimlerinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik sabitindeki değişim frekansa bağlı olarak Şekil 54'de verilmektedir.

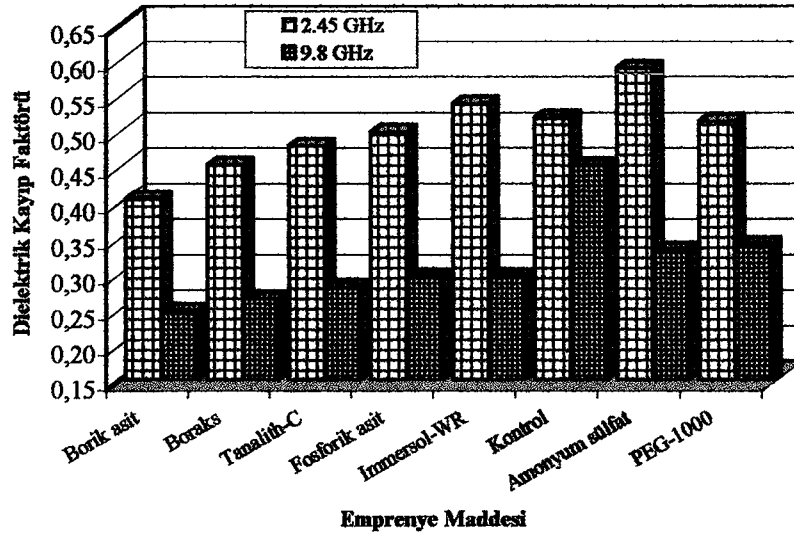


Şekil 54. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerin frekansa bağlı olarak odunun dielektrik sabiti üzerine etkisi

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında 2.45 GHz’ de borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, PEG-1000, amonyum sülfat ve immersol-WR sıralaması geçerlidir. Kontrol örnekleriyle kıyaslandığında 2.45 GHz frekansında borik asit, boraks, tanalith-C ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti kontrolden daha düşük, diğer emprenye maddeleriyle emprenye edilmiş odun ise kontrolle benzer dielektrik sabitine sahiptir.

9.8 GHz’de ise, çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti, küçükten büyüğe doğru borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, immersol-WR, amonyum sülfat ve PEG-1000 sıralamasına sahiptir. Kontrol örnekleriyle kıyaslandığında 9.8 GHz frekansında PEG-1000 ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti kontrolden yüksek, amonyum sülfat ile emprenye edilmiş odun kontrolle aynı ve diğer emprenye maddeleri kontrolden düşük dielektrik sabitine sahiptir.

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp faktörü üzerine emprenye maddesi türünün etkisi Şekil 55’ de verilmektedir.

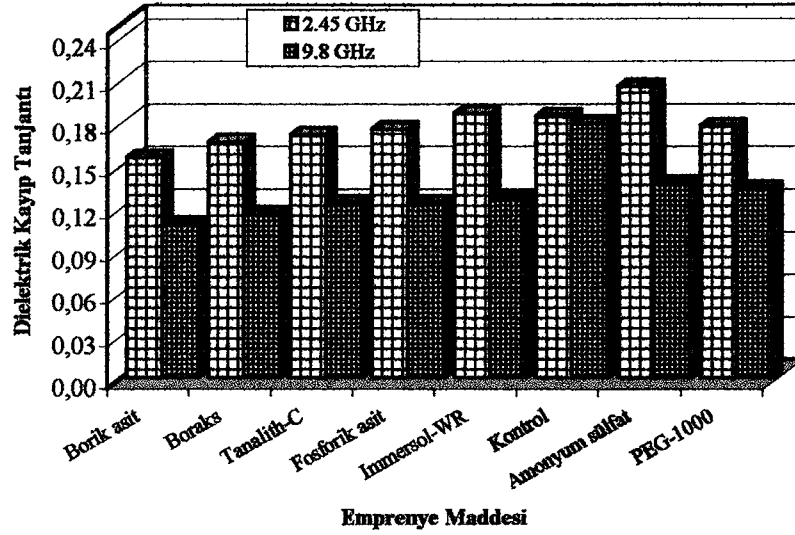


Şekil 55. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerin frekansa bağlı olarak odunun kayıp faktörü üzerine etkisi

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp faktörü değerleri, 2.45 GHz de emprenye maddelerine göre, borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, PEG-1000, immersol-WR ve amonyum sülfat sıralamasını takip etmektedir. 2.45 GHz frekansında dielektrik kayıp faktörü kontrol örnekleriyle kıyaslandığında amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp faktörü kontrol örneklerinden yüksek fosforik asit, PEG-1000 ve immersol-WR ile emprenye edilmiş odunun kayıp faktörü kontrol örnekleriyle aynı, ve borik asit, boraks, tanalith-C ile emprenye edilmiş odun örneklerinin kayıp faktörü kontrolden düşük bulunmuştur..

9.8 GHz frekansında ise dielektrik kayıp faktörü küçükten büyüğe doğru, borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, immersol-WR, amonyum sülfat, PEG-1000 sıralamasını takip etmektedir. Kontrol örnekleriyle kıyaslandığında, 9.8 GHz de çeşitli emprenye maddeleriyle emprenye edilmiş odun örneklerinin dielektrik kayıp faktörü kontrol örneklerinden daha düşüktür. Frekansa göre dielektrik kayıp faktöründe meydana gelen farklılık yine retensiyon oranı veya emprenye maddelerinin kendi dielektrik özelliklerinin frekansa göre değişiklik göstermesine bağlanabilir.

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik kayıp tanjantı üzerine emprenye maddesi türünün etkisi Şekil 56' da verilmektedir.



Şekil 56. Emprenye işleminde kullanılan kimyasal maddelerin frekansa bağlı olarak odunun kayıp tanjantı üzerine etkisi

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun kayıp tanjantı değerleri 2.45 GHz frekansında borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, PEG-1000, immersol-WR, amonyum sülfat sıralamasını takip etmektedir. Kontrolle karşılaştırıldığında, fosforik asit, PEG-1000 ve immersol -WR ile emprenye edilmiş odunun kayıp tanjantı benzerdir. Amonyum sülfatla emprenye edilmiş odun ise kontrolden yüksek ve borik asit, boraks ve tanalith-C kontrolden düşük kayıp tanjantına sahiptir.

9.8 GHz çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun kayıp tanjantı borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, immersol-WR, PEG-1000, amonyum sülfat sıralamasını takip etmektedir. Kontrolle karşılaştırıldığında çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odun örneklerinin tümü kontrolden düşük kayıp tanjantına sahiptir.

Literatürde, emprenye işlemi sonucunda odunun dielektrik özelliklerindeki değişimin, kullanılan emprenye maddesinin hücre çeperi ve lümenlerine penetrasyonu ile hücre boşluk hacminin azalması veya hücre çeperi ile bağ yapması sonucunda ortaya çıktığı belirtilmektedir. Prensip olarak bir karışımın dielektrik özellikleri karışımı oluşturan bireysel bileşenlerin dielektrik özellikleri ve onların kompozitin hacmindeki nispi miktarları ile belirlenir. Eğer bir malzemenin bünyesine verilen madde, malzeme içinde kendi kimyasal yapısını değiştirmezse kompozitin dielektrik sabiti kompozit içinde bulunan en düşük ve en yüksek dielektrik sabiti değerleri arasında yer alır. Bu nedenle bir

materyale kendi dielektrik özelliklerinden düşük bir dielektrik özelliğe sahip maddenin ilave edilmesi yeni oluşan kompozitin dielektrik sabitini düşürecektir [4, 44, 45]. Bu durumda karışım olarak emprenyeli malzemeyi dikkate aldığımızda sonuçları irdelerken, kullanılan emprenye maddesinin kimyasal yapısını, dielektrik özelliklerini ve odun içindeki retensiyon (tutunma) oranlarını ve hücre çeperi ile etkileşim durumunu gözönünde bulundurmak gerekmektedir.

Boraks ve borik asitle emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinin normal odundan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Boraks ve borik asidin dielektrik özellikleri hakkında yeterince bilgi bulunamadığından, bu kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik davranışı, bu maddelerin elektriksel ve ısı iletkenliklerinden yola çıkılarak açıklanmaya çalışılmıştır. Çünkü borlu bileşiklerin çok düşük elektriksel ve ısı iletkenliğine sahip oldukları belirtilmektedir [116, 117]. Isı iletkenliği ile dielektrik sabiti arasında pozitif lineer bir ilişki mevcuttur [118, 119]. Bu teorilerden hareketle boraks ve borik asitle odunun emprenye işleminin dielektrik özellikleri düşürmesi beklenir. Bunun yanında, boraks ve borik asit hücre içerisindeki konumu itibarıyla hücre çeperi ile bağ yapmaz ancak hücre çeperlerine yerleşir [120]. Bu iki faktör birlikte ele alındığında, boraks ve borik asitle emprenye işlemi sonucu dielektrik özelliklerdeki düşüş, emprenye maddesinin kendi dielektrik sabitinin odunun dielektrik sabitinden düşük olması ya da bu maddelerin odun hücre çeperi boşluklarına yerleşerek hücrelerin amorf bölgelerindeki hidroksil gruplarının hareketini engellemesi sonucu oluşabileceği düşünülmektedir.

Fosforik asit ile emprenye edilmiş odunun, 2.45 GHz frekansında normal odunla benzer dielektrik özelliklere sahip olduğu, 9.8 GHz frekansında ise fosforik asitle emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinin normal odundan düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum bu yangını geciktirici kimyasal maddenin kendi dielektrik özelliklerinden veya odun içindeki pozisyonundan kaynaklanabilir.

Tanalith-C ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantında kontrole kıyasla düşüş gözlenmiştir. Çalışmada kullanılan Tanalit-C metal tuz esaslı olup, bakır sülfat, potasyum dikromat ve arsenik pentoksitten oluşmaktadır [103]. Tanalith-C nin odundaki reaksiyonları sonucu bakır ve arsenik bileşiklerinin büyük bir kısmı kromla birleşmekte, krom da lignin ve selülozla kompleksler oluşturmak üzere

odunda reaksiyona girmektedir. Diğer yandan, bakırın odunun hem selüloz hemde lignin bileşenleriyle reaksiyona girdiği bilinmektedir. Emprenye edilmiş odunda arseniğin % 85'i kromla reaksiyon vermekte, geriye kalan arsenik ise lignin ve selülozla çözünür nitelikte kompleksler oluşturmaktadır [105]. Buna göre Tanalith-C lignin ve selülozla kimyasal olarak bağ yapmaktadır. Odunun dielektrik özellikleri selüloz, lignin ve hemiselülozlardaki polar grupların hareket yeteneğine bağlı olduğuna göre, bu durumda, polar grupların sayısında ve hareket yeteneğinde azalma ve böylece odunun dielektrik özelliklerinde düşüş meydana gelebileceği söylenebilir.

Immersol-WR ile emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinde 2.45 GHz frekansında önemli bir değişim olmadığı ancak 9.8 GHz de ise düşüş olduğu gözlenmiştir. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarındaki bu fark retensiyondan kaynaklanabilir. 9.8 GHz de retensiyon oranı 2.45 GHz oranla oldukça yüksektir. Bu durumda retensiyon oranının artışıyla emprenyeli odunun dielektrik sabitinde düşüş olacağı söylenebilir. Organik çözücülü bir emprenye maddesi olan immersol-WR nin patent altında bulunması nedeniyle, her ne kadar kimyasal yapısı bilinmese de, ticari adındaki WR (water repellent) ifadesiyle su itici özelliği olduğu belirtilmektedir. Su itici emprenye maddeleri odunun hücre lümenine ve hücre çeper boşluklarına fiziksel bağlarla yerleşirler. Temel olarak, su itici bir karışım oduna uygulandığında odun yapısı içinde dış taraftaki hücreler hidrofob maddeyle tamamen kaplanarak, odunun su ile hidrojen bağı yapan polar fonksiyonel grupları engellenmektedir [121]. Dielektrik özelliklerdeki değişimin odundaki polar grupların durumuna bağlı olduğu gözönüne alındığında immersol-WR ile emprenye sonucu dielektrik özelliklerde düşüş olması olağandır.

Polietilen-1000 ile emprenye işlemi sonucu odunun dielektrik özelliklerinde 2.45 GHz de değişim olmadığı, 9.8 GHz de ise dielektrik sabitinde artış, kayıp faktörü ve kayıp tanjantında azalış olduğu belirlenmiştir. Polietilenin dielektrik sabiti değeri 10^8 Hz de 23 °C sıcaklıkta 2.33 olup frekansla önemli ölçüde değişmemektedir [10, 122]. Ancak, polietilenin kayıp tanjantı 10^6 Hz de 0.0002 olup normal odunun kayıp tanjantından oldukça düşüktür [10]. Bu durumda polietilenle emprenye sonucu dielektrik sabitinde değişim olmaması ve kayıp tanjantın da ise azalış olması beklenirken, Torgovnikov [10], polietilenle emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti değerinin normal odun veya polietilen maddesinin dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı değerinden daha yüksek olduğunu

ve dielektrik sabiti değerinin yüksek olmasını odun kapillerlerini dolduran havanın polietilen ile yer değiştirmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Buradaki sonuçlar, bu çalışmada polietilen glikol-1000 ile emprenye edilmiş odunun sonuçlarıyla karşılaştırıldığında dielektrik sabitinde benzer bir durum olduğu ancak kayıp tanjantı için ters bir durumla karşı karşıya kalınmakla birlikte, yine aynı çalışmada Torgovnikov [10] düşük moleküler ağırlığa sahip polietilenin kayıp tanjantının yüksek moleküler ağırlığa sahip olandan daha büyük olduğunu belirtmektedir. Saf polietilenin kayıp tanjantının normal oduna göre çok düşük olduğu ve polietilen glikol-1000'in molekül ağırlığının yüksek olduğu gözönüne alındığında polietilen-glikol-1000 ile emprenye sonucu kayıp tanjantında düşüş olması beklenebilir. Ayrıca, Poliszko ve Hoffmann [45] polistiren ile emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerini incelemiş ve odun ile benzer dielektrik özelliklere sahip polistiren ile emprenye edilmiş odunun dielektrik sabitinin arttığını belirtmiştir. Relaksasyon mekanizmasında rol oynayan birim hacimdeki polar grupların artışı dahil bu değişimin karakterini, polistirenin odunun amorf bölgelerinin yapısını değiştirmesi ve böylece odunu genişletmesine bağlamışlardır. Bilindiği üzere polietilen-1000 de odunu genişleten emprenye maddelerindedir ve bu durum polietilen-1000 ile emprenye edilmiş odun için de söz konusu olabilir.

Amonyum sülfatın dielektrik sabiti değeri 10^5 Hz frekansında ve 20 °C de 9.3 tür [123] ve bu frekanstaki emprenyesiz odunun dielektrik sabitinden yüksektir. Yukarda açıklandığı üzere bir odunun bünyesine verilen maddenin dielektrik sabitinin odununun dielektrik sabitinden yüksek olması emprenyeli odunun dielektrik sabitini artıracaktır. Diğer taraftan, amonyum sülfatın kendisinin higroskopik bir madde olduğu ve amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun sorpsiyon kapasitesinin arttığı belirtilmektedir [124]. Odunun amonyum sülfatla emprenyesi sonucu sorpsiyon kapasitesinin artışı polar gruplardaki artış ile de yorumlanabilir. Bu iki faktör birlikte ele alındığında amonyum sülfatla emprenye sonucu odunun dielektrik özelliklerinde en azından normal oduna benzer bir durum yada artış beklenir. 2.45 GHz frekansında amonyum sülfatla emprenye sonucu kontrole göre dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantında artış gözlenmiştir. Ancak 9.8 GHz frekansında dielektrik sabiti kontrole göre artış göstermekle birlikte kayıp faktörü ve kayıp tanjantında düşüş gözlenmiştir. Kayıp faktörü ve kayıp tanjantında frekansa göre meydana gelen bu farklılık amonyum sülfatın kendi dielektrik özelliklerinde frekansla birlikte meydana gelebilecek farklı değişim veya doğal haldeki odunda frekansla birlikte

kayıp tanjantında meydana gelen artışın emprenyeli odun için sözkonusu olmaması gibi açıklığa kavuşturulamamış mekanizmaları içerebilir.

Sözkonusu kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinin frekansa göre değişimi hakkında kesin bir yargıya varmak güç olmakla birlikte, çeşitli emprenye maddeleriyle emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinde genel bir eğilim söz konusu olduğu frekansın artışıyla dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantında azalış olduğu söylenebilir. Ancak emprenyesiz odunda frekansın artışıyla dielektrik sabiti ve kayıp faktörü azalırken kayıp tanjantında artış gözlenmiştir. Ancak bu durumun özellikle yüksek rutubet miktarlarında farkedildiği daha önce belirtilmiştir. Emprenyeli odunun dielektrik davranışı emprenyesiz odunla karşılaştırıldığında belirgin bir durum göze çarpmaktadır. Şöyleki, dielektrik sabitinin frekansa göre değişimi benzer olmakla birlikte kayıp faktörü ve kayıp tanjantı emprenyesiz oduna kıyasla belirgin şekilde bir azalma göstermektedir.

Emprenyesiz odunun 9.8 GHz frekansındaki kayıp tanjantının 2.45 GHz frekansına oranla yüksek olması özellikle kontrole benzer dielektrik özellikler gösteren amonyum sülfat ve PEG-1000 ile emprenye edilmiş odunun 2.45 GHz ve 9.8 GHz deki kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerlerinde kontrole kıyasla meydana gelen farklılığı yorumlamayı güçleştirmiştir. Ayrıca, 9.8 GHz de ve 2.45 GHz de kontrole göre oldukça düşük dielektrik davranışa gösteren emprenye maddelerinin durumları iki frekansta benzer eğilime sahip olmasına rağmen çalışılan her iki frekansta kontrole yakın grupta bulunun fosforik asit, immersol-WR, PEG-1000 ve amonyum sülfatın dielektrik sabitinde farklılık gözlenmiştir. Bu durum, retensiyon oranının iki frekansta farklı olmasına bağlanabilir. Çünkü, frekansa bağlı olarak örnek boyutları değişiklik gösterdiğinden ve bütün örnekler aynı emprenye şartlarında emprenye edildiğinden 2.45 GHz ve 9.8 GHz de kullanılan örneklerin retensiyon oranları sabit tutulamamıştır. Bu durumda 9.8 GHz frekansındaki örneklerin retensiyon oranı 2.45 GHz frekansındakine oranla oldukça yüksek olması durumu ortaya çıkmıştır (Tablo 65-68).

Emprenyeli odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek dielektrik özelliklere emprenyeli Doğu Kayını sahip olup emprenyeli Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamın dielektrik sabiti

benzerdir. Burada normal oduna benzer bir durum gözlenmiştir. Bu nedenle emprenyeli odunun dielektrik özellikleri üzerine odun türünün etkisinin özgül ağırlıktan kaynaklandığı söylenebilir.

Emprenyeli odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine lif yönünün etkisi önemli olup, liflere paralel yöndeki dielektrik özellikler liflere dik yöndekinden yüksektir. Buradan, normal odunun dielektrik özelliklerinin lif yönündeki değişiminde etkili olan faktörlerin emprenyeli odun için de geçerli olduğu sonucuna varılabilir.

Elde edilen sonuçlardan, sözkonusu tüm emprenye maddeleriyle emprenye edilmiş odunda, mikrodalgalarla işlemler sonucunda meydana gelecek ısının emprenyesiz oduna oranla oldukça düşük olacağı sonucu çıkartılmıştır. Ayrıca emprenyeli odun liflere paralel yönde liflere dik yöne kıyasla daha kolay ısınacaktır.

5. SONUÇLAR

5.1. Doğal Haldeki Odun Türlerinin Dielektrik Özellikleri

Doğu Ladini, Sarıçam, Melez Kavak, Sakallı Kızılağaç, Anadolu Kestanesi, Sapsız Meşe ve Doğu Kayını odun türlerinin 20-24 °C oda sıcaklığında, 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında teğet, radyal, liflere dik ve liflere paralel yönde ve % 0, 8, 12, 15, 22, 28 rutubet gruplarındaki dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan \delta$) değerleri Tablo 88-94'de verilmektedir.

Çalışma kapsamında bulunan odun türlerinin dielektrik özelliklerinin çeşitli faktörlere göre değişiminin incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı odun türlerine göre değişiklik göstermektedir.

2. Çalışılan her iki frekansta dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı Melez Kavakta en düşük, Doğu Kayını odununda en yüksek değerlerini almaktadır. Sarıçam, Sakallı Kızılağaç ve Anadolu Kestanesi benzer dielektrik özelliklere sahip olup Doğu Ladininden daha yüksek değerlere sahiptirler. Sapsız Meşe odunu Doğu Kayını odunundan daha düşük, diğer odun türlerinden daha yüksek dielektrik özelliklere sahiptir.

3. Dielektrik sabiti ve kayıp faktörü odun türlerine göre benzer bir değişim göstermekle birlikte kayıp tanjantı daha karmaşık bir yapı sergilemektedir.

4. Odun türlerinin dielektrik davranışlarındaki farklılık onların özel karakteristikleriyle ilgilidir. Bunlar arasında en etkili olanlar odun türlerinin sorpsiyon kapasitesi, permeabilite ve özgül ağırlık gibi fiziksel özellikleri olmakla birlikte odun türlerinin kimyasal yapısındaki farklılıkların da dielektrik sabitinde değişikliğe neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Odun türlerine göre kayıp tanjantı değerlerindeki daha karmaşık değişkenlik odunun özel yapısının kayıp tanjantı üzerinde daha etkili olduğu şeklinde yorumlanabilir.

5. Çalışılan tüm odun türlerinde 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında %0-28 rutubet miktarı sınırlarında rutubet miktarı arttıkça teğet, radyal ve liflere paralel yönde dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı sürekli artış göstermektedir. Rutubet miktarı ile dielektrik özellikler arasında $Y = b_0 + b_1 r + b_2 r^2$ (Y: ϵ' , ϵ'' , $\tan \delta$; b_0 , b_1 , b_2 : katsayılar ve r: rutubet) şeklinde ilişki bulunmuştur. Dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine rutubet miktarının etkisi her iki frekansta yüksek rutubet miktarlarında daha baskındır.

6. Dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı için genelde tüm odun türlerinde lif yönü dikkate alındığında $T \leq R < L$ sıralaması geçerlidir.

7. Çalışılan tüm odun türlerinde liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı liflere dik yöndekinden yüksektir. Rutubet miktarının artışıyla odun türlerinde liflere dik ve liflere paralel yöndeki dielektrik özellikler arasındaki fark daha belirginleşmektedir. Frekans arttıkça liflere paralel ve liflere dik yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı arasındaki fark önemsiz bir azalış göstermektedir.

8. Liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti değeri liflere dik yöndekinden 2.45 GHz frekansında 1.3 kat, 9.8 GHz frekansında 1.2 kat yüksektir ve odun türlerine göre önemsiz bir fark göstermektedir.

9. Liflere paralel yöndeki kayıp faktörü liflere dik yöndekinden ortalama olarak 2.45 GHz de 2.06 kat, 9.8 GHz de 1.8 kat yüksek olup bu iki yön arasındaki fark odun türüne göre çok değişmemektedir.

10. Liflere paralel yöndeki kayıp tanjantı liflere dik yöndekinden ortalama olarak 2.45 GHz de 1.7, 9.8 GHz de 1.5 kat yüksektir ve türlerine göre önemsiz bir fark göstermektedir.

11. Odun türlerinin teğet ve radyal yöndeki dielektrik davranışları karşılaştırıldığında, yumuşak odun türleri hariç, sert odun türlerinde genelde radyal yöndeki dielektrik özelliklerin teğet yöndekinden daha yüksek olduğu belirlenmektedir.

birlikte her iki odun türünde teğet ve radyal yön arasındaki fark liflere paralel yöne kıyaslandığında önemli değildir.

12. Rutubet miktarındaki artışla birlikte teğet ve radyal yöndeki dielektrik davranışta odun türlerine göre değişkenlik olduğu belirlenmiştir.

13. Her iki frekansta odun türlerinin teğet ve radyal yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı karşılaştırıldığında, Ladin ve Sarıçamda radyal yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı teğet yönle oldukça benzerdir. Kızılağaç, Kestane, Meşe ve Kayın odununda ise radyal yöndeki dielektrik özellikler teğet yönden yüksektir.

14. Odun türlerine göre değişmekle birlikte teğet yöndeki dielektrik sabiti radyal yönden ortalama olarak 2.45 GHz de 1.04 kat, 9.8 GHz de 1.03 kat büyüktür. Rutubet miktarı arttıkça teğet ve radyal yöndeki dielektrik sabiti arasındaki fark Ladin ve Sarıçamda sabit kalmakta, Kavak, Kestane de artmakta, Meşe ve Kayında önce artmakta sonra sabit kalmaktadır. Frekans arttıkça teğet ve radyal yöndeki dielektrik sabiti arasındaki $k_{1(R/T)}$ oranı genel olarak tüm odun türlerinde önemsiz bir azalış göstermektedir.

15. Teğet ve radyal yöndeki dielektrik sabiti arasındaki $k_{1(R/T)}$ oranı Ladinde 1.0, Sarıçamda 0.99, Kavakta 1.09, Kızılağaçta, 1.07, Kestane de 1.05, Meşede 1.03, Kayında 1.04 olarak bulunmuştur.

16. Teğet ve radyal yöndeki kayıp faktörü arasındaki $k_{3(R/T)}$ oranı odun türüne göre değişmekle birlikte ortalama olarak 2.45 GHz de 1.17 ve 9.8 GHz de 1.08 olarak belirlenmiş olup frekans arttıkça azalmaktadır. Rutubet arttıkça bu katsayılar da önemsiz bir artış gözlenmiştir.

17. 2.45 GHz de teğet ve radyal yöndeki kayıp faktörü arasındaki $k_{3(R/T)}$ oranı Ladinde 0.97, Sarıçamda 0.98, Kavakta 1.31, Kızılağaçta 1.22, Kestane de 1.21, Meşede 1.26 ve Kayında 1.26'dır. 9.8 GHz de ise $k_{3(R/T)}$ oranı Ladinde 0.99, Sarıçamda 1.01, Kavakta 1.07, Kızılağaçta 1.17, Kestane de 1.15, Meşede 1.06 ve Kayında 1.13'tür.

18. Sarıçam ve Ladin hariç diğer odun türlerinde radyal yöndeki kayıp tanjantı genelde teğet yöndekinden yüksektir. Ladin ve Sarıçamda düşük rutubet miktarlarında teğet ve radyal yöndeki kayıp tanjantı oldukça benzer olmakla birlikte rutubet miktarı arttıkça özellikle 2.45 GHz de teğet yöndeki dielektrik sabiti radyal yöndeki değerini geçmektedir. Odun türlerine göre değişmekle birlikte radyal yöndeki kayıp tanjantı ile teğet yöndeki kayıp tanjantı arasındaki $k_{2(R/T)}$ oranı 2.45 GHz de 1.11 ve 9.8 GHz de 1.07 olup rutubet miktarı arttıkça önemsiz oranda artış ve frekansla azalış göstermektedir.

19. Teğet ve radyal yöndeki kayıp tanjantı arasındaki $k_{2(R/T)}$ oranı, 2.45 GHz'de Ladinde 0.95, Sarıçamda 0.98, Kavakta 1.15, Kızılağaçta 1.20, Kestane 1.18, Meşede 1.15, Kayında 1.15'dir. $k_{2(R/T)}$ oranı 9.8 GHz'de ise Ladinde 1.00, Sarıçamda 1.05, Kavakta 1.08, Kızılağaçta, 1.18, Kestane 1.08, Meşede 1.04, Kayında 1.05'dir.

20. Genel olarak odunda özışını katılım oranının yükselmesiyle radyal yöndeki dielektrik parametrelerle teğet yöndeki dielektrik parametreler arasındaki fark artmaktadır.

21. 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında 0.300-0.700 (gr/cm^3) tam kuru özgül ağırlık sınırları arasında odunun liflere dik ve liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri Tablo 95-96' da verilmektedir.

22. Tam kuru özgül ağırlığın artışıyla birlikte odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri artış göstermektedir. 0.300 - 0.700 (gr/cm^3) sınırlarında tam kuru özgül ağırlık ile dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı arasında $Y = b_0 + b_1 \delta_0$ (Y: ϵ' , ϵ'' , $\tan \delta$; b_0 , b_1 : katsayılar; δ_0 : tam kuru özgül ağırlık) şeklinde pozitif lineer bir ilişki vardır. Yüksek rutubet miktarlarında dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı ile tam kuru özgül ağırlık arasındaki ilişkinin daha belirginleştiği belirlenmiştir.

23. 2.45 GHz frekansında odun türlerinin dielektrik sabiti ve kayıp faktörü 9.8 GHz frekansındakinden daha yüksektir. Odun türlerinin kayıp tanjantı ise 9.8 GHz frekansında 2.45 GHz dekinden daha yüksek olmakla birlikte aradaki fark önemsizdir.

5.2. Çeşitli Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Odunun Dielektrik Özellikleri

Borik asit, boraks, tanalith-C, fosforik asit, immersol-WR, amonyum sülfat ve PEG-1000 ile emprenye edilmiş Doğu Kayın, Sarıçam ve Sakallı Kızılağaç odununun 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında ve 20-24 °C sıcaklığında liflere dik ve liflere paralel yöndeki dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri Tablo 97-98' de verilmektedir.

Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinin çeşitli faktörlere göre değişiminin incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Borik asit, boraks ve tanalith-C ile emprenye edilmiş odununun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri, çalışılan her iki frekansta emprenyesiz odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantından daha düşüktür.

2. Fosforik asit ile emprenye edilmiş odun, 2.45 GHz frekansında emprenyesiz odunla benzer dielektrik özelliklere sahiptir. 9.8 GHz frekansında ise fosforik asitle emprenye edilmiş odunun dielektrik özellikleri emprenyesiz odundan düşüktür.

3. Immersol-WR ile emprenye edilmiş odun 2.45 GHz frekansında emprenyesiz odunla benzer dielektrik özelliklere sahip olmakla birlikte, 9.8 GHz frekansında ise emprenyesiz odundan düşük dielektrik özelliklere sahiptir.

5. Polietilenglikol-1000 ile emprenye edilmiş odunun dielektrik özellikleri 2.45 GHz frekansında emprenyesiz odunla benzer dielektrik özelliklere sahiptir. 9.8 GHz frekansında ise dielektrik sabiti emprenyesiz odundan yüksek, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı ise emprenyesiz odundan düşüktür.

6. Amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun 2.45 GHz ve 9.8 GHz frekanslarında dielektrik sabiti emprenyesiz oduna oranla yüksek olmakla birlikte istatistiksel olarak benzerdir. Amonyum sülfatla emprenye edilmiş odunun kayıp faktörü

ve kayıp tanjantı ise 2.45 GHz de emprenyesiz odundan yüksek, 9.8 GHz frekansında emprenyesiz odundan düşüktür.

8. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı üzerine odun türünün etkisi önemlidir. En yüksek dielektrik özelliklere emprenyeli Doğu Kayını sahip olup emprenyeli Sakallı Kızılağaç ve Sarıçamın dielektrik özellikleri benzerdir. Burada normal oduna benzer bir durum gözlenmiştir.

9. Liflere paralel yöndeki emprenyeli odunun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı liflere dik yönden yüksekler. Bu durumda emprenyesiz odunun dielektrik özelliklerinin lif yönündeki değişiminde etkili olan faktörlerin emprenyeli odun için de geçerli olduğu sonucuna varılabilir.

10. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun dielektrik özelliklerinde genel bir eğilim söz konusu olup frekansın artışıyla dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantında azalış gözlenmiştir.

Tablo 88. Doğu Ladini [*Picea orientalis* (L.) Link.] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (⊥) ve liflere paralel yönde (//) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Frekans (GHz)	Dielektrik Özellik	Rutubet Miktarı (%)					
		0	8	12	15	22	28
2.45	ϵ'_T	1.59	1.82	1.94	2.16	2.60	3.24
	ϵ'_R	1.56	1.77	2.00	2.21	2.58	3.25
	ϵ'_{\perp}	1.58	1.80	1.97	2.19	2.59	3.25
	$\epsilon'_{//}$	1.82	2.27	2.55	2.91	3.32	4.12
	ϵ''_T	0.038	0.133	0.235	0.317	0.450	0.622
	ϵ''_R	0.030	0.132	0.207	0.336	0.396	0.749
	ϵ''_{\perp}	0.034	0.133	0.221	0.327	0.423	0.686
	$\epsilon''_{//}$	0.070	0.223	0.460	0.650	1.192	1.320
	$\tan\delta_T$	0.024	0.073	0.121	0.151	0.194	0.189
	$\tan\delta_R$	0.019	0.075	0.124	0.152	0.166	0.188
	$\tan\delta_{\perp}$	0.022	0.074	0.123	0.152	0.180	0.189
	$\tan\delta_{//}$	0.035	0.099	0.179	0.222	0.360	0.320
9.8	ϵ'_T	1.53	1.73	1.89	1.96	2.49	2.95
	ϵ'_R	1.53	1.69	1.87	2.00	2.43	2.93
	ϵ'_{\perp}	1.53	1.71	1.88	1.98	2.46	2.94
	$\epsilon'_{//}$	1.72	2.06	2.34	2.71	3.25	3.73
	ϵ''_T	0.038	0.108	0.228	0.386	0.608	0.780
	ϵ''_R	0.040	0.110	0.232	0.340	0.596	0.790
	ϵ''_{\perp}	0.039	0.109	0.230	0.363	0.602	0.785
	$\epsilon''_{//}$	0.060	0.272	0.432	0.698	1.060	1.124
	$\tan\delta_T$	0.026	0.062	0.118	0.190	0.246	0.268
	$\tan\delta_R$	0.028	0.062	0.124	0.166	0.248	0.272
	$\tan\delta_{\perp}$	0.027	0.062	0.121	0.178	0.247	0.270
	$\tan\delta_{//}$	0.034	0.132	0.188	0.356	0.318	0.304

Tablo 89. Sarıçam [*Pinus sylvestris L.*] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Frekans (GHz)	Dielektrik Özellik	Rutubet Miktarı (%)					
		0	8	12	15	22	28
2.45	ϵ'_T	1.67	1.97	2.15	2.33	2.88	3.49
	ϵ'_R	1.64	1.91	2.07	2.40	2.87	3.46
	ϵ'_\perp	1.66	1.94	2.11	2.37	2.88	3.48
	$\epsilon'_{//}$	1.96	2.38	2.89	3.04	3.58	4.23
	ϵ''_T	0.042	0.144	0.274	0.328	0.539	0.896
	ϵ''_R	0.036	0.134	0.246	0.378	0.539	0.924
	ϵ''_\perp	0.039	0.139	0.26	0.353	0.539	0.91
	$\epsilon''_{//}$	0.087	0.286	0.588	0.79	1.561	1.504
	$\tan\delta_T$	0.025	0.081	0.127	0.141	0.185	0.204
	$\tan\delta_R$	0.022	0.07	0.118	0.155	0.185	0.226
	$\tan\delta_\perp$	0.024	0.076	0.123	0.148	0.185	0.215
	$\tan\delta_{//}$	0.036	0.12	0.204	0.268	0.431	0.367
9.8	ϵ'_T	1.6	1.82	2.01	2.21	2.79	3.07
	ϵ'_R	1.59	1.84	2	2.12	2.69	3.09
	ϵ'_\perp	1.60	1.83	2.01	2.17	2.74	3.08
	$\epsilon'_{//}$	1.85	2.19	2.45	2.74	3.49	3.99
	ϵ''_T	0.046	0.1	0.258	0.33	0.706	0.774
	ϵ''_R	0.038	0.11	0.272	0.374	0.666	0.784
	ϵ''_\perp	0.042	0.105	0.265	0.352	0.686	0.779
	$\epsilon''_{//}$	0.074	0.24	0.474	0.712	1.026	1.262
	$\tan\delta_T$	0.026	0.058	0.13	0.152	0.244	0.25
	$\tan\delta_R$	0.026	0.064	0.134	0.17	0.238	0.262
	$\tan\delta_\perp$	0.026	0.061	0.132	0.161	0.241	0.256
	$\tan\delta_{//}$	0.042	0.114	0.19	0.268	0.294	0.316

Sarıçam (do: 0.471 gr/cm³)

Tablo 90. Melez Kavak [*Populus x. Euramericana cv. I-214*] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde (\parallel) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Frekans (GHz)	Dielektrik Özellik	Rutubet Miktarı (%)					
		0	8	12	15	22	28
2.45	ϵ'_T	1.44	1.63	1.84	1.92	2.33	2.67
	ϵ'_R	1.52	1.81	2.03	2.19	2.45	3.02
	ϵ'_\perp	1.48	1.72	1.94	2.06	2.39	2.85
	ϵ'_\parallel	1.70	1.98	2.49	2.88	3.27	3.93
	ϵ''_T	0.018	0.113	0.195	0.231	0.353	0.473
	ϵ''_R	0.027	0.149	0.248	0.317	0.361	0.655
	ϵ''_\perp	0.023	0.131	0.222	0.274	0.357	0.564
	ϵ''_\parallel	0.046	0.191	0.443	0.635	0.924	0.968
	$\tan\delta_T$	0.012	0.069	0.106	0.12	0.163	0.197
	$\tan\delta_R$	0.018	0.082	0.119	0.142	0.149	0.201
	$\tan\delta_\perp$	0.015	0.076	0.113	0.131	0.156	0.199
	$\tan\delta_\parallel$	0.027	0.096	0.172	0.22	0.298	0.234
9.8	ϵ'_T	1.41	1.61	1.72	1.95	2.16	2.48
	ϵ'_R	1.47	1.68	1.85	1.95	2.38	2.97
	ϵ'_\perp	1.44	1.65	1.79	1.95	2.27	2.73
	ϵ'_\parallel	1.62	2.00	2.28	2.66	3.18	3.57
	ϵ''_T	0.030	0.112	0.180	0.290	0.548	0.654
	ϵ''_R	0.030	0.104	0.240	0.286	0.538	0.778
	ϵ''_\perp	0.030	0.108	0.210	0.288	0.543	0.716
	ϵ''_\parallel	0.052	0.27	0.424	0.668	0.898	1.166
	$\tan\delta_T$	0.020	0.072	0.102	0.150	0.228	0.262
	$\tan\delta_R$	0.020	0.084	0.126	0.148	0.228	0.282
	$\tan\delta_\perp$	0.020	0.078	0.114	0.149	0.228	0.272
	$\tan\delta_\parallel$	0.032	0.136	0.192	0.254	0.294	0.330

Tablo 91. Sakallı Kızılağaç [*Alnus glutinosa subsp. Barbata (C.A.Mey) Yalt*] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde (\parallel) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Frekans (GHz)	Dielektrik Özellik	Rutubet Miktarı (%)					
		0	8	12	15	22	28
2.45	ϵ'_T	1.59	1.85	2.17	2.27	2.95	3.32
	ϵ'_R	1.67	2.02	2.37	2.41	3.08	3.47
	ϵ'_\perp	1.63	1.94	2.27	2.34	3.02	3.40
	ϵ'_\parallel	1.88	2.51	2.87	3.10	3.67	4.33
	ϵ''_T	0.029	0.128	0.302	0.327	0.541	0.742
	ϵ''_R	0.034	0.171	0.384	0.357	0.686	0.889
	ϵ''_\perp	0.032	0.150	0.343	0.342	0.614	0.816
	ϵ''_\parallel	0.053	0.341	0.576	0.706	1.761	1.690
	$\tan\delta_T$	0.018	0.069	0.139	0.144	0.183	0.224
	$\tan\delta_R$	0.021	0.085	0.162	0.147	0.225	0.307
	$\tan\delta_\perp$	0.020	0.077	0.151	0.146	0.204	0.266
	$\tan\delta_\parallel$	0.028	0.136	0.201	0.228	0.473	0.413
9.8	ϵ'_T	1.58	1.76	1.96	1.99	2.65	3.07
	ϵ'_R	1.65	1.85	2.06	2.29	2.74	3.35
	ϵ'_\perp	1.62	1.81	2.01	2.14	2.70	3.21
	ϵ'_\parallel	1.87	2.11	2.49	2.86	3.46	3.71
	ϵ''_T	0.040	0.206	0.232	0.272	0.598	0.762
	ϵ''_R	0.040	0.182	0.312	0.374	0.736	0.903
	ϵ''_\perp	0.040	0.194	0.272	0.323	0.667	0.833
	ϵ''_\parallel	0.066	0.312	0.508	0.730	1.008	1.260
	$\tan\delta_T$	0.020	0.118	0.124	0.138	0.230	0.254
	$\tan\delta_R$	0.024	0.096	0.148	0.168	0.250	0.396
	$\tan\delta_\perp$	0.022	0.107	0.136	0.153	0.240	0.325
	$\tan\delta_\parallel$	0.036	0.150	0.202	0.254	0.286	0.344

Tablo 92. Anadolu Kestanesi [*Castanea sativa Mill.*] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (\perp) ve liflere paralel yönde ($//$) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Frekans (GHz)	Dielektrik Özellik	Rutubet Miktarı (%)					
		0	8	12	15	22	28
2.45	ϵ'_T	1.62	1.83	2.29	2.44	3.03	3.22
	ϵ'_R	1.68	2.05	2.52	2.59	2.96	3.27
	ϵ'_\perp	1.65	1.94	2.41	2.52	3.00	3.25
	$\epsilon'_{//}$	1.97	2.58	2.89	3.16	3.44	3.90
	ϵ''_T	0.035	0.129	0.292	0.367	0.564	0.664
	ϵ''_R	0.046	0.189	0.400	0.420	0.524	0.688
	ϵ''_\perp	0.041	0.159	0.346	0.394	0.544	0.676
	$\epsilon''_{//}$	0.085	0.317	0.554	0.840	1.640	1.385
	$\tan\delta_T$	0.022	0.070	0.128	0.151	0.186	0.206
	$\tan\delta_R$	0.028	0.090	0.159	0.163	0.184	0.225
	$\tan\delta_\perp$	0.025	0.080	0.144	0.157	0.185	0.216
	$\tan\delta_{//}$	0.043	0.123	0.191	0.265	0.470	0.359
9.8	ϵ'_T	1.59	1.80	2.04	2.26	2.68	3.01
	ϵ'_R	1.66	1.88	2.11	2.35	2.74	3.26
	ϵ'_\perp	1.63	1.84	2.08	2.31	2.71	3.14
	$\epsilon'_{//}$	1.89	2.16	2.72	2.92	3.46	3.30
	ϵ''_T	0.046	0.140	0.268	0.414	0.618	0.784
	ϵ''_R	0.044	0.170	0.304	0.520	0.764	0.846
	ϵ''_\perp	0.045	0.155	0.286	0.467	0.691	0.815
	$\epsilon''_{//}$	0.066	0.300	0.536	0.776	1.026	1.514
	$\tan\delta_T$	0.028	0.078	0.128	0.192	0.230	0.258
	$\tan\delta_R$	0.028	0.086	0.144	0.218	0.250	0.260
	$\tan\delta_\perp$	0.028	0.082	0.136	0.205	0.240	0.259
	$\tan\delta_{//}$	0.038	0.138	0.196	0.264	0.286	0.490

Tablo 93. Sapsız Meşe [*Quercus petraea ssp. iberica*] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (⊥) ve liflere paralel yönde (//) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Frekans (GHz)	Dielektrik Özellik	Rutubet Miktarı (%)					
		0	8	12	15	22	28
2.45	ϵ'_T	1.81	2.12	2.55	2.72	3.18	4.14
	ϵ'_R	1.87	2.31	2.67	2.87	3.25	4.08
	ϵ'_\perp	1.84	2.22	2.61	2.80	3.22	4.11
	$\epsilon'_{//}$	2.13	2.72	3.20	3.28	4.01	4.63
	ϵ''_T	0.047	0.157	0.386	0.437	0.800	1.106
	ϵ''_R	0.050	0.239	0.430	0.520	1.053	1.480
	ϵ''_\perp	0.049	0.198	0.408	0.479	0.927	1.293
	$\epsilon''_{//}$	0.067	0.390	0.748	0.899	2.479	2.226
	$\tan\delta_T$	0.027	0.075	0.151	0.160	0.251	0.266
	$\tan\delta_R$	0.027	0.100	0.159	0.178	0.328	0.296
	$\tan\delta_\perp$	0.027	0.088	0.155	0.169	0.290	0.281
	$\tan\delta_{//}$	0.040	0.139	0.232	0.275	0.623	0.544
9.8	ϵ'_T	1.85	2.15	2.26	2.53	3.03	3.69
	ϵ'_R	1.89	2.19	2.32	2.60	3.19	3.66
	ϵ'_\perp	1.87	2.17	2.29	2.57	3.11	3.68
	$\epsilon'_{//}$	2.06	2.44	2.87	3.10	3.43	3.45
	ϵ''_T	0.052	0.248	0.356	0.512	0.710	1.006
	ϵ''_R	0.052	0.270	0.372	0.536	0.766	1.104
	ϵ''_\perp	0.052	0.259	0.364	0.524	0.738	1.055
	$\epsilon''_{//}$	0.074	0.322	0.656	0.742	1.090	1.600
	$\tan\delta_T$	0.029	0.118	0.158	0.202	0.234	0.270
	$\tan\delta_R$	0.030	0.116	0.160	0.208	0.244	0.304
	$\tan\delta_\perp$	0.030	0.117	0.159	0.205	0.239	0.287
	$\tan\delta_{//}$	0.034	0.130	0.232	0.236	0.256	0.458

Sapsız Meşe (So: 0.610 gr/cm³)

Tablo 94. Doğu Kayını [*Fagus orientalis Lipsky.*] odununda rutubet grubunun fonksiyonu olarak teğet (T), radyal (R), liflere dik (⊥) ve liflere paralel yönde (//) dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjanı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Frekans (GHz)	Dielektrik Özellik	Rutubet Miktarı (%)					
		0	8	12	15	22	28
2.45	ϵ'_T	1.88	2.23	2.60	2.89	3.39	4.37
	ϵ'_R	1.98	2.40	2.81	3.19	3.47	4.38
	ϵ'_\perp	1.93	2.32	2.71	3.04	3.43	4.38
	$\epsilon'_{//}$	2.26	2.82	3.36	3.38	4.18	4.77
	ϵ''_T	0.045	0.169	0.411	0.481	0.788	1.240
	ϵ''_R	0.044	0.220	0.428	0.639	1.247	1.640
	ϵ''_\perp	0.045	0.195	0.420	0.560	1.018	1.440
	$\epsilon''_{//}$	0.077	0.347	0.845	0.997	2.828	2.506
	$\tan\delta_T$	0.028	0.076	0.158	0.166	0.232	0.285
	$\tan\delta_R$	0.027	0.092	0.152	0.200	0.330	0.321
	$\tan\delta_\perp$	0.028	0.084	0.155	0.183	0.281	0.303
	$\tan\delta_{//}$	0.042	0.123	0.251	0.324	0.695	0.613
9.8	ϵ'_T	1.80	2.11	2.36	2.65	3.31	3.65
	ϵ'_R	1.91	2.17	2.53	2.64	3.25	3.48
	ϵ'_\perp	1.86	2.14	2.45	2.63	3.28	3.57
	$\epsilon'_{//}$	2.10	2.56	3.05	3.39	3.79	3.27
	ϵ''_T	0.052	0.266	0.326	0.564	0.740	0.976
	ϵ''_R	0.068	0.272	0.388	0.604	0.766	1.122
	ϵ''_\perp	0.060	0.269	0.357	0.584	0.753	1.049
	$\epsilon''_{//}$	0.080	0.486	0.828	0.860	1.136	1.454
	$\tan\delta_T$	0.030	0.128	0.140	0.210	0.238	0.268
	$\tan\delta_R$	0.030	0.124	0.154	0.222	0.236	0.318
	$\tan\delta_\perp$	0.030	0.126	0.147	0.216	0.237	0.293
	$\tan\delta_{//}$	0.038	0.190	0.264	0.252	0.310	0.436

Tablo 95. Tam kuru özgül ağırlığın fonksiyonu olarak 2.45 GHz frekansında rutubet gruplarına göre liflere dik ve liflere paralel yönde odunun dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ($t = 20-24$ °C)

Lif Yöndü	δ_0 gr/cm ³	Rutubet (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		0						8						12						15						22						28																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Liflere Dik	0.30	1.36	0.020	0.016	1.55	0.103	0.071	0.169	0.108	1.85	0.215	0.125	0.325	0.141	2.60	0.405	0.157	2.77	0.454	0.168	0.40	1.51	0.029	0.019	1.77	0.135	0.076	0.247	0.123	2.16	0.301	0.139	0.485	0.173	3.04	0.592	0.187	0.45	1.59	0.034	0.021	1.88	0.151	0.079	0.286	0.131	2.31	0.345	0.146	2.90	0.564	0.190	3.31	0.730	0.207	0.50	1.67	0.038	0.023	1.99	0.166	0.082	0.325	0.139	2.47	0.388	0.154	3.01	0.644	0.206	3.57	0.868	0.226	0.55	1.75	0.043	0.024	2.10	0.182	0.085	0.364	0.146	2.62	0.431	0.161	3.11	0.724	0.223	3.84	1.006	0.246	0.60	1.82	0.047	0.026	2.22	0.198	0.088	0.403	0.154	2.78	0.474	0.168	3.21	0.804	0.239	4.11	1.144	0.265	0.65	1.90	0.051	0.027	2.33	0.213	0.091	0.442	0.162	2.93	0.517	0.175	3.31	0.883	0.255	4.38	1.282	0.285	0.70	1.98	0.056	0.029	2.44	0.229	0.093	0.481	0.170	3.08	0.560	0.183	3.41	0.963	0.272	4.65	1.420	0.304	0.30	1.61	0.048	0.031	1.86	0.145	0.090	0.327	0.156	2.68	0.496	0.192	3.03	0.924	0.321	3.78	0.703	0.396	0.35	1.69	0.054	0.033	2.00	0.186	0.098	0.397	0.169	2.78	0.563	0.205	3.19	1.076	0.340	3.92	0.952	0.417	0.40	1.78	0.061	0.034	2.15	0.227	0.106	0.467	0.182	2.88	0.630	0.219	3.35	1.227	0.360	4.05	1.200	0.438	0.45	1.86	0.067	0.036	2.29	0.267	0.114	0.537	0.194	2.98	0.697	0.233	3.51	1.378	0.379	4.19	1.449	0.459	0.50	1.95	0.074	0.037	2.43	0.308	0.122	0.607	0.207	3.08	0.764	0.247	3.67	1.530	0.399	4.32	1.698	0.480	0.55	2.04	0.080	0.039	2.58	0.349	0.130	0.677	0.219	3.18	0.831	0.261	3.83	1.681	0.418	4.46	1.946	0.501	0.60	2.12	0.086	0.040	2.72	0.390	0.138	0.747	0.232	3.28	0.898	0.274	3.99	1.832	0.438	4.59	2.195	0.522	0.65	2.21	0.093	0.042	2.87	0.430	0.147	0.816	0.244	3.38	0.965	0.288	4.15	1.983	0.458	4.73	2.444	0.543	0.70	2.29	0.099	0.043	3.01	0.471	0.155	0.886	0.257	3.48	1.032	0.302	4.32	2.135	0.477	4.86	2.692	0.564
	Liflere Paralel	0.30	1.36	0.020	0.016	1.55	0.103	0.071	0.169	0.108	1.85	0.215	0.125	0.325	0.141	2.60	0.405	0.157	2.77	0.454	0.168	0.40	1.51	0.029	0.019	1.77	0.135	0.076	0.247	0.123	2.16	0.301	0.139	0.485	0.173	3.04	0.592	0.187	0.45	1.59	0.034	0.021	1.88	0.151	0.079	0.286	0.131	2.31	0.345	0.146	2.90	0.564	0.190	3.31	0.730	0.207	0.50	1.67	0.038	0.023	1.99	0.166	0.082	0.325	0.139	2.47	0.388	0.154	3.01	0.644	0.206	3.57	0.868	0.226	0.60	1.82	0.047	0.026	2.22	0.198	0.088	0.403	0.154	2.78	0.474	0.168	3.21	0.804	0.239	4.11	1.144	0.265	0.65	1.90	0.051	0.027	2.33	0.213	0.091	0.442	0.162	2.93	0.517	0.175	3.31	0.883	0.255	4.38	1.282	0.285	0.70	1.98	0.056	0.029	2.44	0.229	0.093	0.481	0.170	3.08	0.560	0.183	3.41	0.963	0.272	4.65	1.420	0.304																																																																																																																																																																																			

Tablo 96. Tam kuru özgül ağırlığın fonksiyonu olarak 9.8 GHz frekansında rutubet gruplarına göre liflere dik ve liflere paralel yönde odunun dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) ($t = 20-24^\circ\text{C}$)

Lif Yönlü	δ_0 gr/cm ³	Rutubet (%)																	
		0			8			12			15			22			28		
		ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$
Liflere Dik	0.30	1.35	0.026	0.021	1.49	0.061	0.059	1.54	0.140	0.101	1.76	0.233	0.140	2.08	0.417	0.212	2.58	0.601	0.238
	0.35	1.42	0.030	0.022	1.58	0.091	0.070	1.67	0.174	0.109	1.88	0.273	0.148	2.26	0.476	0.218	2.75	0.674	0.247
	0.40	1.49	0.034	0.023	1.67	0.120	0.081	1.79	0.208	0.116	2.00	0.314	0.156	2.43	0.535	0.223	2.91	0.746	0.257
	0.45	1.56	0.038	0.025	1.76	0.150	0.092	1.92	0.241	0.124	2.12	0.355	0.165	2.60	0.593	0.228	3.08	0.819	0.266
	0.50	1.64	0.043	0.026	1.85	0.180	0.103	2.04	0.275	0.132	2.25	0.396	0.173	2.77	0.652	0.234	3.25	0.892	0.275
	0.55	1.71	0.047	0.027	1.94	0.210	0.114	2.17	0.308	0.139	2.37	0.437	0.181	2.94	0.711	0.239	3.42	0.964	0.284
	0.60	1.78	0.051	0.029	2.03	0.240	0.125	2.29	0.342	0.147	2.49	0.478	0.190	3.11	0.770	0.244	3.59	1.037	0.293
0.65	1.85	0.055	0.030	2.12	0.269	0.135	2.42	0.375	0.154	2.61	0.519	0.198	3.28	0.829	0.250	3.76	1.109	0.302	
0.70	1.92	0.059	0.031	2.21	0.299	0.146	2.54	0.409	0.162	2.73	0.560	0.207	3.46	0.888	0.255	3.93	1.182	0.311	
Liflere Paralel	0.30	1.54	0.050	0.033	1.83	0.200	0.115	2.02	0.323	0.161	2.39	0.462	0.218	3.06	0.830	0.274	3.91	1.107	0.302
	0.35	1.62	0.054	0.034	1.92	0.235	0.124	2.15	0.366	0.170	2.52	0.524	0.226	3.16	0.872	0.278	3.96	1.161	0.323
	0.40	1.70	0.059	0.035	2.02	0.270	0.133	2.28	0.409	0.179	2.64	0.586	0.234	3.26	0.915	0.282	4.01	1.214	0.344
	0.45	1.78	0.063	0.036	2.11	0.304	0.142	2.41	0.452	0.188	2.77	0.648	0.242	3.36	0.958	0.285	4.06	1.267	0.364
	0.50	1.86	0.068	0.037	2.21	0.339	0.150	2.55	0.495	0.197	2.89	0.710	0.250	3.46	1.000	0.289	4.11	1.320	0.385
	0.55	1.94	0.072	0.037	2.30	0.374	0.159	2.68	0.538	0.206	3.02	0.771	0.258	3.56	1.043	0.293	4.16	1.374	0.406
	0.60	2.02	0.077	0.038	2.40	0.409	0.168	2.81	0.582	0.215	3.15	0.833	0.266	3.66	1.086	0.296	4.21	1.427	0.427
0.65	2.10	0.082	0.039	2.49	0.443	0.177	2.94	0.625	0.224	3.27	0.895	0.274	3.76	1.128	0.300	4.26	1.480	0.448	
0.70	2.18	0.086	0.040	2.58	0.478	0.186	3.07	0.668	0.233	3.40	0.957	0.282	3.86	1.171	0.304	4.31	1.534	0.469	

Tablo 97. Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun retensiyon oranları ve buna bağlı olarak 2.45 GHz frekansında ve % 12 rutubet miktarında liflere dik (\perp) ve liflere paralel (\parallel) yönde dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Emp. Mad. Türü	Retensiyon		Odun Türü	2.45 GHz					
	kg/m ³	%		Dielektrik Özellik					
				ϵ'_{\perp}	ϵ'_{\parallel}	ϵ''_{\perp}	ϵ''_{\parallel}	$\tan\delta_{\perp}$	$\tan\delta_{\parallel}$
Borik asit	13.10	0.74	Doğu Kayını	2.51	3.18	0.296	0.811	0.118	0.257
	14.69	0.93	Sarıçam	2.04	3.01	0.211	0.442	0.104	0.187
	13.81	1.04	Kızılağaç	2.10	2.77	0.207	0.457	0.101	0.165
	13.87	0.90	Ort.	2.21	2.99	0.238	0.570	0.108	0.203
Boraks	25.51	0.72	Doğu Kayını	2.55	3.35	0.330	0.849	0.124	0.284
	28.52	1.13	Sarıçam	2.09	2.93	0.232	0.559	0.111	0.191
	29.91	1.17	Kızılağaç	2.14	2.86	0.234	0.504	0.109	0.176
	27.98	1.01	Ort.	2.26	3.05	0.265	0.638	0.115	0.217
Tanalith - C	8.50	1.91	Doğu Kayını	2.49	3.33	0.340	0.878	0.130	0.270
	8.46	2.56	Sarıçam	2.26	2.92	0.301	0.562	0.134	0.193
	8.07	2.39	Kızılağaç	2.16	2.92	0.259	0.534	0.117	0.183
	8.60	2.29	Ort.	2.30	3.06	0.300	0.658	0.127	0.215
Fosforik asit	23.60	1.16	Doğu Kayını	2.60	3.26	0.370	0.775	0.131	0.238
	13.09	2.76	Sarıçam	2.09	2.97	0.250	0.702	0.119	0.236
	17.39	1.64	Kızılağaç	2.15	3.01	0.246	0.643	0.114	0.213
	21.36	1.85	Ort.	2.28	3.08	0.289	0.707	0.122	0.229
Immorsol-WR	*	3.70	Doğu Kayını	2.70	3.34	0.371	1.132	0.137	0.340
	*	6.30	Sarıçam	2.18	2.97	0.255	0.594	0.117	0.200
	*	6.06	Kızılağaç	2.31	3.00	0.277	0.599	0.120	0.200
	*	5.35	Ort.	2.40	3.10	0.301	0.775	0.125	0.247
PEG-1000	74.99	10.77	Doğu Kayını	2.69	3.27	0.332	0.848	0.132	0.261
	65.38	13.30	Sarıçam	2.19	2.97	0.290	0.630	0.126	0.218
	73.56	14.90	Kızılağaç	2.23	2.87	0.287	0.693	0.129	0.197
	71.31	9.66	Ort.	2.37	3.04	0.303	0.724	0.129	0.225
Amonyum sülfat	26.14	3.48	Doğu Kayını	2.68	3.15	0.392	1.146	0.146	0.364
	31.21	5.36	Sarıçam	2.22	3.06	0.290	0.706	0.130	0.230
	27.07	5.05	Kızılağaç	2.33	3.02	0.315	0.682	0.135	0.226
	28.14	4.96	Ort.	2.41	3.08	0.332	0.845	0.137	0.273
Kontrol	-	-	Doğu Kayını	2.74	3.40	0.414	0.931	0.150	0.273
	-	-	Sarıçam	2.13	2.88	0.268	0.584	0.126	0.203
	-	-	Kızılağaç	2.29	2.86	0.354	0.559	0.154	0.165
	-	-	Ort.	2.39	3.04	0.345	0.691	0.143	0.224

* Immorsol-WR'nin konsantrasyon değeri patent altında olması nedeniyle bilinemediğinden kg/m³ retensiyon miktarı hesaplanamamıştır.

Tablo 98 . Çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun retensiyon oranları ve buna bağlı olarak 9.8 GHz frekansında ve % 12 rutubet miktarında liflere dik (\perp) ve liflere paralel (\parallel) yönde dielektrik sabiti (ϵ'), kayıp faktörü (ϵ'') ve kayıp tanjantı ($\tan\delta$) değerleri (t: 20-24 °C)

Emp. Mad. Türü	Retensiyon		Odun Türü	9.8 GHz					
	Kg/m ³	%		Dielektrik Özellik					
				ϵ'_{\perp}	ϵ'_{\parallel}	ϵ''_{\perp}	ϵ''_{\parallel}	$\tan\delta_{\perp}$	$\tan\delta_{\parallel}$
Borik asit	20.80	2.01	Doğu Kayını	2.31	2.74	0.229	0.381	0.099	0.139
	30.53	2.63	Sarıçam	1.84	2.24	0.147	0.300	0.080	0.134
	32.08	2.60	Kızılağaç	1.88	2.23	0.148	0.268	0.078	0.120
	30.14	2.41	Ort.	2.01	2.40	0.175	0.316	0.086	0.131
Boraks	20.53	1.83	Doğu Kayını	2.29	2.81	0.235	0.416	0.103	0.148
	31.28	2.19	Sarıçam	1.84	2.29	0.157	0.309	0.085	0.135
	31.59	2.45	Kızılağaç	1.87	2.32	0.157	0.309	0.084	0.133
	30.13	2.16	Ort.	2.00	2.48	0.183	0.344	0.091	0.138
Tanalith-C	17.19	3.65	Doğu Kayını	2.36	2.76	0.260	0.405	0.110	0.147
	20.77	7.03	Sarıçam	1.90	2.30	0.182	0.349	0.095	0.151
	20.11	5.91	Kızılağaç	1.93	2.31	0.177	0.304	0.092	0.140
	19.36	5.53	Ort.	2.06	2.46	0.206	0.353	0.099	0.146
Fosforik asit	40.88	4.46	Doğu Kayını	2.39	3.00	0.311	0.568	0.130	0.188
	44.88	8.07	Sarıçam	1.89	2.25	0.174	0.284	0.092	0.126
	46.71	5.75	Kızılağaç	1.92	2.29	0.162	0.272	0.084	0.119
	44.16	6.09	Ort.	2.06	2.51	0.216	0.375	0.102	0.144
Immersol-WR	*	4.75	Doğu Kayını	2.34	2.83	0.246	0.407	0.105	0.144
	*	9.48	Sarıçam	1.94	2.27	0.198	0.339	0.102	0.148
	*	8.62	Kızılağaç	1.99	2.40	0.203	0.379	0.102	0.158
	*	7.79	Ort.	2.09	2.50	0.215	0.375	0.103	0.150
PEG-1000	154.7	22.62	Doğu Kayını	2.67	2.84	0.435	0.464	0.144	0.162
	184.3	38.59	Sarıçam	2.17	2.11	0.243	0.311	0.111	0.129
	194.5	39.58	Kızılağaç	2.13	2.53	0.227	0.359	0.106	0.142
	177.8	33.60	Ort.	2.32	2.59	0.302	0.378	0.121	0.144
Amonyum sülfat	52.54	7.41	Doğu Kayını	2.37	2.88	0.264	0.460	0.111	0.159
	64.57	13.96	Sarıçam	2.01	2.44	0.218	0.380	0.108	0.154
	62.08	12.40	Kızılağaç	2.07	2.54	0.236	0.439	0.114	0.172
	59.73	11.26	Ort.	2.15	2.62	0.239	0.426	0.111	0.162
Kontrol	-	-	Doğu Kayını	2.42	2.93	0.374	0.828	0.154	0.264
	-	-	Sarıçam	2.99	2.44	0.258	0.474	0.132	0.286
	-	-	Kızılağaç	2.00	2.49	0.269	0.506	0.136	0.202
	-	-	Ort.	2.14	2.62	0.300	0.602	0.141	0.217

* Immersol-WR'nin konsantrasyon değeri patent altında olması nedeniyle bilinemediğinden kg/m³ retensiyon miktarı hesaplanamamıştır.

6. ÖNERİLER

Odun çok karmaşık bir yapıya sahip bir malzemedir ve birçok durumda pratikte gerekli olan doğrulukta dielektrik parametreleri teorik olarak hesaplamak zordur. Bu nedenle ilgilenilen odun türlerinin dielektrik özellikleri üzerindeki güvenilir verilerine ancak uygun deneysel araştırmalarla ulaşılabilir.

Bu araştırma ile doğal ve emprenyeli haldeki çeşitli odun türlerinin dielektrik özellikleri ile ilgili verileri araştırmacılara ve kullanıcılara sunulmuştur. Ancak, bu araştırmada amaç odun-mikrodalga etkileşimini gerektiren uygulamalarda kullanılacak verileri oluşturmak olduğundan, bazı konuların ilgilenilen alan açısından gerektiği şekilde değerlendirilebilmesi için daha ileri araştırmalara kapı açılmıştır. Aşağıda, çalışma sonucunda varılan bazı yargıların geliştirilmesi açısından, yapılmasının yararlı olacağı düşünülen ileriki araştırmalar ve mikrodalga-odun etkileşimi işlemlerinde karşılaşılabilecek hesaplamalarda elde edilen verilerin kullanımı sırasında uygulayıcılar açısından yararlı olabilecek bilgiler verilmektedir.

Bu araştırmada, endüstride kullanılan çeşitli kimyasal maddelerle emprenye edilmiş odunun 2.45 GHz ve 9.8 GHz deki dielektrik özelliklerini belirlemek amaç edinildiğinden, retensiyon oranına ve frekansa göre değişim üzerinde durulmamış yalnızca genel bir bilgiye varılabılmıştır. Söz konusu emprenye maddelerinin bu faktörler açısından durumunu açıklığa kavuşturabilmek ve bazı faktörler gözardı edilerek varılan yargıları desteklemek için sabit bir frekansta çeşitli retensiyon oranlarını kullanarak daha geliştirilmiş araştırmaların gerçekleştirilmesi yararlı olacaktır.

Odun türlerinin dielektrik davranışları arasındaki farklılıklar odun türlerinin spesifik özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varılmış olmakla birlikte bu araştırmadaki verilerle, en önemli etken olan özgül ağırlığın ilişkisi incelenmiştir. Ancak, ayrıca kimyasal içerik, yaz odunu oranı ve özışını miktarına göre değişimini inceleyen ileri araştırmalar, dielektrik veriler sayesinde odunun yapısı hakkında daha net sonuçlara varılmasını sağlayabilir.

Odunun dielektrik özellikleri ile odun özgül ağırlığı, lif yönü, rutubet miktarı ve sıcaklık arasındaki korelasyonların geniş spektrumu ve anlaşılması zor karaktere sahip olması elektromanyetik alan ve odun arasındaki etkileşimleri hesaplamayı zorlaştırmaktadır. Bu hesaplamalara, üretim işlemleri, ürün tasarımı imkanlarına ilaveten ölçüm cihazlarının geliştirilmesi için gerek duyulmaktadır. Birçok durumda, sabit bir sıcaklık ve rutubet miktarındaki dielektrik karakterini bilmek gerekmektedir. Odunun ısıtılması ve kurutulması işlemlerinde, odunun sıcaklığı ve rutubet miktarı değişir ve genellikle dielektrik parametrelerin ortalama değerleri kullanılır. Bu yüzden, güvenilir sonuçlar ve kararlar alabilmek için odunun doğru değerlerini belirlemek gerekir.

Odunun dielektrik karakteristiklerinin ortalama değerleri tam kuru özgül ağırlıkla yakından ilgilidir. Dielektrik karakteristiklerin odun türüne bağımlılığı daha az belirgindir. Bu nedenle Tablo 95-96'da liflere dik ve liflere paralel yöndeki dielektrik parametreleri odun türü dikkate alınmaksızın tam kuru özgül ağırlığa ve frekansa göre verilmiştir. Bu tablolardan veya tam kuru özgül ağırlık ile dielektrik özellikler arasındaki ilişkiyi gösteren grafiklerden (Şekil 50-53), 0.300-0.700 gr/cm³ özgül ağırlık sınırları arasında istenen lif yönü ve rutubet miktarındaki dielektrik veriler elde edilebilir.

Bu çalışmanın sonuçlarından birçok durumda mikrodalgalarla odun arasındaki etkileşimlerin hesaplanmasında teğet ve radyal yöndeki dielektrik özellikler arasındaki farkı dikkate almak gerekmediği sonucuna varılmıştır. Yalnızca liflere dik ve liflere paralel yöndeki dielektrik verileri bilmek yeterli olabilir. Bununla birlikte eğer herhangi bir özgül ağırlığa sahip odunun dielektrik parametrelerinin, radyal, teğet ve liflere paralel yöndeki değerlerini ayrı ayrı kullanmak gerekiyorsa odun türünün etkisi dikkate alınmalıdır. Bu durumda, çalışılan odun türlerinin radyal ile teğet yöndeki dielektrik özellikleri arasındaki ilişkileri belirten katsayılardan yararlanılarak (47) ve (48) eşitlikleri kullanılarak istenen değerler hesaplanabilir.

Çalışma kapsamında bulunan odun türlerinin veya herhangi bir özgül ağırlıktaki odunun LDN üzerindeki dielektrik verilerine gerek duyuluyorsa, LDN rutubet miktarındaki dielektrik özelliklerinden yararlanarak (9) ve (10) formülleri yardımıyla LDN'nin üzerindeki dielektrik özellikler belirlenebilir.

Diğer yandan, tüm dielektrik ölçümler 20-24 °C oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışılan frekans sınırlarında dielektrik özellikler sıcaklıkla lineer olarak değiştiğinden, istenen herhangi bir sıcaklıktaki dielektrik özellikler, (12) ve (13) eşitlikleri yardımıyla hesaplanabilir.

Mikrodalga frekanslarında işlem gören birtakım ölçüm cihazı, malzemeye elektromanyetik dalganın verilmesi sırasında odundaki zayıflama faktörünün belirlenmesine dayanır. Bazıları ise, mikrodalga yansıma (reflektion) faktörünün ölçümüne dayanır. Kural olarak ölçüm için kullanılan radyasyon gücünün sıcaklık ve rutubet miktarından etkilenmediği kabul edilir. Bu yüzden zayıflama ve yansıma faktörlerinin hesaplanmasında sabit bir sıcaklık, rutubet miktarı, lif yönü ve frekansa uygun dielektrik sabiti, kayıp faktörü ve kayıp tanjantı değerleri kullanılır.

Odunun mikrodalgalarla kurutulması işlemlerinde, odunun sıcaklığı ve rutubet miktarı sürekli olarak değişir. Bu yüzden kurutma periyodu sırasında, odunun absorbe ettiği enerjinin hesabında, hem sıcaklık hem de rutubet miktarının değişim sınırları gözönünde bulundurularak ortalama dielektrik parametre değerlerinin kullanılması önerilir.

Mikrodalgalarda işlem sırasında, % 25-30 rutubet miktarına kadar sıcaklıkla odunun dielektrik sabitinin değişimi yaklaşık olarak lineerdir. Bu nedenle -20-90 °C sıcaklık sınırlarında dielektrik sabitinin ortalama değeri için başlangıç ve son sıcaklıklardaki dielektrik sabiti değerlerinin aritmetik ortalaması alınabilir.

Mikrodalgalarla işlem sırasında, rutubet miktarı ile dielektrik sabitinin bağımlılığı %0-28 rutubet sınırlarında eğrisel bir lineerlik gösterdiğinden bu bölgede dielektrik sabitinin ortalama değerinin hesaplanması için integral değerleri (45 ve 46 formülleri) kullanılabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Allahverdiyev, Z., Elektroteknik Malzemeleri, K.T.Ü. Genel Yayın No: 198, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayın No:58, Trabzon, 2000.
2. Oktay, A., Besin Maddelerinin Hazırlanmasında Elektromagnetik Enerjinin Kullanılması, İ.T.Ü.D., 36, 3 (1978) 3-15.
3. Vermaas, H.F., The Dielectric Properties of Wood, University of Stellenbosch, Thesis Presented for the Degree of Doctor of Science in Wood Science, Stellenbosch, South Africa, 1971.
4. Tinga, W.R, Nelson, S.O., Dielectric Properties of Materials for Microwave Processing-Tabulated, Journal of Microwave Power, 8,1, (1973) 23-65.
5. Balanis, C.A., Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley and Sons, New York, 1989.
6. Vermaas, H.F., Pound, J., Borgin, K.B., The Loss Tangent of Wood and Its Importance in Dielectric Heating, South African Forestry Journal, 89 (1974) 5-8.
7. Peyskens, E., Pourcq, M.de, Stevens, M., Schalck, J., Dielectric Properties of Softwood Species at Microwave Frequencies, Wood Science Technol., 18 (1984) 267-280.
8. 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 (1975) 1-32.
9. James, W.L., Electric Moisture Meters for Wood, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, FPL-GTR 6 (1988) 1-17.
10. Torgovnikov, G.I., Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials, Springer-Verlag, Berlin, 1993.
11. Metaxas, A.C., Meredith, R.J., Industrial Microwave Heating, Short Run Press Ltd., England, 1988.

12. James, W.L, Dielectric Behavior of Douglas-Fir at Various Combinations of Temperature, Frequency, and Moisture Content, Forest Products Journal, 27, 6 (1977) 44-48.
13. Simpson, W., TenWolde, A., Physical Properties and Moisture Relations of Wood, Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR, 113, Chapter 3, 1-25, Madison, WI: US, 1999.
14. Oleyede, A., Groombridge, P., The Influence of Microwave Heating on the Mechanical Properties of Wood, Journal of Materials Processing Technology, 100 (2000) 67-73.
15. Vermaas, H.F., Dielectric Properties of Pinus Pinaster as a Function of Its Alcohol-Benzene-Soluble-Content, Wood Science, 6, 4 (1974) 363-367.
16. Khalid, K.B., Kabir, M.F., Daud, W.M., Sidek, H.A.A., Multi-Component Mixture Modeling for the Dielectric Properties of Rubber Wood at Microwave Frequencies, Holzforschung, 53 (1999) 662-668.
17. Khalid, K., Sahri, M.H., Keong, N.K., Fuad S. A., Microwave Dielectric Properties of Wooden Cross-arms, Part of the SPIE Conference on Subsurface Sensors and Applications Denver, Colorado, July 1999, SPIE Vol.3752, 147-156.
18. Norimoto, M., Dielectric Properties of Wood, Wood Research, 59/60 (1976) 106-151.
19. Norimoto, M., Yamada, T., The Dielectric Properties of Wood VI, On the Dielectric Properties of the Chemical Constituents of Wood and the Dielectric Anisotropy of Wood, Wood Research, 52 (1972) 30-43.
20. Örs, Y., Keskin, H., Ağaç Malzeme Bilgisi, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2001.
21. Hafizoğlu, H., Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları, Cilt 1, Odun Kimyası, K.Ü., Orman Fakültesi Yayın No, 52, K.Ü. Basımevi, Trabzon, 1982.
22. Berkel, A., Ağaç Malzeme Teknolojisi, I. Cilt, İ.Ü. Yayın No:1448, Orman Fak. Yayın No: 147, İstanbul, 1970.
23. Norimoto, M., Yamada, T., The Dielectric Properties of Wood V, On the Dielectric Anisotropy of Wood, Wood Research, 51 (1971) 12-32.

24. Norimoto, M., Yamada, T., The Dielectric Properties of Wood IV, On Dielectric Dispersions of Oven-dried Wood, Wood Research, 50 (1970) 36-49.
25. Dielectric Constants at 20°C, (Web sitesi en son 29.04.2002 tarihinde ziyaret edildi), <http://hyperphysics.phy-astr.qsu.edu/hbase/tables/diel.html>
26. Örs, Y., Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, I.Kısım, Odunun Fiziksel Özellikleri, Ders Notları, K.Ü. Ders Teksirleri Serisi No.11, K.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon, 1986.
27. Kabir, M.F., Khalid, K.B., Daud, W.M., 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 (1997) 319-324.
28. Kabir, M.F., Daud W.M., Khalid, K., 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 (1998) 223-227.
29. James, W.L., Hamill, D.W., Dielectric Properties of Douglas-Fir Measured at Microwave Frequencies, Forest Products Journal, 15, 2 (1965) 51-56.
30. Tiuri, M., Jokela, K., Heikkila, S., Microwave Instrument for Accurate Moisture and Density Measurement of Timber, Journal of Microwave Power, 15, 4 (1980) 251-254.
31. Jain, V.K., Dubey, Y.M., Dielectric Constant of Some Indian Timbers in Axial Direction at Microwave Frequencies, J.Ind. Acad. Wood Sci., 19, 2 (1988) 25-36.
32. Yokoyama, M., Ohmae, K., Kanayama, K., Furuta, Y., Norimoto, M., Mechanical and Dielectric Relaxations of Wood in a Low Temperature Range. IV. Dielectric Properties of Adsorbed Water at High Moisture Contents, Mokuzai Gakkaishi / Journal of the Japan Wood Research Society, 46, 6 (2000) 523-530.
33. Norimoto, M., Yamada, T., The Dielectric Properties of Wood II-Temperature Dependence of Dielectric Properties of Wood in Absolutely Dried Condition, Mokuzai Kenkyu = Journal of the Japan Wood Research, 46 (1969) 1-9.
34. Yokoyama, M., Norimoto, M., Contour Diagrams of Dielectric Loss for Absolutely Dried Spruce Wood, Wood Research, 83 (1996) 37-39.

35. Kabir, M.F., Daud, W.M., Khalid, K.B., Sidek, H.A.A., Temperature Dependence of the Dielectric Properties of Rubber Wood, Wood and Fiber Science, 32, 2 (2001) 233-238.
36. Tinga, W.R., Dielectric Properties of Douglas Fir at 2.45 GHz, Journal of Microwave Power, 4, 3 (1969) 160-164.
37. Kabir, M.F., Daud, W.M., Khalid, K.B., Sidek, H.A.A., Equivalent Circuit Modeling of the Dielectric Properties of Rubber Wood at Low Frequency, Wood and Fiber Science, 32, 4 (2000) 450-457.
38. Olmi, R., Bini, M., Ignesti, A., Riminesi C., Dielectric Properties of Wood from 2 to 3 GHz, Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 35, 3 (2000) 135-143.
39. Kuroda, N, Tsutsumi, J., Effect of Moisture Content and Temperature on Frequency Dependence of Conductivity of Wood, Mokuzai Gakkaishi = Journal of the Japan Wood Research Society, 27, 9 (1981) 665-670.
40. Kuroda, N, Tsutsumi, J., Watanabe, H., Effects of Specific Gravity and Morphological Factors on Electrical Conduction in Hardwoods, Bulletin of the Kyushi University Forests, 58, 1998, 137-149.
41. Kuroda, N, Tsutsumi, J., Effects of Applied Voltage on Electrical Conductivity of Wood, Mokuzai Gakkaishi = Journal of the Japan Wood Research Society, 25,12 (1979) 757-762.
42. Jinzhen, C., Guangjie, Z., Dielectric Relaxation Based on Adsorbed Water in Wood Cell Wall under Non-Equilibrium State 2., Holzforschung, 55 (2001) 87-92.
43. Norimoto, M., Hayashi, S., Yamada, T., Anisotropy of Dielectric Constant in Coniferous Wood, Holzforschung, 32, 5 (1978) 167-172.
44. Thostenson, E.T., Chou, T.-W, Microwave Processing: Fundamentals and Applications, Composites, Part A 30 (1999) 1055-1071.
45. Poliszko, S., Hoffmann, G., Dielectric Behavior of Wood-Polystyrene Composite, Journal of Applied Polymer Science, 30 (1985) 799-804.
46. Brelid, P.L., Simonson, R., Risman, P.O., Acetylation of Solid Wood Using Microwave Heating, Holz als Roh- und Werkstoff, 57 (1999) 259-263.

47. Brelid, P.L., Simonson, R., Risman, P.O., Acetylation of Solid Wood Using Microwave Heating. Part 1, Studies of Dielectric Properties, Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Hogskola, (1998) 1-10.
48. Clark, D.E, Folz, D.C., West, J.K., Processing Materials with Microwave Energy, Materials Science and Engineering, A 287 (2000) 153-158.
49. Antti, A.L., Perre, P., A Microwave Applicator for on line Wood Drying: Temperature and Moisture Distribution in Wood, Wood Science and Technology, 33 (1999) 123-138.
50. Perre, P, Turner I.W., The Use of Numerical Simulation as a Cognitive Tool for Studying the Microwave Drying of Softwood in an Over-sized Waveguide, Wood Science and Technology, 33 (1999) 445-464.
51. Zielonka, P., Dolowy, K., Microwave Drying of Spruce: Moisture Content, Temperature, and Heat Energy Distribution, Forest Products Journal, 48, 6 (1998) 77-80.
52. Barnes, D., Admiraal, L., Pike, R.L., Mathur, V.N.P., Continuous System for the Drying of Lumber with Microwave Energy, Forest Products Journal, 26, 5 (1976) 31-42.
53. Zielonka, P., Gierlik E., Matejak, M., Dolowy, K., The Comparison of Experimental and Theoretical Temperature Distribution During Microwave Wood Heating, Holz als Roh-und Werstoff, 55 (1997) 395-398.
54. Zielonka, P., Gierlik, E., Temperature Distribution During Conventional and Microwave Wood Heating, Holz als Roh-und Werstoff, 57 (1999) 247-249.
55. Ilingworth, P., Klein, H., Microwave Drying of Ponderosa Pine Cross-Sectional Disks, For. Prod. Journal, Technical Note, 27, 2 (1977).
56. Zhao, H., Turner, W., The Use of a Coupled Computational Model for Studying the Microwave Heating of Wood, Applied Mathematical Modelling, 24, 3 (2000), 183-197.
57. Lehne, M, Barton, G.W., Langrish, T.A.G., Comparison of Experimental and Modelling Studies for the Microwave Drying of Ironbark Timber, Drying Technology, 17, 10 (1999) 2219-2235.

58. Perre, P., Turner, I.W., Microwave Drying of Softwood in an Oversized Waveguide: Theory and Experiment, AICHE Journal, 43, 10 (1997) 2579-2595.
59. Antti, A.L., Microwave Drying of Pine and Spruce, Holz als Roh-und Werkstoff, 53, 5 (1995) 333-338.
60. Resnik, J., Sernek, M., Kamke, F.A., High-Frequency Heating of Wood with Moisture Content Gradient, Wood and Fiber Science, 29, 3 (1997) 264-271.
61. Rozsa, A., Torgovnikov, G., High Frequency Energy to Dry Wood, CSIRO, Forest Products Annual Report, 17 April 1996.
62. Zhou, B., Avramidis, S., On the Loss Factor of Wood During Radio Frequency Heating, Wood Science and Technology, 33,4 (1999) 299-310.
63. Lee, N.H., Hayashi, K., Jung, H.S., Effect of Radio-Frequency / Vacuum Drying and Mechanical Press-Drying on Shrinkage and Checking of Walnut Log Cross Sections, Forest Products Journal, 48, 5 (1998) 73-79.
64. Fang, F., Ruddick, J.N.R., Avramidis, S., Application of Radio-Frequency Heating to Utility Poles. Part 1. Radio-Frequency / Vacuum Drying of Roundwood, Forest Products Journal, 51, 7/8 (2001) 56-60.
65. Zhao, H., Turner, I., Torgovnikov, G., Experimental and Numerical Investigation of the Microwave Heating of Wood, Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 33, 2 (1998) 121-133.
66. Rozsa. A., Dielectric Drying, CSIRO- Forest Products Annual Report, Part 6, 1994/95.
67. Basics, Physical Basics of Microwave Heating, Pueschner Microwaves, Nov. 1999, June 1999, (Web sayfası en son 29.04.2002 tarihinde ziyaret edildi), <http://www.pueschner.com/engl/basics/basics.html>
68. Örs, Y., Kama Dişli Birleşmeli Masif Ağaç Malzemedeki Mekanik Özelliklere İlişkin Araştırmalar, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Odun Fiziği ve Mekanik Bilim Dalı, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1981.
69. Kantay, R., Kereste Kurutma ve Buharlama, Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı, Yayın No. 6, İstanbul, 1993.

70. James, W.L., Yen, Y.H., King, R.J., A Microwave Method for Measuring Moisture Content, Density, and Grain Angle of Wood, Forest Products Laboratory Research Note, FPL-0250, 1985, 1-10.
71. Martin, P., Collet, R., Barthelemy, P., Roussy, G., Evaluation of Wood Characteristics: Internal Scanning of the Material by Microwaves, Wood Sci. Technol., 21 (1987) 361-371.
72. King, R.J., Microwave Electromagnetic Nondestructive Testing of Wood, In: Proceedings, Fourth Non-Destructive Testing of Wood Symposium: 1978 August 28-30, Vancouver, WA. Pullman, WA: Washington State University, Engineering Extension Service, 1978, 121-134.
73. James, W.L., Boone, R.S., Capacitive In-Kiln Wood Moisture Content Monitors: Principles of Operation and Use, Wood Science, 14, 4 (1982) 146-164.
74. Wengert, G., Bois, P., Evaluation of Electric Moisture Meters on Kiln-Dried Lumber, Forest Products Journal, 47, 6 (1997) 60-62.
75. Emerson, R.N., Pollock, D.G., Kainz, J.A., Fridley, K.J., Mclean, D.L., Ross, R.J., Nondestructive Evaluation Techniques for Timber Bridges, 5th World Conference on Timber Engineering, 1998, 670-677.
76. Forrer, J.B., Funck, J.W., Dielectric Properties of Defects on Wood Surfaces, Holz als Roh-und Werkstoff, 56 (1998) 25-29.
77. Steele, P.H., Kumar, L., Shmulsky, R., Differentiation of Knots, Distorted Grain, and Clear Wood by Radio-Frequency Scanning, Forest Products Journal, 50, 3 (2000) 58-62.
78. Okamura, S., Zhang Y., New Method for Moisture Content Measurement Using Phase Shifts at Two Microwave Frequencies, Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 35, 3 (2000) 175-178.
79. Zhang, Y., Okamura, S. New Density-indepented Moisture Measurement Using Microwave Phase Shifts at Two Frequencies, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 48, 6 (1999) 1208-1211.
80. Kaariainen, H., Rudolph, M., Schaurich, D., Tulla, K., Wiggerhauser, H., Moisture Measurements in Building Materials with Microwaves, NDT & E International, 34, 6 (2001)389-394.

81. Jain, V.K., Sanyal, S.N., A Preliminary Note on the Attenuation of Microwaves by Few Wood Species, The Indian Forester, 122, 5 (1996) 428-431.
82. Kaestner, A., Polarimetry Based Wood Scanning, Thesis for the Degree Licentiate of Engineering, Technical Report No. 327L, Sweden, 1999.
83. Kaestner, A., Baath, L.B., Discussion of Physical Properties of Wood from an Electromagnetic Point of View, Centre for Imaging Science and Technologies (CIST), Halmstad University, Sweden, 1998.
84. Kaestner, A., Microwave Tomography on Hardwood Logs, Master's Thesis, CCA9707, Halmstad University, Sweden, 1997.
85. Şahin, H., Doğu Ladini (*Picea orientalis (L.) Link*) Odununun İç Morfolojik Özellikleri ve Bazı Organik Çözücülerin Geçit Aspirasyonu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 1996, Trabzon.
86. Akyüz, M., Doğu Ladini (*Picea orientalis (L.) Link*) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Orman Bakanlığı Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü, DKOYA Yayın No, 3, Trabzon, 1997.
87. Bilgin, Ö., Doğu Ladini Odunu ve Kabuğunun Kimyasal Bileşimi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995.
88. Tıraş, H., Ökseotu (*Viscum album L.*)'nun Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) Odununda Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1998.
89. Bozkurt, Y. ve Erdin, N., Ticarete Önemli Yabancı Ağaçlar, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, No: 4, İstanbul, 1989.
90. Toker, R., Batı Karadeniz Sarıçamının Teknik Vasıfları ve Kullanma Yerleri Hakkında Araştırmalar, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No. 10, Ankara, 1960.
91. Türkiye'de Kavakçılık, T.C., Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Müdürlüğü, İzmit, 1994.

92. Güller, B., Artvin- Mersivan Yöresi Kızılağaç Odununun (*Alnus glutinosa subsp. Barbata* (C.A.Mey.) Yalt.) Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1998.
93. Merev, N., Türkiye Kızılağaç (*Alnus Mill.*)'ları Odunlarının İç Yapıları, K.Ü Orman Fakültesi Yayınları, Genel Yayın No: 7, Fakülte Yayın No: 2, Trabzon, 1983.
94. Örs, Y. ve Ay, N., Rize Çayeli Bölgesi Kızılağaç [*Alnus glutinosa subsp. Barbata* (C.A.Mey.) Yalt.] Odunlarının Bazı Fiziksel Özellikleri, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi, 23, 4 (1999) 803-809.
95. Yadigaroğlu, R., İklim Koşullarında Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa Mill.*) Kerestelerinin Güneş Fırınında ve Açık Havada Kurutulması Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1997.
96. Kuduban, E., Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa Mill.*) Odun ve Kabuğunun Kimyasal Bileşimi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1996.
97. Merev, N., Odun Anatomisi, Cilt 1, Doğu Karadeniz Bölgesindeki Doğal Angiospermae Taksonlarının Odun Anatomisi, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 189, Fakülte Yayın No: 27, Trabzon, 1998.
98. Bozkurt, Y., Odun Anatomisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No, 415, İstanbul 1992.
99. Gürsu, İ., Karabük Mıntıkası Sapsız Meşelerinin Anatomik ve Teknolojik Özellikleri Üzerinde Araştırmalar, Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif Yayınlar Serisi No. 17, Ankara, 1966.
100. Malkoçoğlu, A.K., Doğu Kayını (*Fagus orientalis L.*) Odununun Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1994.
101. Var, A.A., Emprenye Edilmiş Yongalardan Üretilen Yongalevhaların Bazı Teknolojik Özellikleri, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2000.

102. Temiz, A., Çeşitli Emprenye Maddelerinin Kızılağaç Odununun (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Subsp. *Barbata* (C.A.Mey.) Yalt.] Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2000.
103. Bozkurt, Y., Göker, Y., Erdin, N., Emprenye Tekniği, İ.Ü. Yayın No: 3779, O.F. Yayın No: 425, İstanbul, 1993.
104. HEMEL Emprenye Sanayi ve Ticaret A.Ş. Dökümanları (Safety Data Sheet), İstanbul, 1997.
105. Rowell, R.M., The Chemistry of Solid Wood, Advances in Chemistry Series 207, American, Chemical Society, Washington, D.C., 1984.
106. Golstein, I.S., Degradation and Protection of Wood from Thermal Attack, In Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments, Syracuse Univ., New York Press, Vol. I., 307-339, 1973.
107. Ü.C.Yıldız, Çeşitli Ağaç Türlerinde Su Alımının ve Çalışmanın Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1988.
108. TS 4176, Odunun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Tayini için Homojen Meşçerelerden Numune Ağacı ve Laboratuvar Numunesi Alınması, I. Baskı, TSE Ankara, Eylül 1984.
109. TS 2470, Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler için Numune Alma Metodları ve Genel Özellikler, TSE, Ankara, Kasım 1976.
110. TS 2471, Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler için Rutubet Miktarı Tayini, I. Baskı, TSE Ankara, Kasım 1976.
111. TS 2472, Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler için Birim Hacim Ağırlığı Tayini, TSE, Ankara, Kasım 1976.
112. Hall, G.S., Moisture Content Control of Wood Before Preservative Processing, Timber Research and Development Association Bucks, England, 1991, 1-17.
113. ASTM D 1413-76, Standart Method of Testing, Wood Preservatives by Laboratory Soilblock Cultures, American National Standard, 452-460, 1976.

114. Stamm, A., Dimensional Changes of Wood and Their Control, In I. S. Goldstein, Wood Technology, Chemical Aspects, Advances in Chemistry Series 43, American Chemical Society, Washington D.C., 1977.
115. Chatterjee, R., Advanced Microwave Engineering Special Advanced Topics, Ellis Horwood Limited, 1988.
116. Boron, British Columbia Institute of Technology, BCIT Chemistry Resource Center, (Web sitesi en son 29.04.2002 tarihinde ziyaret edildi.). <http://nobel.scas.bcit.ca/resource/ptable/b.html>
117. Lyday, P.A., Boron, U.S., Geological Survey Minerals Yearbook, 1999, 1-8.
118. Venkateswaran, A., A Note on the Relationship Between Electrical Properties and Thermal Conductivity of Wood, Wood Science and Technology, 8 (1974) 50-55.
119. Sanyal, S.N., Jain, V.K., Dubey, Y.M., Verma, P.C., A Preliminary Note on Relationship Between Dielectric Properties and Thermal Conductivity of Wood, J.Ind., Acad. Wood Sci., 22, 2 (1991) 45-49.
120. Nicholas, D.D., Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments, Volume II, Preservatives and Preservative Systems, Syracuse University Press, Syracuse, New York, 1973.
121. Rowell, R.M., Banks, W.B., Water Repellency and Dimensional Stability of Wood, U.S.D.A. Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report, FPL-50, Madison, 24, 1985.
122. Lide, D.R., CRC Handbook of Chemistry and Physics, 71st Edition, CRC Press, Boston, 1990-1991.
123. Lide, D.R., CRC Handbook of Chemistry and Physics, 81st Edition, CRC Press, Boston, 2001.
124. Bendtsen, B.A., Sorption and Swelling Characteristics of Salt-Treated Wood, U.S. Forest Service Research Paper, FPL 60, May 1966, United States Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1-45.

ÖZGEÇMİŞ

1970 tarihinde Trabzon'un Of ilçesinde doğdu. 1987 yılında Of Kız Meslek Lisesini bitirdi. 1989 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümün'de yüksek öğrenimine başladı. 1993 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak mezun oldu. 1994 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü araştırma görevlisi kadrosuna atandı. 1996 yılında Orman Endüstri Yüksek Mühendisi ünvanını aldı. 1996 yılında Doktora çalışmalarına başlayan Hamiyet Şahin İngilizce bilmektedir.

