

**KAKTÜS BİTKİSİNİN 2G, 3G, 4.5G VE WI-FI
FREKANSLARINDAKİ DİELEKTRİK
GEÇİRGENLİĞİNİN HESAPLANMASI VE
MODELLENMESİ**



**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Ediz DELİHASANLAR

**KAKTÜS BİTKİSİNİN 2G, 3G, 4.5G VE WI-FI FREKANSLARINDAKİ
DİELEKTRİK GEÇİRGENLİĞİNİN HESAPLANMASI VE
MODELLENMESİ**

Ediz DELİHASANLAR

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

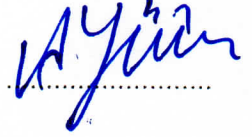
**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Eylül 2016**

Ediz DELİHASANLAR tarafından hazırlanan "KAKTÜS BİTKİSİNİN 2G, 3G, 4.5G VE WI-FI FREKANSLARINDAKİ DİELEKTRİK GEÇİRGENLİĞİNİN HESAPLANMASI VE MODELLENMESİ " başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hayrettin YÜZER

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

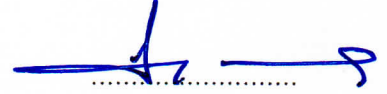


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Enstitü Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 06 / 09 / 2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası


Başkan: Doç. Dr. Selçuk HELHEL (AKD)



Üye : Doç. Dr. Habibe TECİMER (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hayrettin YÜZER (KBÜ)



Tarih/...../2016

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

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





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

Ediz DELİHASANLAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAKTÜS BİTKİSİNİN 2G, 3G, 4.5G VE WI-FI FREKANSLARINDAKİ DİELEKTRİK GEÇİRGENLİĞİNİN HESAPLANMASI VE MODELLENMESİ

Ediz DELİHASANLAR

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hayrettin YÜZER

Eylül 2016, 61 sayfa

Bu çalışmada, literatürde bilimsel çalışma bulunmayan kaktüsgiller familyasının bir türü olan Opuntia bitkisinin 2G, 3G, 4.5G ve WI-FI frekanslarındaki dielektrik geçirgenliğinin hesaplanması ve modellenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu tezde günlük hayatta sıklıkla kullanılan 900 MHz ile 1800 MHz frekanslarını kullanan 2G teknolojisi, 2100 MHz frekansını kullanan 3G teknolojisi, 2400 MHz frekansını kullanan WI-FI teknolojisi ve hayatımıza yeni giren 2600 MHz frekansında çalışan 4.5G teknolojisi üzerine dielektrik etkisi araştırılmıştır.

Opuntia bitkisinin dielektrik sabitini hesaplamak için en uygun ölçüm yöntemlerinden biri olan dalga kılavuzu ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. Ölçüm düzeneği 2 adet WR430 dalga kılavuzu adaptörü, örnek tutucu ve network analizörden meydana gelmektedir. WR430 dalga kılavuzu adaptörleri 1700 ile 2600 MHz arası

çalıştığından dolayı 900 MHz bölgesinde ölçüm yapılmamıştır. Ölçüm düzeneği TRL kalibrasyon yöntemiyle kalibre edilmiş ve dielektrik sabiti bilinen strafor malzemesi ile yeni tekrarsız (New Non-Iterative) hesaplama yöntemini kullanarak ölçüm doğruluğu kontrol edilmiştir. Ayrıca Kaktüs bitkisinin nem oranlarına göre dielektrik sabitinin değişimi incelenmiş ve CST programı kullanılarak simülasyon ortamı üzerinde modellenmesi yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Dalga kılavuzu, dielektrik ölçüm, non-iterative metodu, opuntia kaktüs, trl kalibrasyon.

Bilim Kodu : 905.1.034



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MODELLING AND CALCULATION OF DIELECTRIC PERMITTIVITY OF CACTUS AT 2G, 3G, 4.5G AND WI-FI FREQUENCIES

Ediz DELİHASANLAR

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Ahmet Hayrettin YÜZER

September 2016, 61 pages

There is not any scientific study about Opuntia, which is a species of cactus families, in the literature. In this study, dielectric permittivity of Opuntia were calculated and modelled at 2G, 3G, WI-FI and 4.5G communication technology frequencies. Those are often used in daily life. This technologies use 900 MHz to 1800 MHz, 2100 MHz, 2400 MHz and 2600 MHz frequencies. The dielectric effect of Opuntia was investigated.

One of the most suitable method of measurement for Opuntia is waveguide transmission line. Measurement set-up was prepared with two WR430 waveguide adaptors. The dielectric constant of Opuntia was measured between 1700 MHz to 2600 MHz except for 900 MHz frequencies because adaptors work 1700 to 2600 MHz frequencies range. Measurement set-up was calibrated by TRL calibration technique and the accuracy of the system was verified by using Styrofoam, whose

dielectric properties are known, by using New Non-Iterative method. Furthermore, according to the variation of humidity the dielectric constant of cactus was examined and modelling was performed using the CST program.

Key Words : Waveguide, dielectric measurement, non-iterative method, opuntia cactus, TRL calibration.

Science Code : 905.1.034



TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hayrettin YÜZER'e, bana her türlü yardımı ve desteği sağlayan Sayın Doç. Dr. Selçuk HELHEL'e, arkadaşım ArŐ. Gör. Mehmet ÇAKIR'a, aileme ve sevgili eŐim Özge KORAL DELİHASANLARA'a teşekkür ederim.

Ayrıca, Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM) Laboratuvarlarının (DPT2007 ile) kullanılması nedeniyle EMUMAM Müdürlüğüne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR TARAMASI.....	2
BÖLÜM 2	7
KURAMSAL BİLGİLER	7
2.1. MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ.....	7
2.1.1. Dielektrik Malzemeler.....	7
2.1.2. Manyetik Malzemeler.....	11
2.2. ELEKTROMANYETİK DALGANIN YAYILMASI.....	13
2.3. SAÇILMA PARAMETRELERİ (S-PARAMETRELERİ).....	14
BÖLÜM 3	17
MATERYAL VE METODLAR	17
3.1. KAKTÜS BİTKİSİ.....	17
3.2. DIELEKTRİK GEÇİRGENLİK ÖLÇÜM TEKNİKLERİ	18
3.2.1. Koaksiyel Prob (Coaxial Probe).....	18
3.2.2. İletim Hattı (Transmission Line)	19
3.2.3. Boş Uzay (Free Space)	20

	<u>Sayfa</u>
3.2.4. Rezonans Boşluğu (Resonant Cavity)	21
3.2.5. Paralel Plaka (Parallel Plate)	22
3.2.6. Endüktans Ölçme Metodu (Inductance Measurement Method).....	23
3.2.7. Ölçüm Tekniklerin Karşılaştırılması	24
3.3. DİELEKTRİK SABİTİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	26
3.3.1. Nicholson-Ross-Weir (NRW) Yöntemi	26
3.3.2. Tekrarlamalı NIST Yöntemi (NIST Iterative).....	27
3.3.3. Yeni Tekrarsız Yöntem (New Non-Iterative).....	29
3.3.4. Kısa Devre Hattı Yöntemi (Short Circuit Line)	30
3.3.5. Ölçüm Metotlarına Uygun Hesaplama Yöntemleri.....	31
BÖLÜM 4	33
ARAŞTIRMA BULGULARI	33
4.1. TRL KALİBRASYON.....	33
4.2. YENİ TEKRARSIZ (NEW NON-ITERATIVE) HESAPLAMA YÖNTEMİNİN AŞAMALARI.....	39
4.3. ÖLÇÜM DÜZENİĞİNİN KURULMASI	41
4.4. ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	43
4.4.1. Opuntia Bitkisinin Dielektrik Sabiti Analizi	44
4.4.2. Frekansa Göre Opuntia Bitkisinin Dielektrik Sabiti.....	47
4.5. SİMÜLASYON ORTAMI İÇİN MODELLEME.....	49
BÖLÜM 5	53
SONUÇ	53
KAYNAKLAR	55
EK AÇIKLAMALAR A. MATLAB KODU	58
ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kutupsuz atom veya molekülün kutuplaşması.	8
Şekil 2.2. Kayıp tanjant.	9
Şekil 2.3. Elektronların dönme hareketi.	11
Şekil 2.4. Manyetik alan uygulanmadan önce ve sonra manyetik kutuplaşma.	11
Şekil 2.5. Malzemeye gelen, yansıyan ve iletilen dalga.	13
Şekil 2.6. Farklı dielektrik sabitlerine göre yansıma katsayıları.	14
Şekil 2.7. Kara kutu.	15
Şekil 2.8. 2 portlu devre şematiği.	15
Şekil 3.1. Opuntia.	18
Şekil 3.2. Koaksiyel prob.	18
Şekil 3.3. Dalga kılavuzu ve koaksiyel hat.	20
Şekil 3.4. Boş uzay tekniği.	21
Şekil 3.5. Rezonans boşluğu ölçüm sistemi.	22
Şekil 3.6. Paralel plaka.	23
Şekil 3.7. Endüktans ölçme metodu.	24
Şekil 3.8. Ölçüm metotların karşılaştırılması.	25
Şekil 3.9. NRW yöntemi kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti.	27
Şekil 3.10. Tekrarlamalı NIST yöntemi kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti.	28
Şekil 3.11. Yeni tekrarsız yöntemi (New non-iterative) kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti.	29
Şekil 3.12. Kısa devre hattı yöntemi kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti.	30
Şekil 4.1. TRL kalibrasyon.	33
Şekil 4.2. Direkt (Thru) ölçüm.	34
Şekil 4.3. 1. Portun yansıma (reflect) ölçümü.	35
Şekil 4.4. 2. Portun yansıma (reflect) ölçümü.	35
Şekil 4.5. Dalga kılavuzları boyutlarında kestirilen hat uzunluğu.	36
Şekil 4.6. İletim hattın ölçümü.	37
Şekil 4.7. S_{11} parametresi.	37

Sayfa

Şekil 4.8. S_{12} parametresi.....	38
Şekil 4.9. S_{22} parametresi.....	38
Şekil 4.10. S_{21} parametresi.....	39
Şekil 4.11. Hesaplama adımları.	39
Şekil 4.12. Ölçüm işlem aşaması.	41
Şekil 4.13. Opuntia örneğinin dikey ve yatay gösterimi.....	42
Şekil 4.14. Örneğin boşluk kalmadan yerleştirilmiş hali.	42
Şekil 4.15. Ölçüm düzeneği.	43
Şekil 4.16. Straforun dielektrik sabitinin reel kısmı.	44
Şekil 4.17. Havanın dielektrik sabitinin reel kısmı.	45
Şekil 4.18. Su oranlarına göre yansıma katsayıları (S_{11}).	46
Şekil 4.19. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın dielektrik sabitin genliği. ...	47
Şekil 4.20. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın dielektrik sabitinin reel kısmı.....	48
Şekil 4.21. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın dielektrik sabitinin sanal kısmı.....	48
Şekil 4.22. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın kayıp tanjantı.	49
Şekil 4.23. Simülasyon dalga kılavuzu ölçüm sistemi.	50
Şekil 4.24. Faz kayması.	50
Şekil 4.25. Dielektrik dispersion listesi.....	51
Şekil 4.26. Ölçüm sonucu ve CST programında yapılan modellemenin dielektrik sabitin genliği.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Malzemelerin oda sıcaklığında ve 2.45 GHz frekansındaki dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri	10
Çizelge 3.1. Hesaplama yöntemleri	26
Çizelge 3.2. Ölçüm yöntemleri ve uygun hesaplama yöntemleri	32
Çizelge 4.1. Ölçüm yapılan saatlere karşılık Opuntia'nın ağırlığı ve su oranları.	45
Çizelge 4.2. Opuntia bitkisinin nem oranlarına göre ve belirlenen frekanslardaki dielektrik sabitlerin reel kısmı ve sanal kısımları.	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

2G	: 2. Nesil kablosuz telefon teknolojisi
3G	: 3. Nesil mobil haberleşme teknolojisi
4.5G	: 4. Nesil mobil haberleşme teknolojisi
c	: Vakumda ışık hızı
cm	: Santimetre
\vec{D}	: Elektrik akı yoğunluğu
\vec{E}	: Elektrik alan
f	: Frekans
GHz	: Gigahertz
gr	: Gram
j	: Karekök '-1' ($\sqrt{-1}$)
m	: Metre
\vec{m}	: Manyetik moment
\vec{M}	: Manyetik moment mıknatıslanma yoğunluğu
MHz	: Megahertz
mm	: Milimetre
\vec{p}	: Elektriksel net kutuplaşma yoğunluğu
\vec{P}	: Kutuplaşma momentin yoğunluğu
Q, q	: Yük
R	: Direnç
\vec{r}	: Uzaklık vektörü
S	: Saçılım matrisi
sn	: Saniye
S_{ij}	: i ve j sayılarına karşılık gelen kapılara ait S-parametresi
v	: Dalganın hızı

- w : Radyan (frekans)
- WI-FI : Kablosuz Bağlantı Alanı
- Z : Empedans
- Z_0 : Karakteristik iç direnç
- $^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
- π : Pi sayısı (3,14159...)
- χ_e : Malzemenin elektrik duyarlılığı
- χ_m : Ortamın manyetik duyarlılığı
- ϵ : Dielektrik sabiti
- ϵ_0 : Vakumun dielektrik sabiti
- ϵ_r : Bağlı dielektrik sabiti
- ϵ'_r : Dielektrik sabiti reel kısmı
- ϵ''_r : Dielektrik sabiti sanal kısmı
- $\tan \delta$: Kayıp tanjant
- μ_0 : Vakumun manyetik geçirgenlik sabiti
- μ_r : Ortamın bağlı manyetik geçirgenlik sabiti
- λ : Dalga boyu
- Γ : Yansıma katsayısı
- ω : Açısal hız
- μ : Mikron (10^{-6})
- η_0 : Boş uzayın esas empedansı
- η : Ortamın esas empedansı

KISALTMALAR

- CST : Computer Simulation Technology (Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi)
- EMUMAM : Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel Ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi
- LCR Meter : Inductance-Capacitance-Resistance Meter (Endüktans, Kapasitans, Direnç Ölçüm Aleti)
- PCB : Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)
- PTFE : Polytetrafluoroethylene Malzemesi
- FR4 : Dokunmuş Camyünü Ve Epoksi
- TRL : Thru, Reflect, Line Calibration (Direkt, Yansıma, İletim Hattı Kalibrasyon)
- MATLAB : Çok Paradigmalı Sayısal Hesaplama Yazılımı
- VNA : Vektör Network Analizör
- X-band : Elektromanyetik Spektrumun Mikrodalga Radyo Bölgenin Segmenti (8- 12 GHz)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Maddelerin kompleks dielektrik özelliklerinin ölçülmesi, madde bilimi, askeri uygulamalar, haberleşme sistemleri, mikrodalga devre tasarımı, radar sistemleri, biyomedikal araştırma, endüstriyel üretim vb. alanlarda git gide büyük bir önem kazanmıştır. Bu araştırma ve geliştirme alanları, malzemelerin ölçülmüş elektrik ve manyetik özelliklerini kullanmaktadırlar. Malzemelerin dielektrik özellikleri elektromanyetik dalgaların frekanslarına göre farklılık gösterebilirler. Bu farklılıklar malzemelerin farklı alanlarda kullanımına olanak sağlar [1–10].

Bitki örtüsü dünyanın büyük bir kısmını kaplamaktadır. Bu bitki örtüsünün radyo frekanslarındaki dielektrik özellikleri radar sistemleri üzerinde büyük bir etki oluşturmaktadır. Ayrıca bitki örtüsünün dielektrik özelliklerinin iyi anlaşılması çok önemlidir. Çünkü bu özellikler dünya kaynakları görüntüleme, yönetim ve uzaktan algılama, sensör tasarımı için çok yararlı verilerdir. Bugüne kadar bitki örtüsünü oluşturan bütün bitkilerin dielektrik özellikleri hesaplanmamıştır [3,9].

Günlük yaşantımızda cep telefonu ve modem sinyallerinin bulunmadığı ortam neredeyse kalmamıştır. Günümüzdeki cep telefonları, kullanılan teknolojiye göre farklı frekanslarda elektromanyetik dalgaları kullanarak iletişim gerçekleştirmektedir. 2G teknolojisi 900 MHz ile 1800 MHz frekanslarını kullanmakta olup 3G ve hayatımıza yeni giren 4.5G teknolojisi 2100 MHz ile 2600 MHz frekanslarını kullanan elektromanyetik dalgalar ile haberleşmeyi gerçekleştirmektedir. WI-FI, yani internet modemimiz ise 2400 MHz frekansını kullanmaktadır [11].

Dünyanın en gelişmiş ülkelerinden birisi olan Japonya’da meydana gelen Fukuşima-Daiçi nükleer santralindeki reaktörlerde oluşan patlamalar sadece bölge halkının

değil bütün dünyadaki insanları etki altında bırakmıştır. İnsanların radyasyon ve elektromanyetik dalgalar üzerinde hassas davranmaya başlamasına ve uzmanların radyasyon ve elektromanyetik dalgaların etkilerinden korunma yöntemleri üzerinde çalışmasına neden olmuştur. Kaktüs bitkisinin nükleer santraller etrafında görülmesinden dolayı duymayan kalmamıştır ve kaktüs bitkisinin satışlarında patlama yaşanmasına ve günlük yaşantımızda ev, iş ortamlarında sık sık görmemize sebep olmuştur [12].

Bu tez kapsamında daha önce bilimsel çalışma yapılmayan kaktüs bitkisinin bir türü olan Opuntia bitkisinin 2G, 3G, 4.5G ve WI-FI frekanslarındaki dielektrik geçirgenliğinin hesaplanması ve modellenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu yapılan çalışmaya göre günlük hayatımızda sıklıkla karşılaştığımız elektromanyetik dalgalar üzerinde etkisini araştırılmıştır. Ayrıca Kaktüs bitkisinin nem oranlarına göre dielektrik sabitinin değişimi incelenmiş ve CST programını kullanılarak bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır. Bu tez çalışması sonucunda endüstriyel bir ürün çıkarılmamış olup ölçüm yöntemi hazırlanarak kaktüs bitkisinin 1700 MHz ile 2600 MHz arası geniş bantlı dielektrik özellikleri hesaplanarak diğer bilimsel çalışmalarda ya da endüstriyel çalışmalarda kullanılması için literatüre veri kazandırılmıştır. Bitkilerin dielektrik özellikleri hakkında günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bazılarında yöntem olarak bazılarında ise bilgi mahiyetinde yararlanılmıştır. Referans olarak faydalanılan çalışmaların bazılarında ait özetler literatürde sunulmuştur.

1.1. LİTERATÜR TARAMASI

Shrestha ve arkadaşları (2007) Kuzey Amerika'da yetiştirilen yonca küpleri ve topraklarının 22 °C oda sıcaklığında, %12-%78 nem oranları arasında ve 300 MHz ile 18 GHz frekansları arasında açık uçlu koaksiyel prob tekniğini kullanarak dielektrik özelliklerini ölçmüştür. Ölçülen yonca küpleri ve toprakları, Kuzey Amerika'da 15 milyon doların üzerinde değere sahiptir. Ne yazık ki çok miktarda yetişen bu ürünlerin verimsiz ilkel kurutma teknikleri, yavaş nem ölçüm yöntemleri ve yıkıcı ayıklama uygulamaları nedeniyle kaybedilmektedir. Gelişen uzaktan keşif ve analiz yöntemleriyle mikrodalga frekanslarında ürünlerin dielektrik özellikleri

belirlenerek sıcaklık, yoğunluk ve nem oranlarını hesaplamak üzere çalışmalar yapmışlardır [13].

Wee ve arkadaşları (2009) tarımsal kalıntıların mikrodalga frekans aralıklarındaki dielektrik özelliklerin hesaplanması üzerine çalışmalar yapmıştır. Buradaki amaçları (PCB) baskı devre kartında kullanılan FR4 malzemesinin yerini alabilecek bir malzeme geliştirebilmektir. Bu çalışmalarında pirinç kabuğu, kenaf ve pirinç samanı gibi maddelerin dielektrik özelliklerini 2.2 GHz ile 3.3 GHz frekansları arasında boş uzay ölçüm tekniğini kullanarak hesaplamışlardır. Malzemeler küçük olduğundan dolayı 2 değişik yapıştırıcı kullanmış bu yapıştırıcılarında dielektrik özelliğine etkisini incelemişlerdir [14].

Oguchi ve arkadaşları (2009) mikrodalga frekanslarında çalışan radar sistemlerinde volkanik patlama felaketlerinin önceden keşif ve analizi belirlenmesi için volkanik külün dielektrik özelliklerinin hesaplanması konusunda çalışmalar yapmışlardır. Bunun için Japonya'nın kuzeyinde ve güneyinde bulunan 5 volkanik kül üzerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde 3 GHz ile 13 GHz frekans arasında 5 volkanik kül koaksiyel hat kullanılarak dielektrik özellikleri hesaplanmış ve birbirleri arasında kıyaslama yapılmıştır [9].

Paz ve arkadaşları (2011) talaşın geniş bantlı frekanslarda dielektrik özelliklerinin hesaplamasını gerçekleştirmişlerdir. Maddelerin dielektrik özelliklerinin bilinmesi, geliştirilmesi için önemli, nem ve tuz içeriği gibi fiziksel özelliklerin belirlenmesi, fiyatlandırma, kalite kontrol ve enerji dönüşüm sürecinin kontrolü için önemlidir. Ölçümlerinde açık uçlu koaksiyel prob kullanmışlardır. Talaş'ın %13 ile %45 nem oranlarında ve 0.5 GHz ile 15 GHz frekanslar arasında ölçüm işlemini gerçekleştirmişlerdir [15].

Baum ve arkadaşları (2011) bu zamana kadar yapılan volkanik kül dielektrik özelliklerinin radar sistemleri üzerinden keşif, analiz ve uzaktan kontrol etmek için yapılan çalışmaları takip etmişlerdir. Yapılan çalışmaları orman yangınları olan bölgelerinde yangını, keşif, analiz ve uzaktan kontrol etmek için Güneydoğu Avustralya bölgelerinde orman külü üzerinde dielektrik hesaplamalar

gerçekleştirmişlerdir. Ölçümlerini Okaliptüs, Meşe, Bracken Fern, Saz ve Servi üzerinde 22.8 °C oda sıcaklığında, 8 GHz ile 12 GHz arasında ve dalga kılavuzu ölçüm tekniğini kullanarak gerçekleştirmişlerdir [3].

Şeker ve arkadaşı (2005), maddelerin dielektrik özelliklerinin 100 GHz frekansına kadar frekansa bağlı modellenmesinin yapılabilmesi için yeni yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, yaklaşık elektrik parametreleri kullanılarak geniş bantlı modelleme yapmışlardır. İnsan uzuvları, su, toprak ve bitkiler için hesaplamalar yaparak en uygun değerleri bulmuşlardır. Sonuçları da literatürdeki mevcut bilgilerle karşılaştırarak yöntemin doğruluğunu ispatladılar [16].

Sarabandi ve arkadaşı (1988), ince tabaka maddelerin dielektrik özelliklerinin ölçülmesi konusunda çalışmalar yaparak yeni bir ölçüm tekniği gerçekleştirmişlerdir. Pratik teknik, bitki yapraklarının dielektrik özelliklerinin ölçülmesiyle benzerlik göstermektedir. Malzemeyi dalga kılavuzun içine boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilerek yansıma katsayısının (S_{11}) genlik ve faz değerlerini network analizör sayesinde ölçmüşlerdir. Dielektrik sabitin açık ifadesini yansıma katsayısını kullanarak hesaplamışlardır. Yapılan bu hesaplama 1.5 GHz frekans altındaki geçerli oluyordu. Geliştirdikleri teknik ile daha yüksek frekanslarda dielektrik özelliklerin hesaplanabilmesi için yüksek kademeli yaklaşımlar gerçekleştirdiler. 8 GHz ile 12 GHz frekansları arasında test ettikleri ölçümlerle 0.5 mm ve daha ince malzemelerde (bitki yaprakları, teflon vb.) doğru sonuç alındığını hesaplamışlardır [17].

Trabelsi ve arkadaşları (2006) buğday, mısır ve soya fasulyelerinin dielektrik özelliklerini boş uzay ölçüm tekniğinden elde edilen 2 GHz ile 13 GHz frekansları arasında iletim katsayısını (S_{21}) kullanarak hesaplamışlardır. Kütleli yoğunluk, nem ve sıcaklığa göre değişen dielektrik sabitini incelemişlerdir. Dielektrik sabiti ve kayıp faktörün frekansla birlikte azaldığını ve kütleli yoğunluk, nem ve sıcaklıkla doğrusal olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Dielektrik özelliklerin hesaplanmasında 3 farklı yaklaşım metodunu kullanmışlardır. Dielektrik sabiti ölçülen malzemelerin yoğunluk ve nem oranları birbirlerine göre farklılık göstermekteydi. Fiziksel özelliklerin, faz kaymasının ve kaynaklardan oluşan zayıflama hatalarının ölçüm sistemimin doğruluğuna etkisini incelemişlerdir [18].

Chuah ve arkadaşları (1995) tropikal ağaç olan kauçuk ve yağ palmyesi yapraklarının değişik nem oranlarına göre dalga kılavuzu yöntemini kullanarak X-bant frekansında dielektrik sabitini hesaplamışlardır. Ölçümleri ince tabaka tekniğini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ulaby ve El-Rayes'in (1987) ikili dağılım modeli ve Fung ve Fung'un (1977) temel dielektrik teorisini kullanarak hesaplanan teorik değerleri, deneysel sonuçla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak Ulaby ve El-Rayes'in geliştirmiş olduğu modelinden daha doğru sonuçlar alındığını gözlemlemişlerdir [19].

Borel ve arkadaşı (1990) milimetrik dalga boyunda yaprak döken ağaçların geri saçılım ölçümlerini basit saçılım modeliyle açıklamaya çalıştılar. Radar sistemlerinde yeşil alanlardan gelen saçılımların anlaşılması uzaktan algılama ve radar uygulamalarında büyük bir öneme sahiptir. Planophile erectophile ağacın yaprağı laboratuvar ortamında ve gerçek ortamda radar kesit alanı hesabında kullanmışlardır. Sonuç olarak da planophile erectophile ağacın 215 GHz'de geri saçılım değerinin hesaplanarak diğer ağaçlardan ayırt edilebileceğini kanıtlamışlardır [20].

Hardin ve arkadaşları (2012), pekin cevzinin hasat verimini uzaktan kontrol edebilmek için mikrodalga saçılım modeli üzerinde çalışma yapmışlardır. Güncel kontrol yaklaşım metotları doğru sonuç vermemekle birlikte zaman kaybına neden olmaktadır. Uydulardan elde edilen mikrodalga görüntüleme verilerinin meyve bahçesi ekin durumu eğilimlerin belirlenebiliyor ama ekinlerin hassas verimini algılamak için yetersiz kalıyor. Bundan dolayı 1 GHz ile 18 GHz arasında değişik kütle yoğunluğu, nem, ceviz miktarları göz önünde bulundurularak network analizör kullanılarak iletim ve yansıma katsayıları hesaplanmıştır. Laboratuvar ortamında hesaplamalar gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçları kullanarak ve analizler yöntemleriyle pekin cevzinin verim tahmin eden metot elde edilmiştir. Bu metot başka cins ekinler için de uygulanabilir [21].

Venkatesh ve arkadaşı (2005) dielektrik ölçüm metotlarının karşılaştırılması üzerine çalışmalar yapmıştır. Çeşitli tarımsal ürünlerin, çevrenin ve ürün üretim aşamalarının uzaktan kontrol, algılama ve otomasyon sistemlerinin geliştirilebilmesi için malzemelerin dielektrik özelliklerin bilinmesinin önemini vurgulamıştır [22].

Yörük (2014) tez çalışmasında, haberleşme ve uzaktan algılama sistemlerinin çalışmasında, malzemelerin dielektrik özelliklerinin bilinmesi temel bir gereklilik olduğundan dolayı bitki örtüsünün temel bileşeni olan yaprakların dielektrik özelliklerini hesaplamak için çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarında manolya ve devetabanı bitkisinin yapraklarından kesitler alarak 7 GHz ile 9.2 GHz frekanslar arasında dalga kılavuzu ölçüm tekniğini kullanarak ölçüm işlemini yapmıştır. Ayrıca yaprakların içerisindeki su oranların dielektrik özelliğini nasıl etkilediğini deneysel olarak bulmuşlardır [23].

Kraszewski ve arkadaşı (1990) mısır ve buğday tahıl ürünlerinin dielektrik özelliklerin hesaplanması konusunda çalışmalar yapmışlardır. Boş uzay ölçüm sisteminin iletim katsayılarını kullanarak 4.8 GHz ile 9.4 GHz frekans arasındaki değişik tahıl oranları ve farklı nem oranlarına göre ölçümler yapmışlardır. Ölçüm hata oranlarını minimuma düşürmek için uygun ışımaya yapan anten ve frekans seçimi ile başarmışlardır. Boş uzay ölçüm sisteminin homojen olmayan malzemeler için avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir [24].

BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİLER

2.1. MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Malzemeler genellikle malzemeyi oluşturan parametreler tarafından tanımlanmıştır. Malzeme ölçümlerinin en önemli amacı, malzemelerin dielektrik sabiti ve/veya manyetik geçirgenliğinin hesaplanmasıdır. Bu değerler malzemeleri oluşturan parametreler olarak bilinirler. Bu zamana kadar malzemeyi oluşturan parametre değerlerini direkt olarak ölçmeye yarayan metot bulunamamıştır. Değişik sayısal tekrarlama teknikleriyle bu değerler hesaplanabilmektedirler. Bu tekniklerin kendilerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Malzemeleri oluşturan parametrelerin değerleri hesaplandığında, malzemenin üzerine gelen elektromanyetik dalgaya nasıl bir tepki göstereceği hakkında doğru tahmin etmemize imkân vermektedir. Bu bilgi mühendislik uygulamaları için çok önemlidir. Özellikle elektromanyetik saçılım uygulamalarında, mükemmel iletken tabakaların üzerine katman oluşturulması konusunda önemli bir yere sahiptir [25,26].

2.1.1. Dielektrik Malzemeler

Bir malzemeyi parçaladığımızda negatif yük $-Q$ (elektron bulutu) ile pozitif yükü $+Q$ (atom çekirdeği) içinde bulunduran atom yapısı karşımıza çıkacaktır. Atom yapısında bulunan negatif ve pozitif yüklerin birbirine eşit olması atomu nötr yapacaktır. Bir elektrik alan atom üzerine uygulandığında, negatif yük denge durumuna göre Şekil 2.1'de gösterildiği gibi yer değiştirecektir. Bu aksiyon sonucunda elektriksel kutuplaşma görülecektir [26].



Şekil 2.1. Kutupsuz atom veya molekülün kutuplaşması.

Net kutuplaşma yoğunluğu \vec{p} ,

$$\vec{p} = q\vec{r} \quad (2.1)$$

Şekil 2.1'de gösterilen $-q$ yükü ile q arasında uzaklık vektörü \vec{r} , Eğer N tane kutuplaşma hacimde bulunursa, toplam kutuplaşma momenti ise

$$q_1\vec{r}_1 + q_2\vec{r}_2 + \dots + q_N\vec{r}_N = \sum_{k=1}^N q_k\vec{r}_k \quad (2.2)$$

Kutuplaşma momentin yoğunluğu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\vec{P} = \lim_{\Delta v} \frac{\sum_{k=1}^N q_k\vec{r}_k}{\Delta v} \quad (2.3)$$

Dielektrik malzemenin üzerindeki elektrik alanın önemli etkisi, kutuplaşma momentin elektrik alan yönünde oluşturmasıdır. Dielektrik malzemeye bir elektrik alan (\vec{E}) uygulandığında, elektrik akı yoğunluğu (\vec{D}) ile elektrik alan ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P} \quad (2.4)$$

Eğer malzeme, lineer ve izotropik ise polarizasyon, uygulanan bir elektrik alanı (\vec{E}) ile orantılı ve aynı yöndedir. Böylece,

$$\vec{P} = \chi_e \epsilon_0 \vec{E} \quad (2.5)$$

Malzemenin elektrik duyarlılığı χ_e , önceki denklemler kullanılarak \vec{D} aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.6)$$

ve

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2.7)$$

Malzemenin bağıl dielektrik sabiti ϵ_r , ϵ_0 ise boş uzayın geçirgenliği ifade eder.

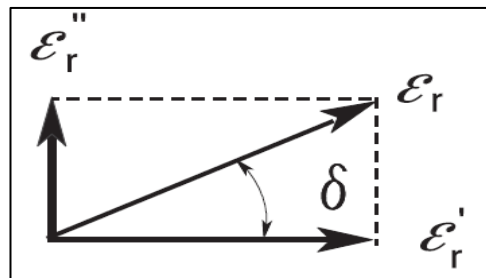
$$\epsilon_r = 1 + \chi_e = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.8)$$

Dielektrik sabiti genel olarak karmaşık sayı formatındadır.

$$\epsilon_r = \epsilon_r' + j\epsilon_r'' \quad (2.9)$$

Dielektrik sabitinin reel kısmı dışardan uygulanan elektrik alanının malzeme üzerinde depolanan enerji miktarı olarak ϵ_r' ve sanal kısmı ϵ_r'' ise malzemenin kayıplı ya da enerji tüketme ölçüsüdür ve kayıp faktörü ile tanımlanmıştır.

Kayıp tanjant ya da $\tan \delta$, dielektrik sabitin imajiner kısmının reel kısmına oranını ifade eder. Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kayıp tanjant.

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \quad (2.10)$$

Boş uzayın geçirgenliği,

$$\epsilon_0 \approx 8.854 * 10^{-12} \frac{F}{m} \quad (2.11)$$

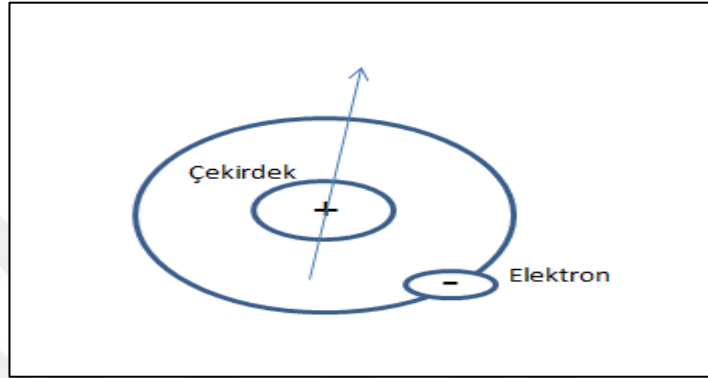
Aşağıda yer alan Çizelge 2.1’de çok bilinen bazı dielektrik maddelere ait 2.45 GHz frekansında ölçülmüş dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri paylaşılmıştır [8].

Çizelge 2.1. Malzemelerin oda sıcaklığında ve 2.45 GHz frekansındaki dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri [8].

Maddenin adı	ϵ_r'	$\tan \delta$
Hava	1.0006	-
Biftek(Donmuş)	4.4	0.12
Kan	58	0.27
Tereyağı(Tuzlu)	4.6	0.134
Tereyağı(Tuzsuz)	2.9	0.1552
Beton(Kuru)	4.5	0.0111
Cam	4 - 7	1×10^{-3}
Ayçiçek Yağı	2.64	0.0682
Toprak(Kuru)	2.55	0.0062
Yumurtanın Beyazı	35	0.5
Yağ	5.5	0.21
Seramik	6	0.005
Ciğer	32	0.3
Kas	49	0.33
Naylon	2.4	0.0083
Zeytin Yağı	2.46	0.061
Kâğıt	3-4	0.0125 - 0.0333
Teflon	2.1	0.0003

2.1.2. Manyetik Malzemeler

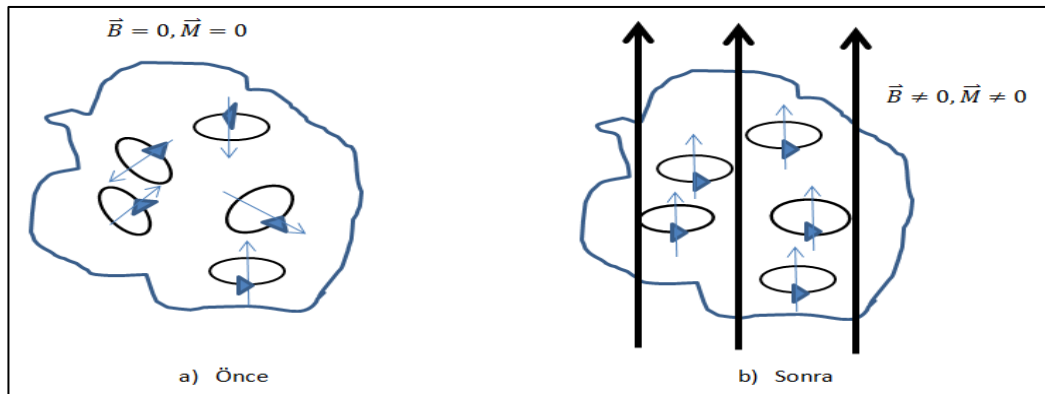
Manyetik geçirgenlik sabiti (μ_r), bir malzemenin manyetik alan etkisinde kalması durumunda edinmiş olduğu mıknatıslık özelliğinin derecesidir. Kutuplaşmaya bağlı olarak elektronlar çekirdek etrafında dönerler. Bu çekirdek etrafında dönme hareketi manyetik kutuplaşmayı Şekil 2.3'te gösterildiği gibi oluşturur.



Şekil 2.3. Elektronların dönme hareketi.

Dışarıdan manyetik bir alan uygulanmadığında, birçok malzemede elektronlar çekirdek etrafında rastgele döndükleri için manyetik momentin (\vec{m}) toplamı sıfırdır. Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında ise manyetik moment mıknatıslanma yoğunluğuna yol açar [25].

$$\vec{M} = \frac{\lim_{\Delta v \rightarrow 0} \sum_{k=1}^N \vec{m}_k}{\Delta v} \quad (2.12)$$



Şekil 2.4. Manyetik alan uygulanmadan a) önce ve b) sonra manyetik kutuplaşma.

Elektrik akı yoğunluğuna (\vec{D}) benzer şekilde, mıknatıslanma yoğunluğu tanımlanabilir.

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \quad (2.13)$$

Ya da

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) \quad (2.14)$$

Üstteki denklem bütün malzemeler için lineer olmayabilir. Lineer olan malzemeler için \vec{M} lineer olarak \vec{H} 'a bağlıdır.

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \quad (2.15)$$

Ortamın manyetik duyarlılığı χ_m , üstteki denklemleri kullanarak,

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} \quad (2.16)$$

Ya da

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (2.17)$$

ve

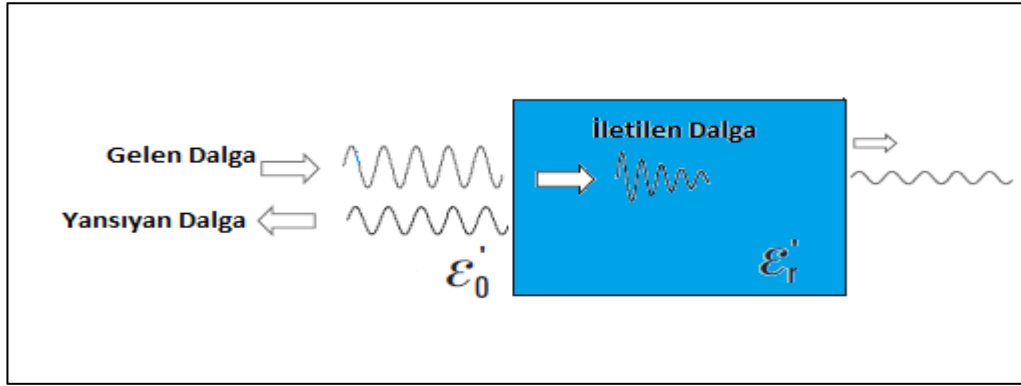
$$\mu_r = 1 + \chi_m = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2.18)$$

Malzemenin manyetik geçirgenliği μ sabiti ile ifade edilir. Birimi H/m'dir. Birimsiz olan μ_r ise verilen malzemenin manyetik geçirgenliğinin boş uzaya oranıdır ve malzemenin bağıl geçirgenliği olarak ifade edilir.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m boş alanın manyetik geçirgenliği} \quad (2.19)$$

2.2. ELEKTROMANYETİK DALGANIN YAYILMASI

Zamanla değişen durumlarda, elektrik alan ve manyetik alan birlikte hareket eder. Elektromanyetik dalga boş uzayda (havada) ışık hızıyla ($c = 3 \times 10^8 m/sn$) ya da bir malzeme içerisinde daha yavaş hızla yayılır. Bu elektromanyetik dalganın dalga boyu frekansına göre değişir ($c = \lambda/f$). Frekans arttıkça dalga boyu azalırken, frekans azaldıkça dalga boyu artar. Dalganın yayılımı ($c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$) birçok açıdan bir malzemenin elektrik geçirgenliği (ϵ_r) ve manyetik geçirgenliğine (μ_r) bağlıdır. Şekil 2.5'te boş bir uzaya düzgün yüzeyle bir malzeme koyulmuştur. Bu malzemenin yüzeyine bir elektromanyetik dalga geldiğinde, dalganın bir kısmı yüzeyinden yansır geri döner ve diğer kısmı ise malzemenin içerisine girer. Yansımanın nedeni ise empedans uyumsuzluğu yani boş uzayın empedansın malzemenin empedansından farklı olmasıdır. Malzemenin içerisinde, dalganın yayılma hızı ışık hızından daha yavaştır ve dalga boyu ise yukarıda verilen denklem doğrultusunda boş uzaydaki dalga boyundan daha küçüktür. Malzemeler her zaman bir miktar kayıplı yapıda olduğundan dolayı içindeki elektromanyetik dalganın zayıflamasına ve girişim yapmasına neden olacaktır [26].



Şekil 2.5. Malzemeye gelen, yansıyan ve iletilen dalga.

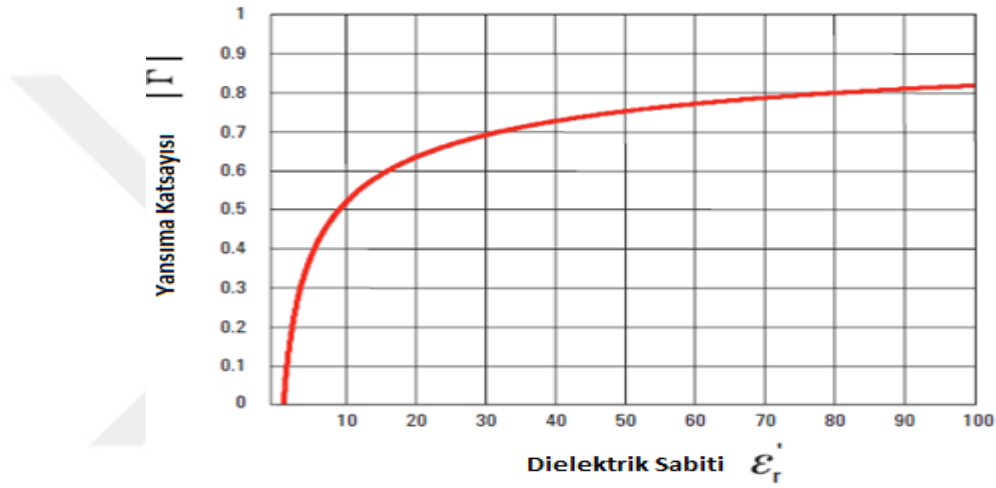
Boş uzayın esas empedansı (η_0) aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\eta_0 = Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \quad (2.20)$$

Malzemenin empedansı (η), dalğanın hızı (v) ve dalga boyu (λ_d) aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\eta = Z = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r'}} \quad \lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r'}} \quad v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r'}} \quad (2.21)$$

Şekil 2.6'da dielektrik değeri bilinen malzemelerin değışimine göre yansıma katsayıları gösterilmiştir.



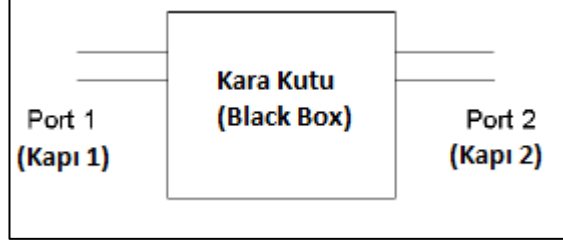
Şekil 2.6. Farklı dielektrik sabitlerine göre yansıma katsayıları [27].

2.3. SAÇILMA PARAMETRELERİ (S-PARAMETRELERİ)

Saçılma parametrelerin tanımı ilk defa Vitold Belevitch'in 1945 tarihli tezinde yer buldu. Elektronik devreleri sınırlı şekilde inceleyen Belevitch'in çalışmasında kullandığı isim, dağılım (repartition) matrisiydi. Saçılma matrisi terimi ise 1947 yılında, savaş döneminde, radarlar üzerine çalışan fizikçi mühendis Robert Henry Dicke tarafından, kendinden önceki yayınlardan bağımsız olarak ortaya kondu [28,29].

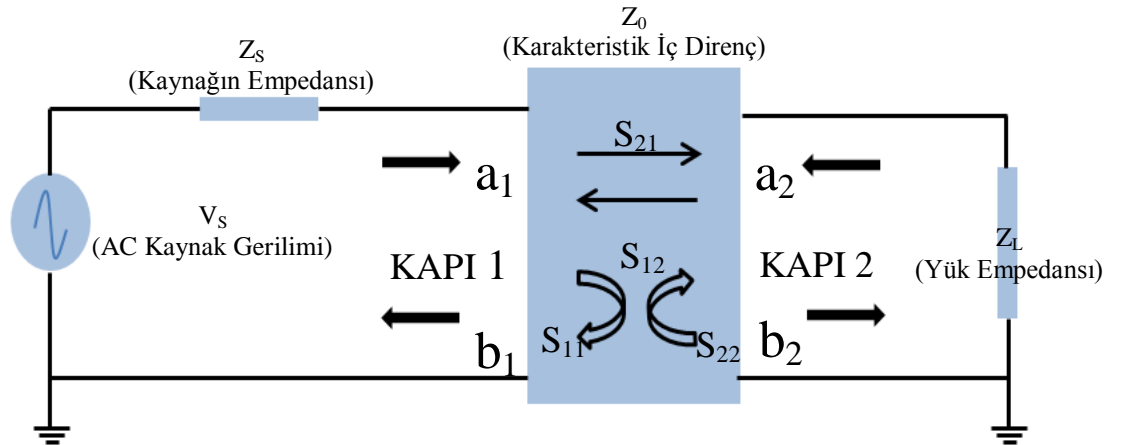
Saçılma veya S-parametreleri elektrik mühendisliği, elektronik mühendisliği, haberleşme sistemleri ve özellikle mikrodalga mühendisliğinde kullanılır. S-parametreleri Şekil 2.7'de gösterilen kara kutu olarak devreyi ifade etmek için

kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile kara kutunun davranışı içindeki bileşenler hakkında hiç bilgi sahibi olmadan elde edilebilir. Bu kara kutu herhangi bir mikrodalga devre elemanı, direnç, iletim hattı, entegre devre, dielektrik malzeme vb. içeriyor olabilir [30].



Şekil 2.7. Kara kutu.

Yüksek frekanslarda gerilim ve akımları devreler için tanımlamak zordur. Mikrodalga frekanslarda gerilim ve akımları direkt ölçmek pratikte önemlidir. Eşdeğer gerilim ve akımlarla ilgili benzer amaçlı parametreler yüksek frekanslarda bir seviyeye kadar tanımlanabilir. Bundan dolayı elektriksel devrenin giriş ve çıkış terminalleri arasındaki ilişki saçılma parametreleri ile ifade edilir. S- parametreleri frekansla değişir, hem büyüklük hem de faz bilgisi içerebilir ve kompleks yapıdadır. Kapalı kutunun N tane kapısı varsa bu devre N^2 tane S parametresi ile ifade edilir. Bu da devrenin N boyutlu kare matrisi olduğu anlamına gelir. Devredeki kapı terimi ise elektriksel işaretlerin devreye girdiği ya da çıktığı noktaları ifade etmektedir [27]. Şekil 2.8'deki 2 portlu devre şematiği gösterilmektedir.



Şekil 2.8. 2 portlu devre şematiği.

Bu devrenin S- parametreleri 2.22'deki gibi çıkarılır.

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.22)$$

Denklem olarak S-parametreleri ifade edilirse,

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \\ b_2 &= S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \end{aligned} \quad (2.23)$$

S-parametreleri matris formda aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METODLAR

3.1. KAKTÜS BİTKİSİ

Kaktüs, cins adı olmamasına rağmen, kaktüsgiller familyasını oluşturan gövdeleri etli, yassılaştırmış ve sulu olan, yaprakları diken şeklini almış bütün çiçekli bitkilere verilen ortak addır. Kaktüsler çok yağış ve su istemeyen bitkilerdir. Genellikle çöllerde ve sıcak iklimlerde yaygındır. Doğada yaklaşık 1800 adet türü bulunmaktadır. Kökleri çok uzun ve kalındır. Bu özellikleri ve yapraklarının diken şeklinde olması ve büyüklüklerine göre onları diğer bitkilerden ayırır. Kaktüslerin eni ve boyu iyi beslendiği takdirde oldukça uzun ve kalındır. Bazı kaktüslerin dikenleri zehirli olabileceği gibi, her şekilde deriye battığında ince dikenleri yüzünden çok can acıtır ve çıkarılmaları zordur. En çok bilinen türleri ise Opuntia ve Peyolt türüdür. Opuntia, Şekil 3.1'de gösterilen ve meyvesi olan tek kaktüs türüdür. Peyolt ise uzun sürelerden beridir ilaç sektöründe kullanılmaktadır [31].

Türkçe'de İngilizce 'deki prickly pears (dikenli armutlar) adına benzer şekilde topluca dikenli incirler adı ile anılan türleri içeren Opuntia ve İspanyolcada cholla ortak adı ile anılan türleri içeren Cylindropuntia alt cinslerine ayrılan bu cinsin tipik türü, Türkçede "Eşek inciri", "Hint inciri", "Frenk inciri", "dikenli incir" ya da halk ağzında "kaynana dili" olarak anılan Opuntia'dır. Dikenli incirler, yassı ve yuvarlak bölümlerin eklenerek oluşturduğu gövdelere sahiptir. Büyük çiçekleri baharda ya da yaz başında açar. Olgunlaşmadan önce yeşil olan meyveleri, olgunlaştığında erguvani renge dönüşür ve yenilebilir. Gövdesi yaşlandıkça olgunlaşır. Bol güneş alan yerlerde fazla suya gereksinim duymadan yetişir. Her türlü toprağa uyum sağlayabilir [32,33].

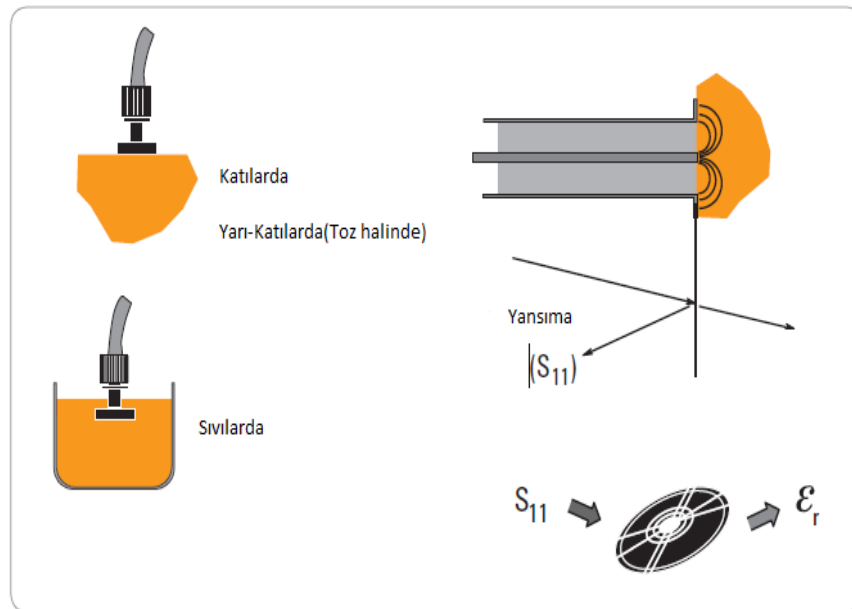


Şekil 3.1. Opuntia.

3.2. DİELEKTRİK GEÇİRGENLİK ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

3.2.1. Koaksiyel Prob (Coaxial Probe)

Açık uçlu koaksiyel prob, iletim hattının kesilmiş bir kısmıdır. Ölçülecek olan malzeme bir sıvı ise prob sıvının içerisine daldırılarak, malzeme katı ya da toz ise malzemenin yüzeyine dokundurularak ölçüm yapılır. Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Koaksiyel prob network analizöre (VNA) bağlanır ve malzemeye sinyal gönderilir ve sadece malzemeden yansıyor geri gelen sinyal ölçülür. Network analizörden alından S_{11} yansıma katsayısıyla malzemenin dielektrik sabiti (ϵ_r) hesaplanır [27].



Şekil 3.2. Koaksiyel prob [27].

Ölçüm özellikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

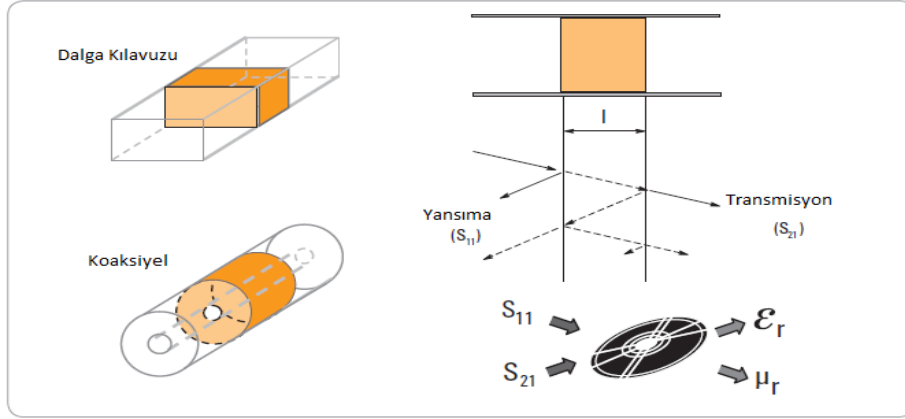
- Geniş bantlı ölçüm yapılabilir.
- Kolay ve malzemenin şeklini değiştirmeden yapılabilir.
- Dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerini belirli doğrulukla bulunabilir.
- Sıvılar ve katılar için en iyi yöntemlerden biridir.

Ölçüm yapılacak malzeme varsayımları aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Yarı sonsuz kalınlık kabul edilecek kadar kalın olması gereklidir.
- Manyetik olmayan malzeme olmalıdır.
- İzotropik ve homojen olmalıdır.
- Düz yüzeyi ve hava boşluğu olmamalıdır.

3.2.2. İletim Hattı (Transmission Line)

İletim hattı modeli, kapatılmış iletim hattının içerisine malzemenin boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmesiyle ölçüm yapılan tekniktir. İletim hattı tekniğinde genellikle dikkörtgen dalga kılavuzu ya da koaksiyel hat kullanılmaktadır. Örnek bir ölçüm sistemi Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Dalga kılavuzu veya koaksiyel hattın içerisine malzeme hava boşluğu kalmayacak şekilde yerleştirilir. Yerleştirilen hat network analizöre bağlanarak yansıma katsayısı (S_{11}) ve iletim katsayısı (S_{21}) hesaplanır. Hesaplanan katsayılardan malzemenin dielektrik (ϵ_r) ve manyetik geçirgenlik sabiti (μ_r) hesaplanır [8].



Şekil 3.3. Dalga kılavuzu ve koaksiyel hat [27].

Ölçüm özellikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Geniş bantlı ölçüm yapılabilir.
- Malzemenin kalınlığına göre kısıtlı kayıp hesabı yapılabilmektedir.
- Manyetik malzemelerin ölçümü yapılabilir.
- İzotrop olmayan malzemeler dalga kılavuzu ile ölçülebilir.

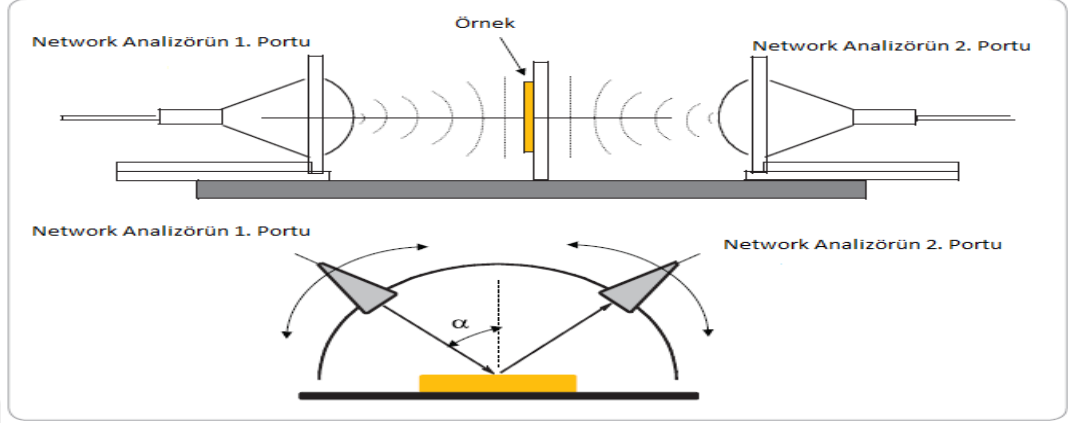
Ölçüm yapılacak malzeme varsayımları aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Malzeme iletim hattı boyutlarında kesilmeli ve hava boşluğu kalmadan yerleştirilmelidir.
- Homojen, pürüzsüz ve düz yüzeyli yapıda olması gereklidir.

3.2.3. Boş Uzay (Free Space)

Boş uzay tekniği, 2 adet horn antenin birbirine yatay ya da belirli bir açıda bakacak şekilde oluşturulmasıyla ölçüm yapılan tekniktir. Şekil 3.4' te yatay düzlemde ölçüm yapılan ve belirli açıda ölçüm yapılan boş uzay tekniği verilmiştir. Horn antenlerin ortasına ölçüm yapılacak malzeme yerleştirilir. Antenler network analizöre bağlanarak yansımaya katsayısı (S_{11}) ve iletim katsayısı (S_{21}) ölçülür. Hesaplanan katsayılarından malzemenin dielektrik (ϵ_r) ve manyetik geçirgenlik sabiti (μ_r) hesaplanır [8]. Belirli bir açıda koyulan iki horn antende yansımaya katsayısı (S_{11})

network analizörden alınarak malzemenin sadece dielektrik (ϵ_r) sabiti hesaplanır [27].



Şekil 3.4. Boş uzay tekniği [27].

Ölçüm özellikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

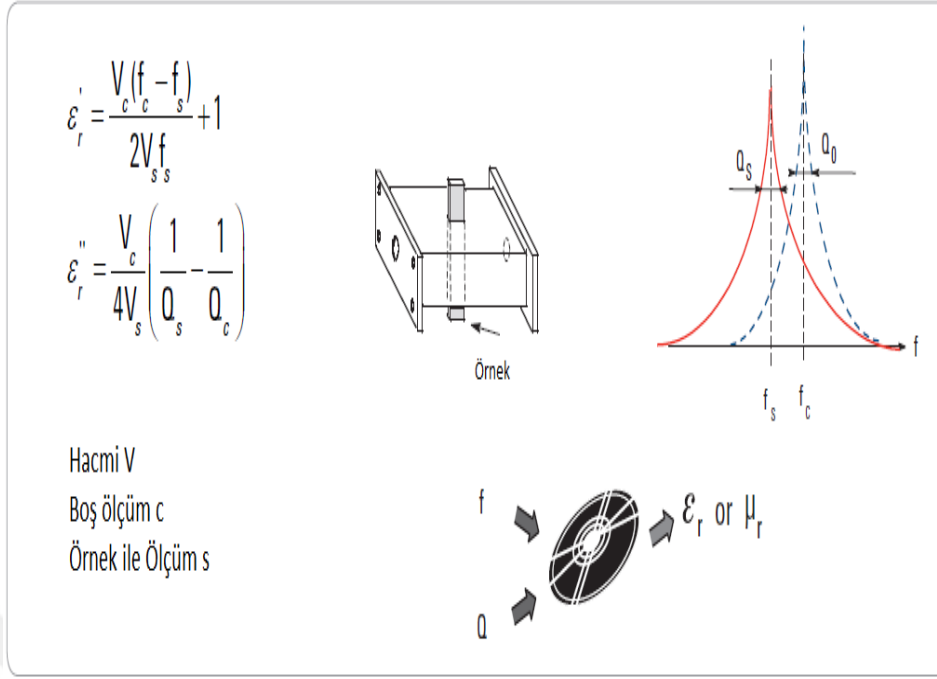
- Malzemeye temas etmeden ve malzemenin şeklini değiştirmeden yapılabilir.
- Yüksek frekanslarda tercih edilir.
- Yüksek sıcaklarda ölçüm yapmaya imkân verir.
- Manyetik malzemelerin ölçümü yapılabilir.
- Anten polarizasyonu izotropik olmayan malzemeleri için değiştirilebilir

Ölçüm yapılacak malzeme varsayımları aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Malzemeler büyük, düz yüzeyle olmalıdır.
- Malzemeler homojen yapıda olmalıdır.

3.2.4. Rezonans Boşluğu (Resonant Cavity)

Malzemenin örnek alınarak rezonans boşluğundan içeri koyulur. İçeri yerleştirilen malzeme boşluğun rezonans frekansını (f) ve kalite faktörüne (Q) etki ediyor. Bu parametreleri kullanarak malzemenin bir frekanstaki kompleks dielektrik sabiti hesaplanır. Şekil 3.5'te rezonans boşluğu ölçüm sistemi gösterilmiştir [27].



Şekil 3.5. Rezonans boşluğu ölçüm sistemi [27].

Ölçüm özellikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Yüksek empedans ortamına uygundur.
- Küçük örnekler ile mümkün makul ölçümler yapılabilir.
- Ölçümler sadece tek bir frekans için ya da bir kaçı için yapılabilir.
- Az kayıplı malzemeler için uygun bir yöntemdir.

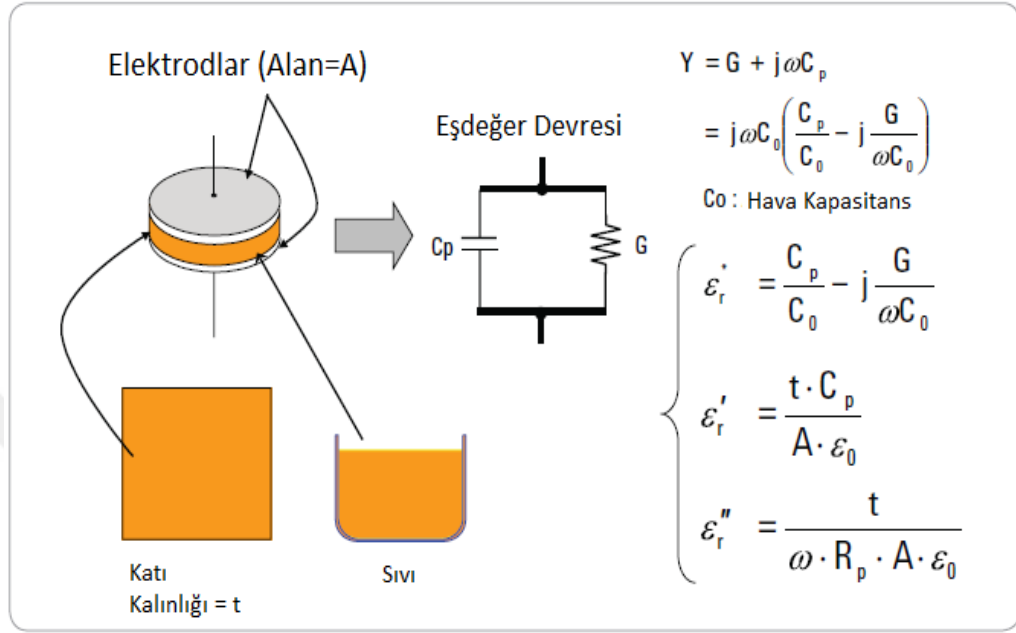
3.2.5. Paralel Plaka (Parallel Plate)

Paralel plaka tekniği, 2 elektrotun arasına sıvı ya da ince bir levha şeklinde katı malzemenin koyulması ile oluşur. Empedans analizör ya da LCR metre ile koyulan malzemenin kapasite değeri hesaplanır. Bu empedans değeriyle birlikte malzemenin dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değeri hesaplanır. Şekil 3.6' da paralel plaka tekniği gösterilmiştir [8].

Ölçüm özellikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Bu metot ince tabakalı katı ve sıvılar için en iyi yöntemdir.

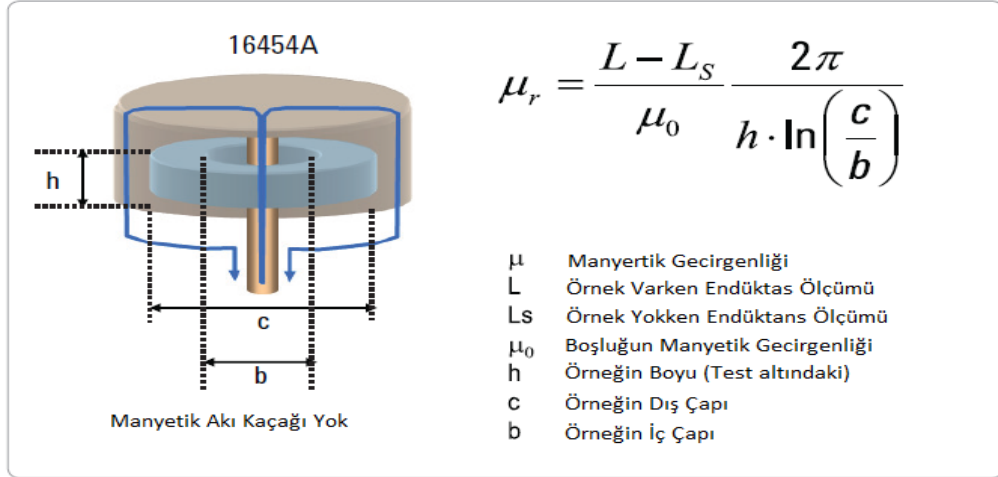
- Düşük frekanslar ölçümleri için tercih edilmelidir.
- Sadece malzemenin dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değeri hesaplanabilir.



Şekil 3.6. Paralel plaka [27].

3.2.6. Endüktans Ölçme Metodu (Inductance Measurement Method)

Malzemenin etrafına kablo sarılır (Toroid bobin sarılımı gibi) ve sarılan kablonun iki ucundan empedans analizör ya da LCR metre kullanarak endüktans ölçümü gerçekleştirilir. Bu endüktans değeriyle birlikte malzemenin manyetik geçirgenlik sabiti değeri hesaplanır. Şekil 3.7' de endüktans ölçme tekniği gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Endüktans ölçme metodu [27].

Ölçüm özellikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Doğru ve basit ölçüm imkânı vermektedir.
- Ölçüm yapılacak malzemenin toroid çekirdeği yapısında olması gerekmektedir.
- Sadece malzemenin manyetik geçirgenlik değeri hesaplanabilir.

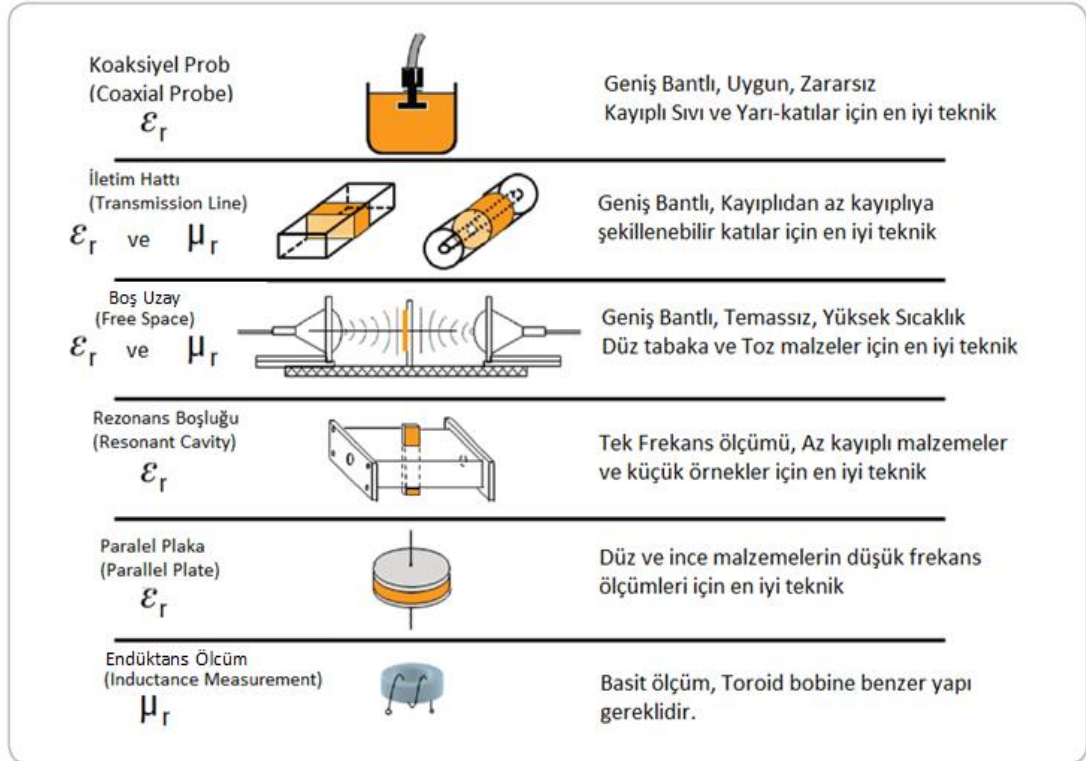
3.2.7. Ölçüm Tekniklerin Karşılaştırılması

En çok kullanılan ölçüm teknikleri Şekil 3.8’de verilmiştir. Ölçüm tekniği seçimi yapılırken aşağıdaki kriterler göz önüne alınmalıdır.

- Frekans aralığı
- ϵ_r , μ_r değerleri
- Ölçüm sistemi doğruluk oranı
- Ölçüm yapılacak malzemenin fiziksel özellikleri
- Temaslı ya da temassız ölçüm
- Sıcaklık
- Maliyet

Kaktüs bitkisinin 1.7-2.6 GHz frekansları arasında geniş bantlı dielektrik sabitini hesaplayabilmek için iletim hattı veya boş uzay ölçüm tekniği tercih edilebilir. Fakat boş uzay ölçüm metodu kullanarak ölçüm yapılacak malzemenin boyu, ölçüm yapılan dalga boyunun 2 katından fazla büyük olması gerekmektedir [1]. Ölçüm yapacağımız frekansların dalga boyu 11.53 cm ile 17.64 cm arasında değişmektedir. Boş uzay metodu ile ölçüm yapılmak istendiğinde kaktüs bitkisinin boyutları 34.28 cm den büyük olması gerekmektedir. Bu kadar büyük kaktüs ülkemizde bulunmamaktadır. Bundan dolayı iletim hattı ölçüm tekniği tercih edilmiştir.

İletim hattı metodunda dalga kılavuzu ve koaksiyel hat kullanılmaktadır. Kaktüs bitkisini iletim hattının içerisine boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Koaksiyel hatta göre malzemenin kesimi zor olacağından dolayı dalga kılavuzu iletim hattı seçilmiştir.



Şekil 3.8. Ölçüm metotların karşılaştırılması [27].

3.3. DİELEKTRİK SABİTİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

S-parametrelerini kullanarak malzemenin dielektrik sabitini ve manyetik geçirgenlik değerini elde etmemize yarayan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin en çok kullanılanları Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hesaplama yöntemleri [8].

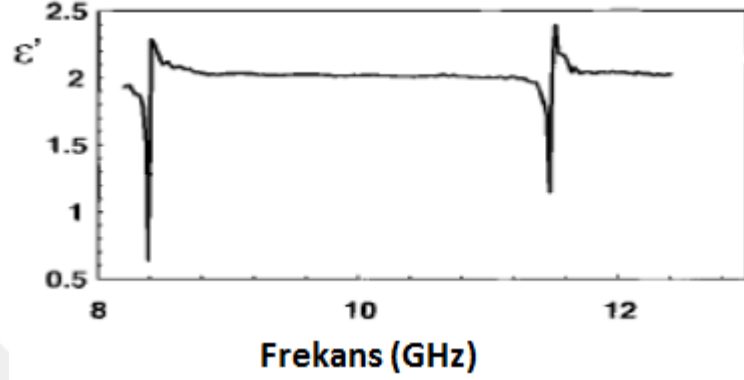
Hesaplama Yöntemleri	Kullanılan S-parametreleri	Hesaplanabilen Değerler
Nicholson-Ross-Weir	$S_{11}, S_{21}, S_{12}, S_{22}$ veya S_{11}, S_{21}	ϵ_r, μ_r
Tekrarlamalı NIST yöntemi (NIST iterative)	$S_{11}, S_{21}, S_{12}, S_{22}$ veya S_{11}, S_{21}	$\epsilon_r, (\mu_r = 1)$
Yeni tekrarsız yöntem (New non-iterative)	$S_{11}, S_{21}, S_{12}, S_{22}$ veya S_{11}, S_{21}	$\epsilon_r, (\mu_r = 1)$
Kısa devre hattı yöntemi (Short circuit line)	S_{11}	ϵ_r

3.3.1. Nicholson-Ross-Weir (NRW) Yöntemi

Bu yöntemde ölçüm yapılan malzemenin S-parametresini kullanarak ϵ_r ve μ_r değerlerin ikisi de elde edilebilir. En çok kullanılan hesaplama yöntemidir. Hesaplama yapılırken ölçüm yapılan malzemenin bütün S-parametreleri ($S_{11}, S_{21}, S_{12}, S_{22}$) veya bir çift değeri (S_{11}, S_{21}) gerekmektedir.

Düşük kayıplı malzemelerin ölçümünde, faza bağlı belirsizliklerden dolayı, ölçüm yapılacak olan frekansın $\lambda/4$ dalga boyunun tam katları malzemenin içerisinde bulunursa belirsiz sonuçlara sebep olmaktadır. Bundan dolayı maksimum malzeme kalınlığı en büyük $\lambda/4$ ile sınırlandırılması ve daha ince malzemelerin tercih edilmesi belirtilmiştir [8].

Polytetrafluoroethylene (PTFE) malzemesinin NRW yöntemini kullanarak 8 GHz ile 12 GHz arasındaki dielektrik sabitini ve $\lambda/4$ katlarındaki yanlış ölçüm sonuçları Şekil 3.9'da görülmektedir [34].



Şekil 3.9. NRW yöntemi kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti [8].

NRW yönteminin avantajları:

- Hızlı ve tekrar gerektirmeyen hesaplamalar.
- Dalga kılavuzu ve koaksiyel hatlar için uygulanabilir.

NRW yöntemin dezavantajları:

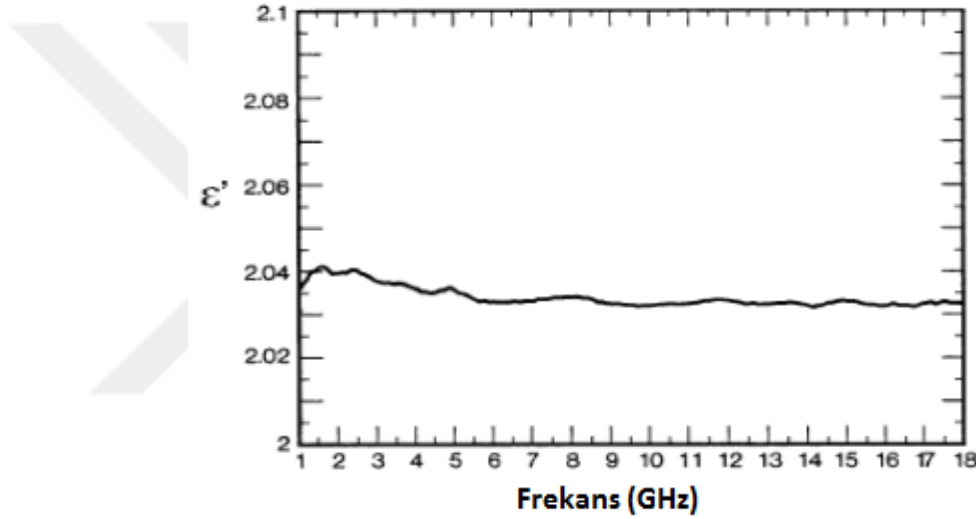
- İnce numuneler kullanılmalıdır.
- Düşük kayıplı malzemeler için uygun değildir.
- Yarım dalga boylarına tekabül eden frekanslarda uyumsuzluk

3.3.2. Tekrarlamalı NIST Yöntemi (NIST Iterative)

Tekrarlamalı NIST yöntemi, NRW yönteminin kök bulma metodunu kullanır. Bu yöntem malzemenin sadece ϵ_r değerini bulmak için uygulanabilir. Yansıma ve iletim katsayılarını hesaplamak için malzemenin S-parametreleri (S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22}) veya bir çift değeri (S_{11} , S_{21}) gerekmektedir.

Hesaplamaya başlamadan önce malzemenin dielektrik sabitine başlangıç değeri tahmini verilir. Bu değer gerçek değere ne kadar yakın olursa metod iyi bir şekilde çalışır. NRW yönteminin aksine tekrarlamalı NIST yönteminde, frekansın $\lambda/4$ dalga boyunun tam katlarında da doğru ölçümler alınabilir. Kalın ve düşük kayıplı malzemelerin karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmak için uygundur [8].

Polytetrafluoroethylene (PTFE) malzemesinin tekrarlamalı NIST yöntemini kullanarak 1 ile 18 GHz arasındaki dielektrik sabiti Şekil 3.10’da gösterilmiştir [8].



Şekil 3.10. Tekrarlamalı NIST yöntemi kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti [8].

Tekrarlamalı NIST yöntemin avantajları:

- Yüksek doğruluk
- İstenilen kalınlıkta malzeme kullanılabilme
- Düşük kayıp ve yüksek kayıp malzemeler için stabil

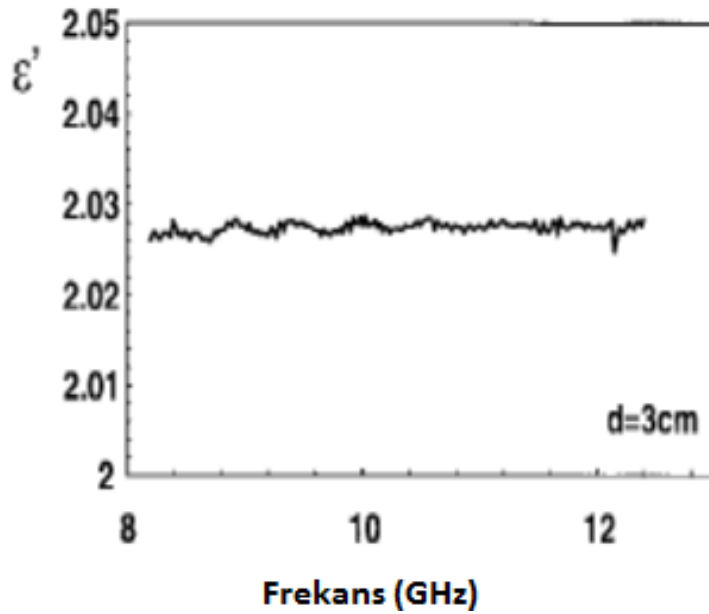
Tekrarlamalı NIST yönteminin dezavantajları:

- Sadece dielektrik sabiti (ϵ_r) için uygulanabilme
- Dielektrik sabiti için başlangıç tahmini gerektirme

3.3.3. Yeni Tekrarsız Yöntem (New Non-Iterative)

Yeni tekrarsız yöntemi, birkaç farklı formül dışında NRW yöntemindeki hesaplamayla oldukça benzerdir. $\mu_r = 1$ durumu için malzemenin dielektrik sabitinin hesaplanması için uygundur. Yansıma ve iletim katsayılarını hesaplamak için malzemenin S-parametreleri (S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22}) veya bir çift değeri (S_{11} , S_{21}) gerekmektedir. Bu yöntemin istenilen malzeme kalınlığı için bütün frekans aralıklarında stabil olması gibi bir avantajı vardır. Bu metodun temeli NRW metodun basitleştirilmiş bir versiyonuna dayanır ve malzemenin yarım dalga boyunun tam katıyla ilgili olan frekanslarda hiç uyuşmazlık görülmez. Hesaplamaya başlamadan önce malzemenin dielektrik sabitine başlangıç değeri tahminine gerek yoktur ve hızlı sonuç verir. Doğruluk oranları tekrarlayan yöntemlerle karşılaştırılabilir. Bu yöntemde NRW yönteminden kısmen farklı formüller kullanılır ve diğer ölçüm yöntemlerine kolayca uygulanabilir, örneğin “micro-strip” ve eş düzlemler hatlar [8,34].

Polytetrafluoroethylene (PTFE) malzemesinin yeni tekrarsız yöntemi kullanarak 1 ile 18 GHz arasında hesaplanmış dielektrik sabitini Şekil 3.11’de verilmiştir [8].



Şekil 3.11. Yeni tekrarsız yöntemi (New non-iterative) kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti [8].

Yeni tekrarsız yöntemin avantajları:

- Yüksek doğruluk
- İstenilen kalınlıkta malzeme kullanılabilme
- Hızlı ve tekrarlama gerektirmeme
- Başlangıç tahmini gerektirmemesi

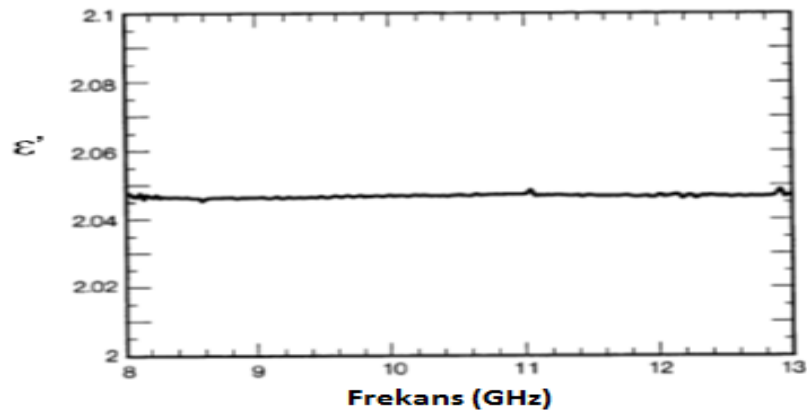
Yeni tekrarsız yöntemin dezavantajları:

- Sadece dielektrik sabiti (ϵ_r) için uygulanabilme

3.3.4. Kısa Devre Hattı Yöntemi (Short Circuit Line)

Kısa devre hattı yöntemi, koaksiyel hat veya dalga kılavuzunun tek port ölçümüdür. Bu yöntem tekrarlamalı NIST yöntemine benzer ve Newton-Raphson sayısal yaklaşım yöntemi kullanılarak tekrarlamalı hesaplama kullanır ve sadece hesaplama dielektrik sabiti için uygundur. Ölçüm yapılan malzemenin yansıma katsayısını hesaplamak için numunenin yalnızca S_{11} parametresi kullanılır. Yöntem doğru bir sonuç elde etmek için iyi bir başlangıç tahmini gerektirir. Bu yöntem ayrıca, doğru ölçümleri alabilmek için numune kalınlığı ve pozisyon bilgisini gerektirmektedir [8].

Polytetrafluoroethylene (PTFE) malzemesinin kısa devre hattı yöntemini kullanarak 1 ile 18 GHz arasındaki dielektrik sabitini Şekil 3.12’de verilmiştir [8].



Şekil 3.12. Kısa devre hattı yöntemi kullanılarak PTFE örneğinin dielektrik sabiti [8].

Kısa devre hattı yönteminin avantajları:

- Doğru dielektrik katsayısı sonuçları
- Yüksek doğruluk
- İstenilen kalınlıkta malzeme kullanılabilme
- Geniş bantlı ölçüm

Kısa devre hattı yönteminin dezavantajları:

- Başlangıç tahmini gerektirmesi
- Doğru malzeme kalınlığı bilgisi gereklidir.
- Tekrarlı olması

3.3.5. Ölçüm Metotlarına Uygun Hesaplama Yöntemleri

Ölçüm yapılacak olan malzemenin özelliklerine göre hangi ölçüm metodunu, hesaplama yöntemini, hesaplama yönteminin hızını ve doğruluk oranının belirlenmesi gerekmektedir. Çizelge 3.2’de malzemelerin özelliklerine göre hangi ölçüm metodunun kullanılabileceği, kullanılan ölçüm metodunun hesaplama yöntemleri ve hesaplamanın hızı ve doğruluk oranları verilmiştir.

Kaktüs bitkisinin 1.7-2.6 GHz frekansları arasında geniş bantlı dielektrik sabitini hesaplayabilmek için iletim hattı olan dalga kılavuzu ölçüm metodu kullanılacaktır. İletim hattı ölçüm metodu seçildiğinde 3 adet uygun hesaplama yöntemi karşımıza çıkmaktadır. Bunlar; NRW, tekrarlamalı NIST, yeni tekrarsız hesaplama yöntemleridir. Bu hesaplama yöntemleri içinden başlangıç değeri tahmini gerektirmeyen, yüksek doğruluk, istenilen malzeme kalınlığında ölçüm, hızlı ve tekrarlama hesapları olmamasından dolayı yeni tekrarsız hesaplama yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 3.2. Ölçüm yöntemleri ve uygun hesaplama yöntemleri [8].

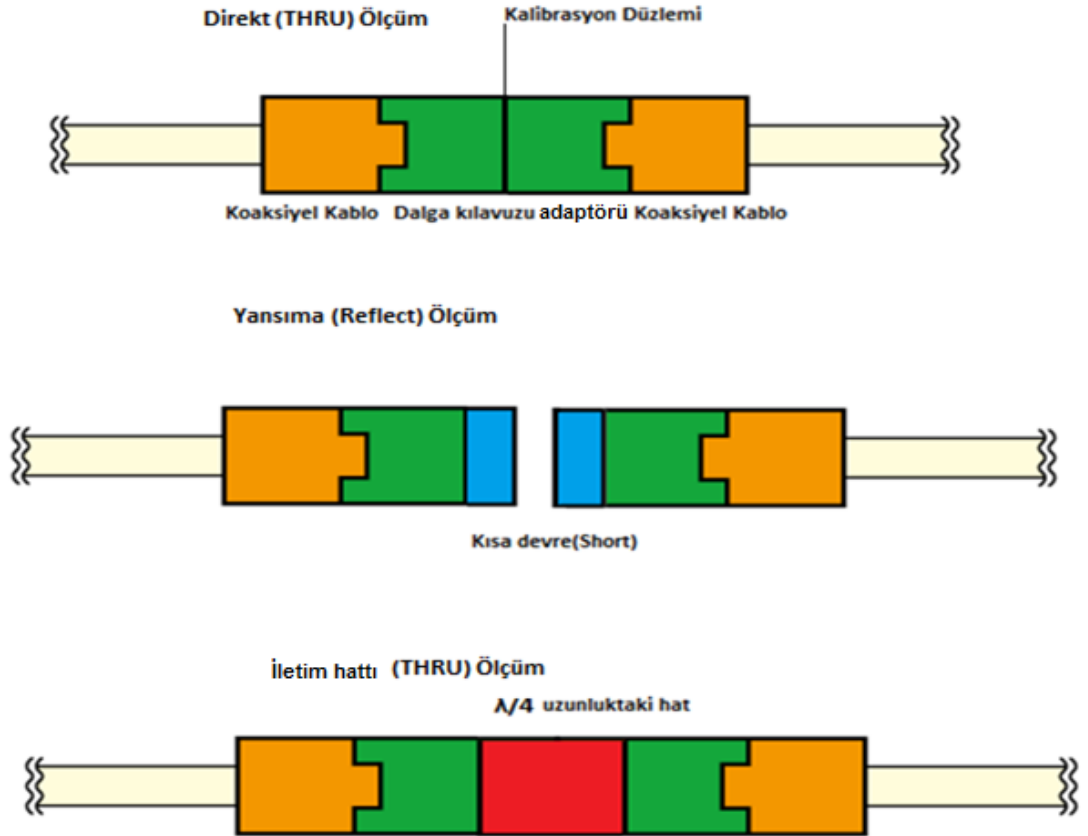
Malzemeler / Uzunluk / Manyetik özellikleri	Ölçüm metodu	Hesaplama Yöntemi	Hız	Doğruluk oranı
Kayıplı katı+İnce+Manyetik olmayan	İletim Hattı	NRW	Hızlı	Orta
Kayıplı katı+İnce+Manyetik	İletim Hattı	NRW	Hızlı	Orta
Az kayıplı katı+Kalın+Manyetik olmayan	İletim Hattı	Tekrarlamalı NIST	Yavaş	İyi
Az kayıplı katı+Kalın+Manyetik olmayan	İletim Hattı	Yeni tekrarsız yöntem	Hızlı	İyi
Biyolojik örnek	Koaksiyel Prob	RFM	Hızlı	İyi
Sıvılar	Koaksiyel Prob	RFM / Sıvı referansı	Hızlı	İyi/Orta
Yarı katı maddeler	Koaksiyel Prob	RFM	Hızlı	İyi
Yüksek sıcaklık+ Büyük / düz yüzeyli katı+ Manyetik olmayan	Boş uzay	Tekrarlamalı NIST / Yeni tekrarsız yöntem	Yavaş/ Hızlı	İyi
Yüksek sıcaklık+ Büyük / düz yüzeyli katı+ Manyetik olmayan	Boş uzay	NRW	Hızlı	Orta
Az kayıp katılar ince + manyetik	Rezonans Boşluğu	Frekans & Q-faktörü	Yavaş	İyi
Az kayıp katılar ince + manyetik olmayan	Rezonans Boşluğu	Frekans & Q-faktörü	Yavaş	İyi

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. TRL KALİBRASYON

Hazırlanan ölçüm düzeneğın doğru sonuçlar verebilmesi için kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Dalga kılavuzları için en çok tercih edilen TRL kalibrasyondur. TRL kalibrasyon 3 adımda yapılır. Bunlar direkt (thru), yansıma (reflect) ve iletım hattı (line) aşamalarıdır ve Şekil 4.1' de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. TRL kalibrasyon.

Akdeniz Üniversitesi, Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM) Laboratuvarlarında bulunan 100 MHz ile 9 GHz frekansları arasında çalışan Anritsu MS4624B network analizörün TRL kalibrasyon işlemi aşağıdaki gibi yapılmıştır.

İlk olarak network analizöre TRL kalibrasyon için gerekli bilgiler girilir. Bunlar dalga kılavuzun kesim frekansı, güç değeri, iletim hattının uzunluğu, yansıma ölçümün kısa devremi açık devremi yapılacağıın seçimi, adım sayısı ve frekans aralık değerleri tanımlanır. Tanımlamalar yapıldıktan sonra direkt ölçümü yapılır. Burada dalga kılavuzları arasında boşluk kalmayacak şekilde birleştirilerek ölçüm Şekil 4.2'deki gibi gerçekleştirilir.



Şekil 4.2. Direkt (Thru) ölçüm.

Direkt ölçümü tamamlandıktan sonra yansıma ölçümü yapılır. Bu ölçüm de birinci port metal tabaka kapatılarak gelen sinyalin tamamının yansıması sağlanır. Birinci portta yansıma işlemi yapıldıktan sonra aynı işlem port iki için yapılır. Yapılan işlemler Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 1. Portun yansımaya (reflect) ölçümü.



Şekil 4.4. 2. Portun yansımaya (reflect) ölçümü.

Yansıma ölçümü tamamlandıktan sonra iletim hattı ölçümü için daha önceden lazer kesim ile dalga kılavuzu boyutlarında hazırlanmış hat malzemesi kullanıldı. Yapılan hatlar Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Yaptırılan hatlar S-parametreleri ölçülmek istenilen malzemelerin içeresine yerleştirileceği kısım olacaktır. Ölçüm frekans aralığı 1.7 ile 2.6 GHz arasındır. Merkez frekansı 2.15 GHz'dir ve bu frekansa denk gelen dalga boyu 13.95 cm'dir. İletim hat ölçümünde frekandaki dalga boyunun $\lambda/4$ uzunluğuna gelecek ve dalga kılavuzları boyutlarında alüminyum malzemedan hat yaptırıldı. Tek parça halinde kesim yapılamayacağından 2mm, 3mm ve 5mm kalınlıklarda kesilerek istenilen uzunluğa göre birleştirme işlemi yapıldı.



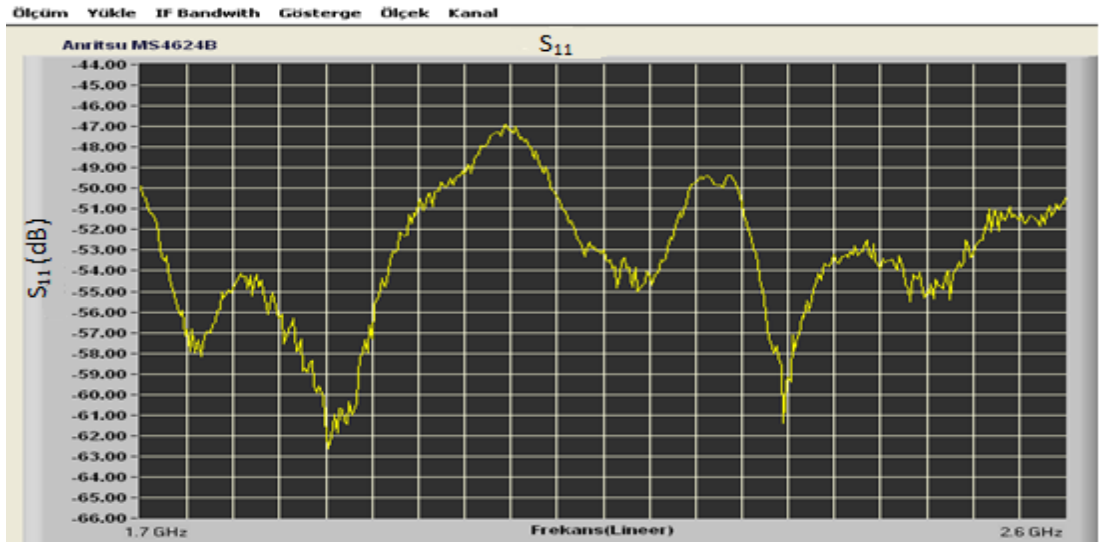
Şekil 4.5. Dalga kılavuzları boyutlarında kestirilen hat uzunluğu.

Hazırlanan hatlar iki dalga kılavuzu arasına yerleştirilerek iletim hattı ölçümü Şekil 4.6'daki gibi gerçekleştirilmiştir.

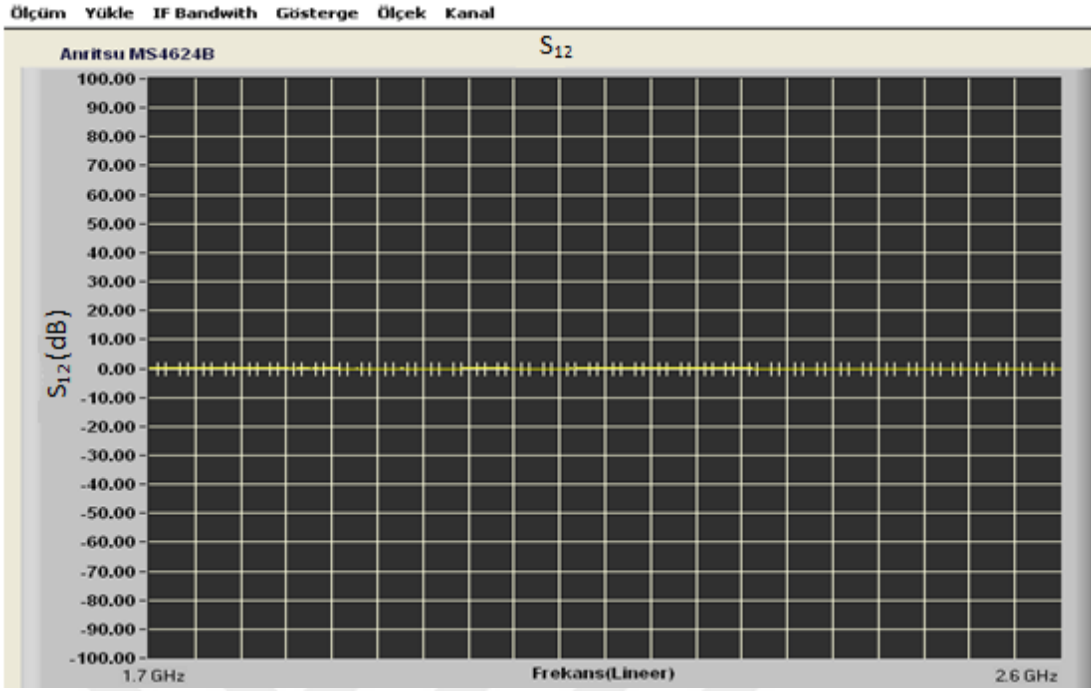


Şekil 4.6. İletim hattın ölçümü.

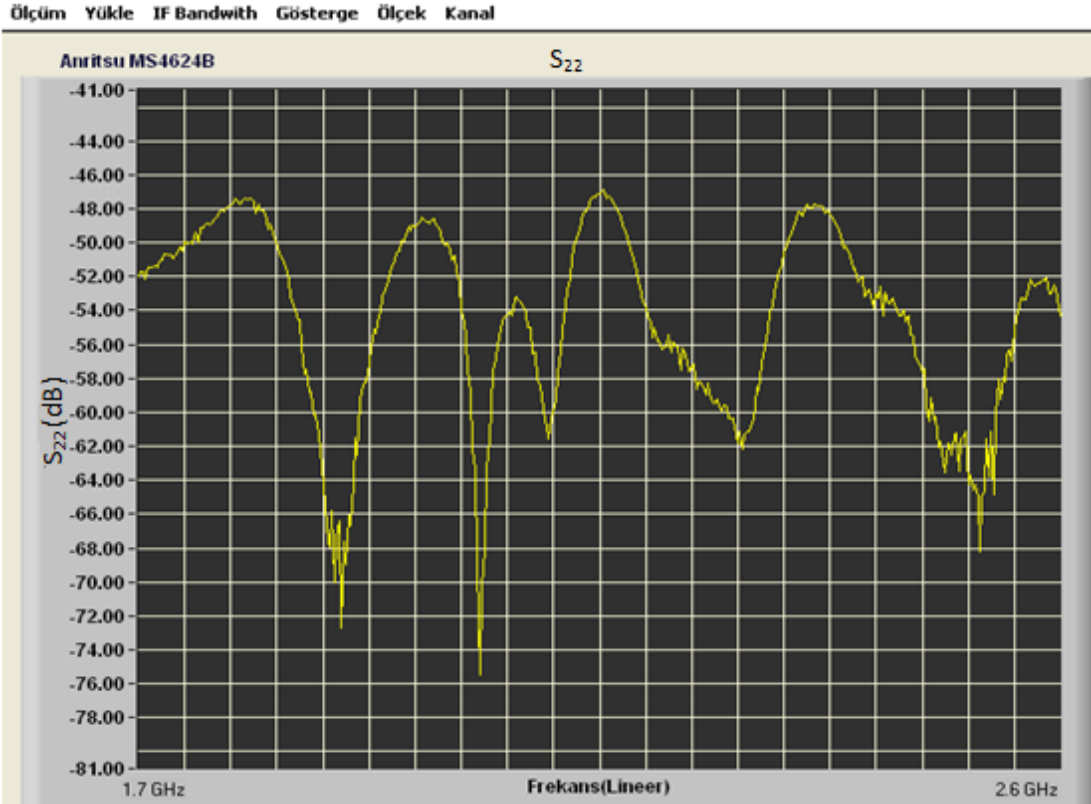
Direkt (Thru), yansıma (reflect) ve iletim hat (line) ölçümleri tamamlandıktan sonra kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır. Dalga kılavuzu adaptörleri birbirine bağlanarak yapılan kalibrasyon sonucu kontrol edilmiştir. S_{11} , S_{22} değerleri yaklaşık -50 dB ve S_{21} , S_{12} değerleri 0 dB olduğu görülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.7’de S_{11} , Şekil 4.8’de S_{12} , Şekil 4.9’da S_{22} , Şekil 4.10’da S_{21} parametreleri verilmiştir.



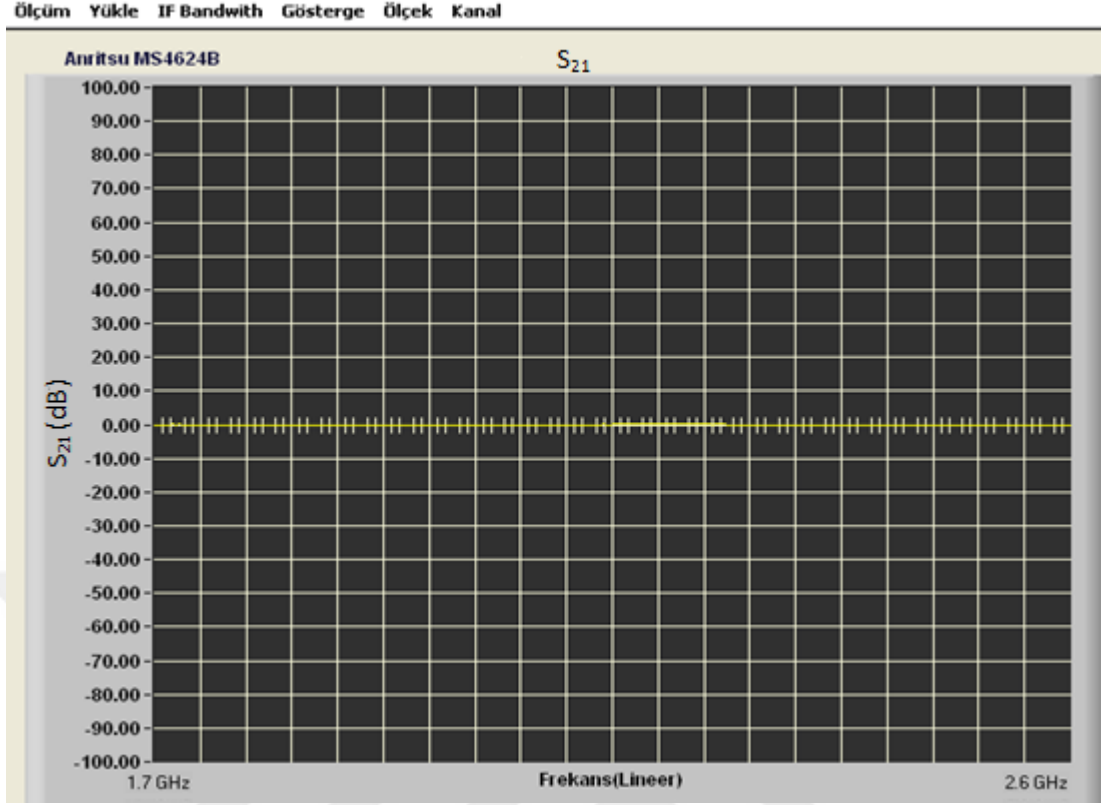
Şekil 4.7. S_{11} parametresi.



Şekil 4.8. S_{12} parametresi.



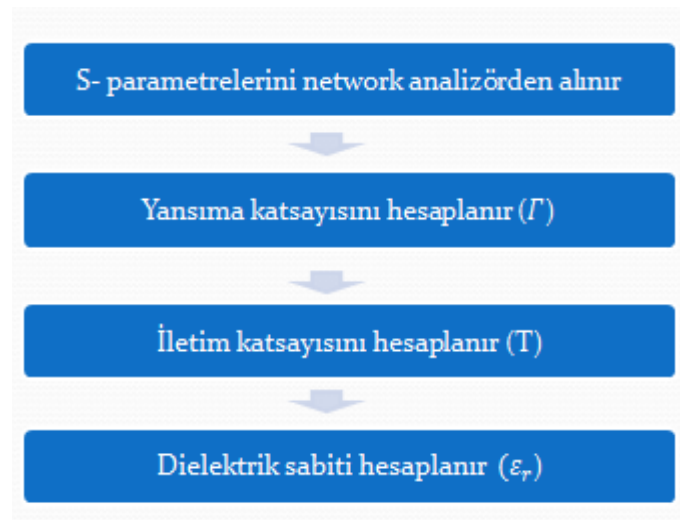
Şekil 4.9. S_{22} parametresi.



Şekil 4.10. S_{21} parametresi.

4.2. YENİ TEKRARSIZ (NEW NON-ITERATIVE) HESAPLAMA YÖNTEMİNİN AŞAMALARI

Yeni tekrarsız yönteminin hesaplama aşaması Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Hesaplama adımları.

Aşağıdaki S-parametreleri Network analizörden doğrudan elde edilir.

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1-T^2)}{1-\Gamma^2T^2} \quad (4.1)$$

$$S_{21} = \frac{T(1-\Gamma^2)}{1-\Gamma^2T^2} \quad (4.2)$$

Yansımaya katsayısı aşağıdaki gibi çıkarılabilir:

$$\Gamma = X \mp \sqrt{X^2 - 1} \quad (4.3)$$

Burada kullanılan X değeri 4.4'de matematiksel olarak tanımlanmıştır.

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad (4.4)$$

İletim katsayısı(T) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} + \Gamma}{1 - \Gamma(S_{11} + S_{21})} \quad \frac{1}{\Lambda} = \left(\frac{\epsilon_r \times \mu_r}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \right) = - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right)^2 \quad (4.5)$$

Serbest uzayda dalga boyu λ_0 , kesim frekansı dalga boyu λ_c , dalga kılavuzu içerisindeki dalga boyu λ_{og} ve L malzemenin kalınlığıdır.

$$\lambda_{og} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (4.6)$$

Yansımaya kat sayısı bilinen ve (4.5) denklem ile (4.6) denklem kullanılarak dielektrik sabiti ve manyetik sabiti bulunur.

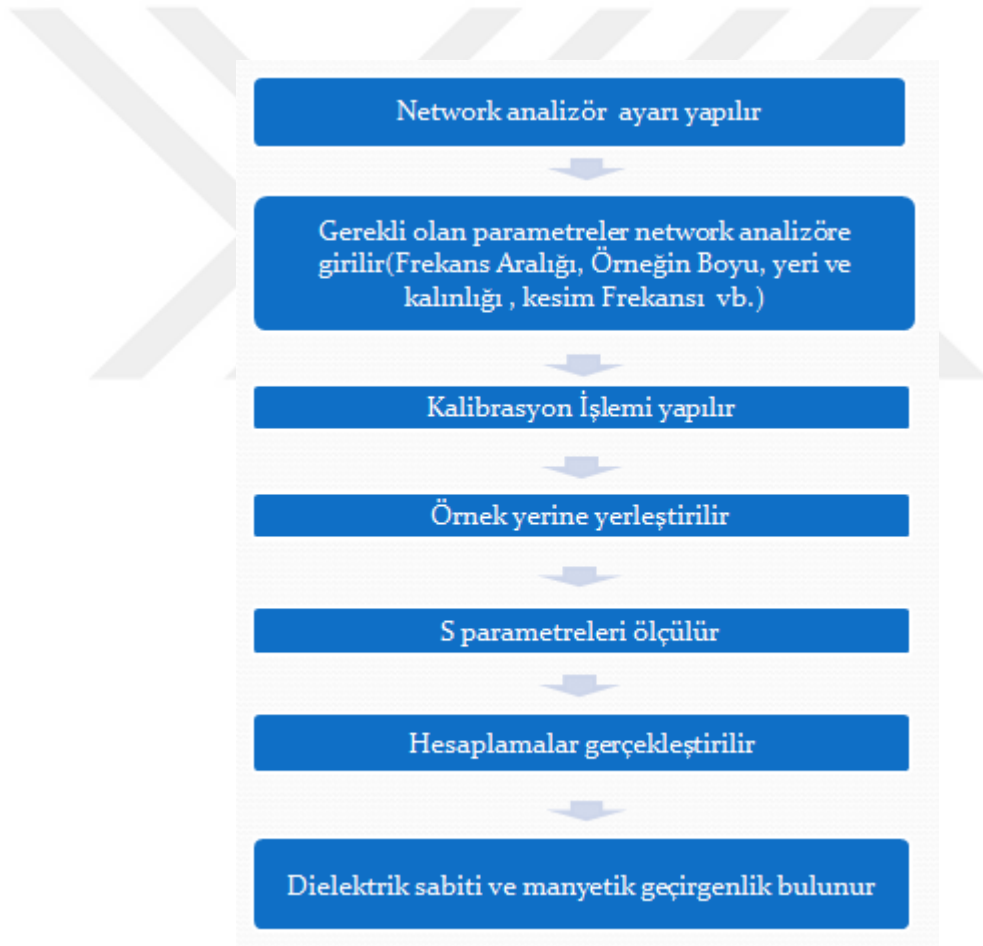
$$\mu_r = \frac{1}{\Lambda} \left(\frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \right) \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (4.7)$$

$$\varepsilon_r = \left(1 - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2}\right) \times \left(\frac{\lambda_{og}}{\Lambda} \left(\frac{1-\Gamma}{1+\Gamma}\right)\right) + \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2 \times \left(\frac{\lambda_{og}}{\Lambda} \left(\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma}\right)\right)} \quad (4.8)$$

4.3. ÖLÇÜM DÜZENİĞİNİN KURULMASI

Ölçüm düzeneğinin kurulma aşaması Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Ölçüm düzeneğinin kurulabilmesi için ilk olarak network analizör için gerekli bilgiler sisteme eklendi. Eklendikten sonra bölüm 4.1’deki gibi TRL kalibrasyon işlemleri gerçekleştirildi.



Şekil 4.12. Ölçüm işlem aşaması.

Kalibrasyon işlemi bittikten sonra Şekil 4.13’te gösterilen ölçüm yapılacak malzeme lazer kesim yapılmış örnek tutucunun içerisine yerleştirildi.



Şekil 4.13. Opuntia örneğinin dikey ve yatay gösterimi.

Opuntia bitkisinin kalınlığı 1.8 cm olduğundan dolayı dalga kılavuzları boyutlarında kesilen 2 adet 5 mm, 1 adet 4 mm ve 2 adet 2 mm kalınlığında hatlar birleştirilerek örnek tutucu oluşturulmuştur. Örnek tutucunun içerisine Opuntia bitkisi boşluk kalmadan yerleştirilmiş ve Şekil 4.14’te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Örneğin boşluk kalmadan yerleştirilmiş hali.

2 adet WR430 koaksiyel dalga kılavuzu adaptörü içerisinde Opuntia bitkisi olan örnek tutucu ile birleştirilerek ölçüm düzeneği hazırlandı. Hazırlanan ölçüm düzeneği Şekil 4.15'te gösterilmektedir ve 7-8 saat aralıklarla 6 adet ölçüm yapılmıştır. Network analizörden S-parametreleri istenilen formatta alındı. Ölçülmüş S-parametreleri kullanılarak, yeni tekrarsız yöntemini kullanan matlab kodu yardımıyla Opuntia bitkisinin dielektrik sabitleri hesaplanmıştır. Matlab kodu Ek-1'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Ölçüm düzeneği.

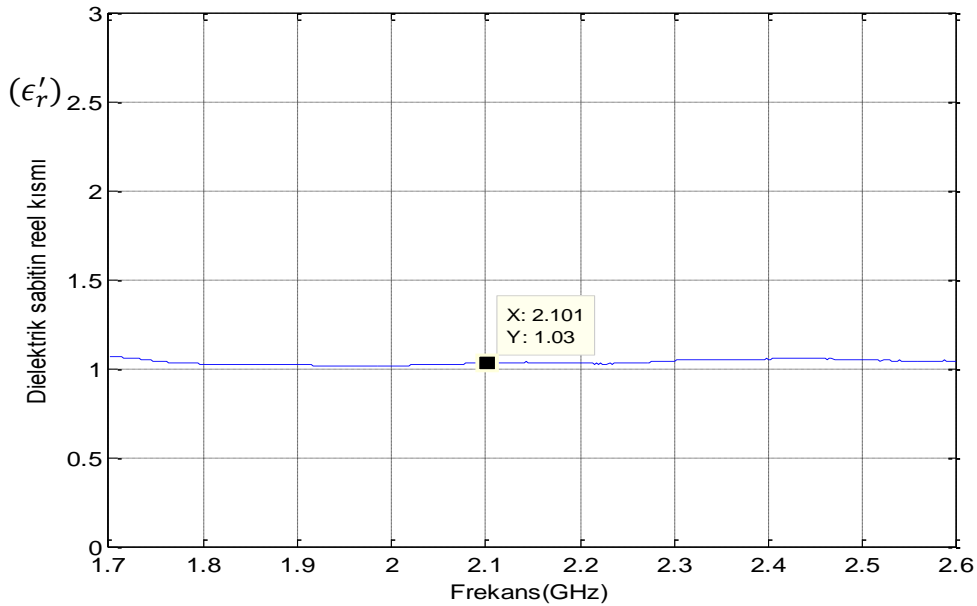
4.4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Kaktüsçiller familyasının bir türü olan Opuntia bitkisi ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ve bunların analizi bu bölümde yer almaktadır. Opuntia bitkisinin su oranının düşmesinden dolayı boyutlarında küçülmeler meydana gelmiştir. Boyutlarındaki küçülmelerden dolayı malzeme tutucu içerisine yerleştirildiğinde boşluklar meydana geldiği için ve bu boşlukların hesaplamalarda yanlış sonuçlar doğuracağından dolayı ölçüme başlandıktan sonra 48 saat sonra ölçümler bitirilmiştir.

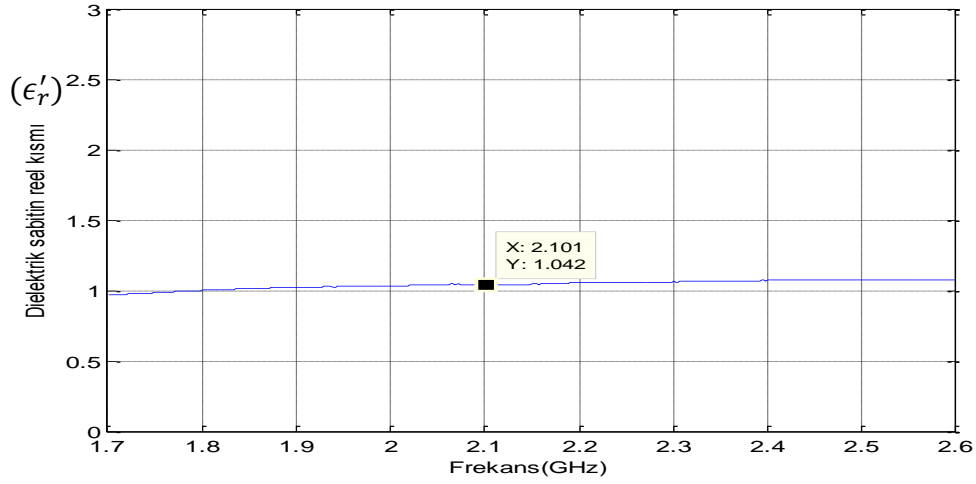
4.4.1. Opuntia Bitkisinin Dielektrik Sabiti Analizi

Opuntia bitkisini Akdeniz Üniversitesi EMUMAN merkezinde 18 Nisan 2016 ile 22 Nisan 2016 tarihleri arasında alınan ölçümler ve üçüncü bölümde belirtilen yeni tekrarsız hesaplama yöntemi kullanılarak 1.7 GHz ile 2.6 GHz frekansları arasında geniş bantlı dielektrik sabiti hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sonuçlar frekansa ve yaprağın su oranına göre incelenerek yorumlanmıştır.

18 Nisan’da ölçüm düzeneği için malzeme tutucu ve kalibrasyon için gerekli lazer kesim işlemleri gerçekleştirilmiştir. 19 Nisan günü, kesimi gerçekleştirilen malzemeler alınarak ölçüm düzeneği kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır. Kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra ölçüm düzeneği 5mm’lik hat uzatılarak havanın dielektrik sabiti ile hat uzunluğunu 7 mm yapılarak strafor malzemesin dielektrik sabiti ölçülmüştür. Ölçülmüş dielektrik sabitinin reel kısımları Şekil 4.16’da ile Şekil 4.17’de verilmiştir. Görüldüğü gibi ölçülen değerler literatürde verilen sayısal değerlere uyumludur.



Şekil 4.16. Straforun dielektrik sabitinin reel kısmı.



Şekil 4.17. Havanın dielektrik sabitinin reel kısmı.

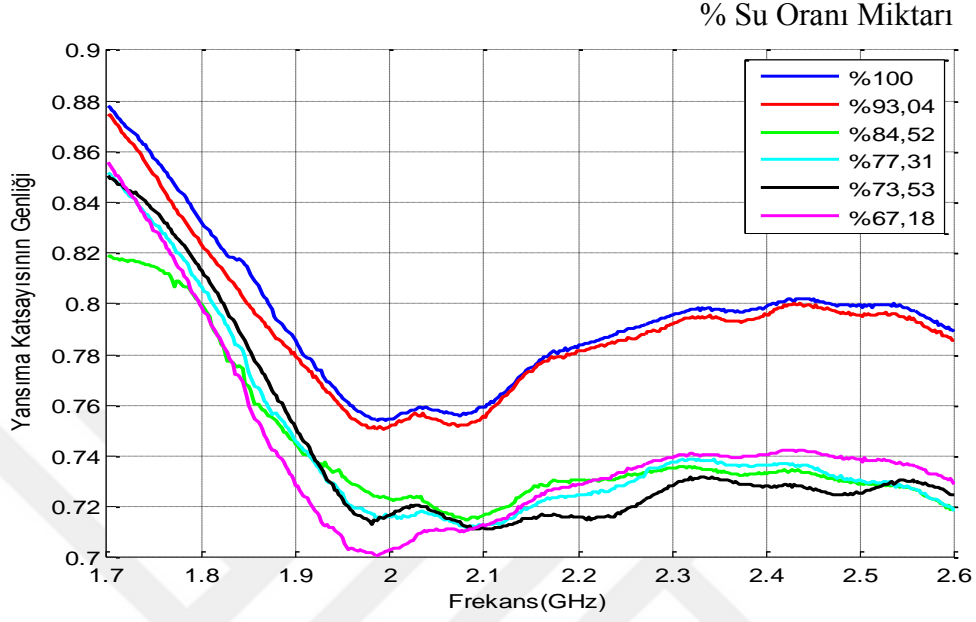
Dalga kılavuzları boyutlarına uygun olarak Opuntia bitkisi kesilerek su dolu kaba koyularak %100 su doygunluğuna ulaşması için beklemeye alınmıştır. Her ölçüm öncesi Opuntia bitkisinin ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçümler tamamlandıktan sonra Opuntia bitkisi kurutulup ağırlıkları ölçülerek su oranları hesaplanmıştır. Opuntia bitkisinin dielektrik sabitinin ölçümlerine 20 Nisan saat 17.00'de başlanmıştır. Zamana karşılık gelen Opuntia bitkisinin depolayabileceği yaklaşık su oranları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ölçüm yapılan saatlere karşılık Opuntia'nın ağırlığı ve su oranları.

Tarih	Saat	Ağırlığı(gr)	Su oranı(%)
20 Nisan	17.00	122.71	100
21 Nisan	08.30	115.89	93.04
21 Nisan	15.30	107.53	84.52
21 Nisan	22.00	100.45	77.31
22 Nisan	09.00	96.74	73.53
22 Nisan	18.00	90.51	67.18
10 Haziran	09.00	24.59	0

Opuntia bitkisinin dielektrik sabitinin ölçümlerinde elde edilen su oranlarına göre yansıma katsayıları Şekil 4.18'de verilmiştir. Bu şekle bakarak kaktüsün üzerine

gelen elektromanyetik dalganın genliğinin yaklaşık %70-%88 geri yansıdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.18. Su oranlarına göre yansıma katsayıları (S_{11}).

Yeni tekrarsız (New non-iterative) hesaplama yöntemini kullanarak Opuntia bitkisinin nem oranlarına göre ve belirlenen frekanslardaki dielektrik sabitlerin reel kısmı ve sanal kısımları Çizelge 4.2’de paylaşılmıştır.

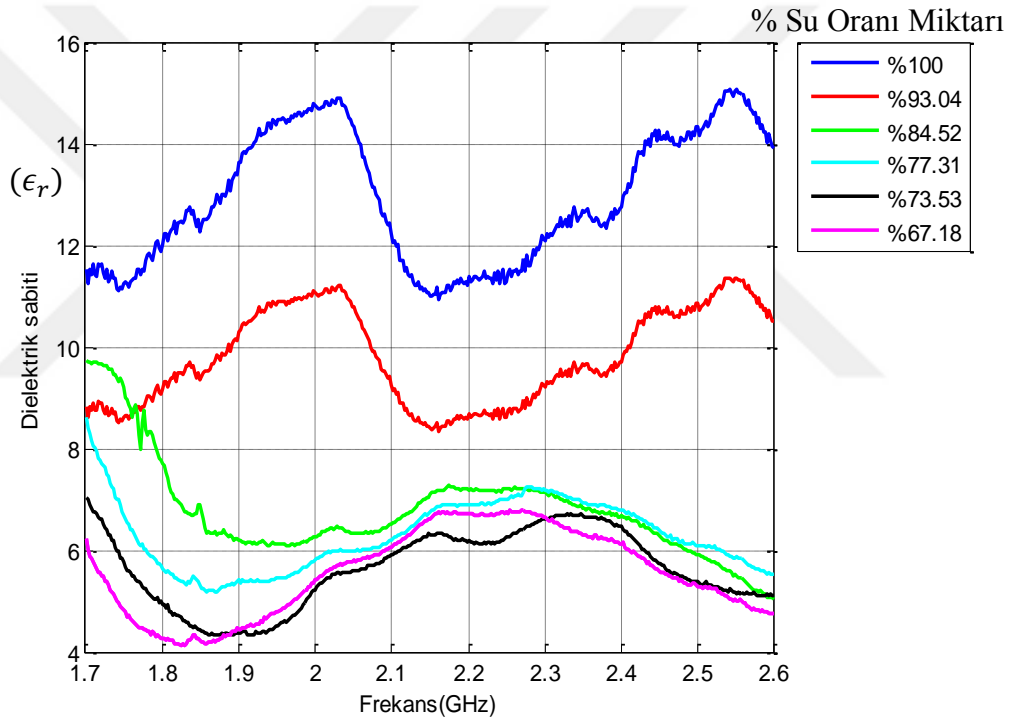
Çizelge 4.2. Opuntia bitkisinin nem oranlarına göre ve belirlenen frekanslardaki dielektrik sabitlerin reel kısmı ve sanal kısımları.

Opuntia								
	1800 MHz		2100 MHz		2400 MHz		2600 MHz	
% Su Oranı	ϵ_r'	ϵ_r''	ϵ_r'	ϵ_r''	ϵ_r'	ϵ_r''	ϵ_r'	ϵ_r''
100	11.89	1.76	12.02	0.75	12.72	1.01	13.89	0.59
93.04	9.09	1.21	9.11	0.48	9.68	0.66	10.49	0.35
84.52	7.68	0.57	6.54	0.20	6.77	0.33	5.52	0.37
77.31	5.60	0.68	6.22	0.24	6.66	0.32	5.08	0.33
73.53	4.88	0.65	6.09	0.28	6.44	0.39	5.01	0.43
67.18	4.21	0.64	5.91	0.27	6.10	0.43	4.74	0.42

4.4.2. Frekansa Göre Opuntia Bitkisinin Dielektrik Sabiti

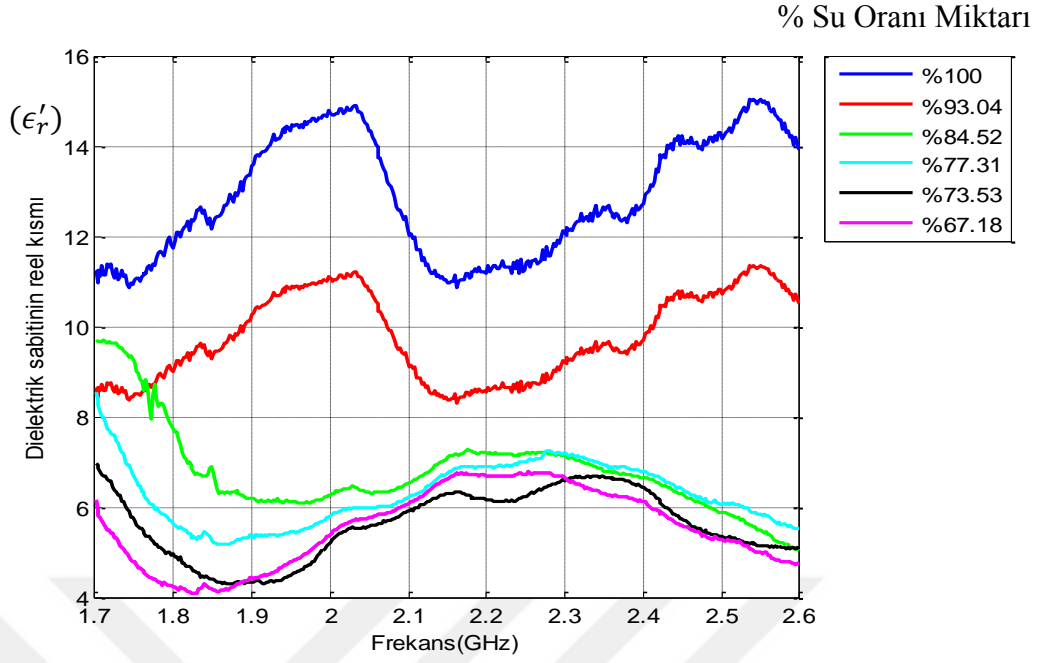
Opuntia bitkisinin frekansa bağı dielektrik sabiti hesaplamalarında 20 Nisan 2016 tarihinde başlayan 22 Nisan 2016 gününün akşamına kadar gerçekleştirilen ölçümler kullanılmıştır. Malzemenin su oranının doğrusal olarak düşmesi için ölçümler arasında yaklaşık 8 saatlik aralıklar verilmiştir.

Yapılan bütün ölçümlerin 1.7 GHz ile 2.6 GHz frekans aralığındaki su oranlarına göre dielektrik sabitin genliği Şekil 4.19'da verilmiştir.



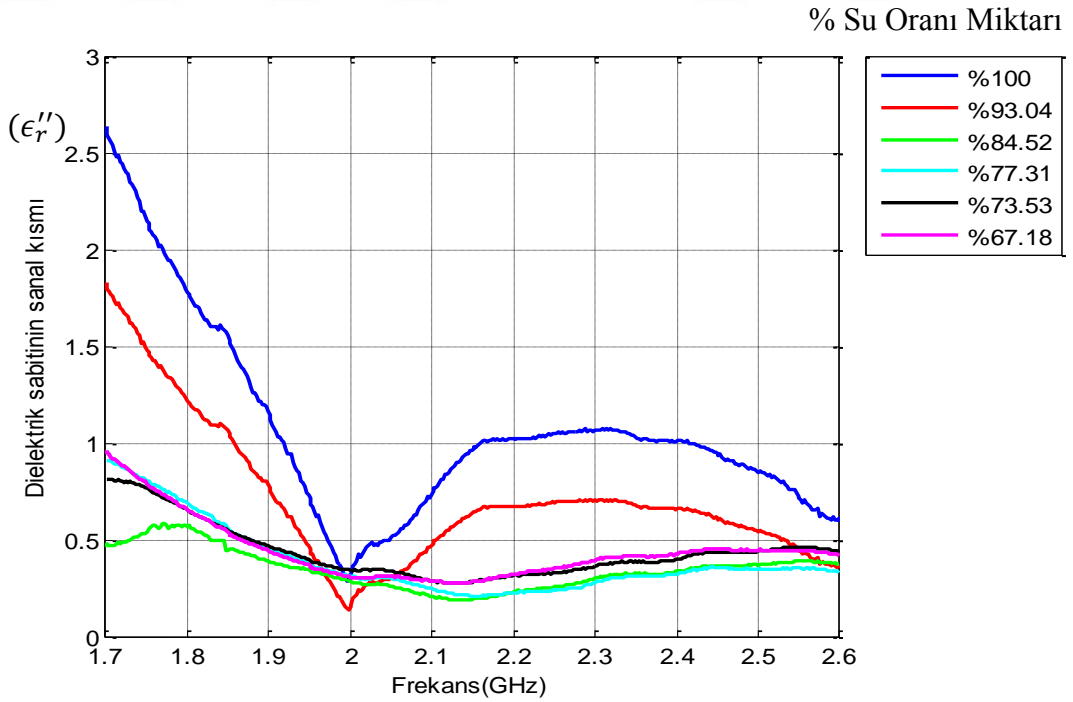
Şekil 4.19. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın dielektrik sabitin genliği.

Yapılan bütün ölçümlerin 1.7 GHz ile 2.6 GHz frekans aralığındaki su oranlarına göre dielektrik sabitin reel kısmı Şekil 4.20'de verilmiştir.



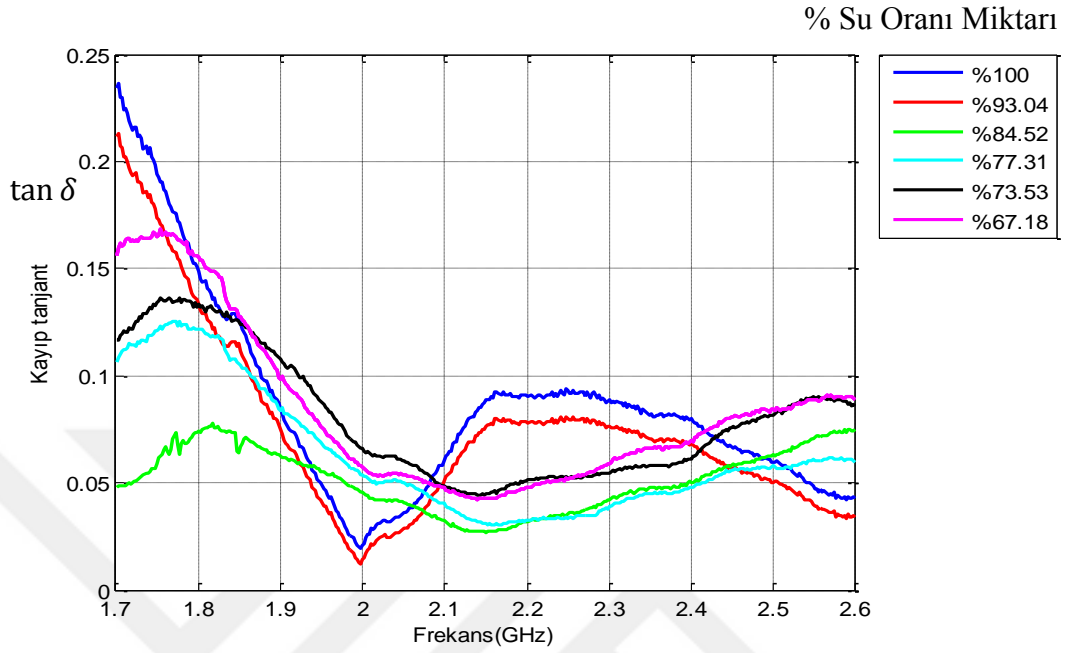
Şekil 4.20. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın dielektrik sabitinin reel kısmı.

Yapılan bütün ölçümlerin 1.7 GHz ile 2.6 GHz frekans aralığındaki su oranlarına göre dielektrik sabitinin sanal kısmı Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın dielektrik sabitinin sanal kısmı.

Yapılan bütün ölçümlerin 1.7 GHz ile 2.6 GHz frekans aralığındaki su oranlarına göre kayıp tanjantı Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Frekansa ve su oranlarına göre Opuntia'nın kayıp tanjantı.

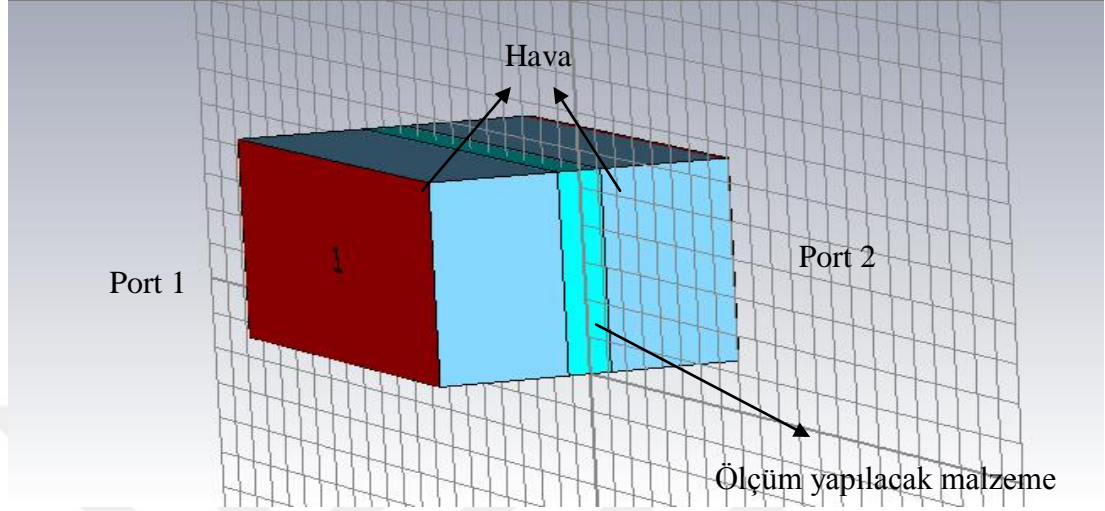
Yapılan ölçümlerde Opuntia bitkisinin su oranlarının azaldıkça dielektrik sabitinin de azaldığını görülmüştür. Dielektrik sabitinde dalgalanmaların ise malzeme yüzeyinin pürüzsüz olmadığını ve dalga kılavuzu boyutlarında kesilen Opuntia örneğinin her yerde eşit kalınlıkta olmadığından dolayı olduğu düşünülmektedir.

4.5. SİMÜLASYON ORTAMI İÇİN MODELLEME

Opuntia bitkisininim 1.7 GHz ile 2.6 GHz frekansları arasında geniş bantlı ve içerisindeki su oranına göre dalga kılavuzu iletim hattında ölçüm yaparak ve yeni tekrarsız (New non-iterative) hesaplama yöntemini kullanarak dielektrik sabiti hesaplanmıştır.

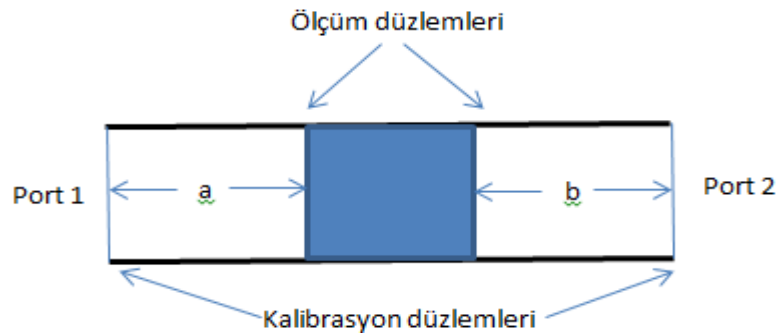
Simülasyon ortamında modellemede, dalga kılavuzu ölçüm düzeneği gerçek boyutlarında CST (Computer Simulation Technology) programında tasarlanmıştır. Şekil 4.23’de gösterilen dalga kılavuzu ölçüm sistemi 109.22 x 54.61 mm boyutlarında ve hat uzunluğu 3 cm hava olarak ayarlanmıştır. Hat uzunluğunun

ortasına ölçüm yapılacak malzeme yerleştirilmiş ve hattın iki girişine port tanımlanması yapılmıştır.



Şekil 4.23. Simülasyon dalga kılavuzu ölçüm sistemi.

Simülasyon ortamında dalga kılavuzu oluştururken direkt malzemenin üzerine port tanımlanabilmektedir. Bu şekilde portlarda tanım yapıldığında, elektromanyetik dalga sadece malzemenin ortamında yayılım yapıyor olduğundan dolayı iletim ve yansıma katsayıları istenilen sonuçlarda çıkmamaktadır. Simülasyon ortamında oluşturulurken ölçüm yapılacak malzemenin başına ve sonuna hava dolu iletim hattı ekledik. Eklenen hava dolu iletim hattından dolayı faz kayması meydana gelmiştir. Faz kaymasını iletim ve yansıma katsayısına ekleyerek doğru ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Şekil 4.24’de gösterilen faz kayması ölçüm düzlemleri ile kalibrasyon düzlemleri arasındaki mesafeden hesaplanır [35].



Şekil 4.24. Faz kayması.

Ölçüm frekansı f_0 , dalga kılavuzu kesim frekansı f_c , ışık hızı c , kalibrasyon düzlemi ile port 1 ölçüm düzlemi arasındaki mesafe a , kalibrasyon düzlemi ile port 2 ölçüm düzlemi arasındaki mesafe b 'dir.

S_{11} için faz kayması:

$$\text{Faz kayması} = \frac{360^\circ x f_0 \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_0}\right)^2}}{c} x 2xa \quad (4.9)$$

S_{21} için faz kayması:

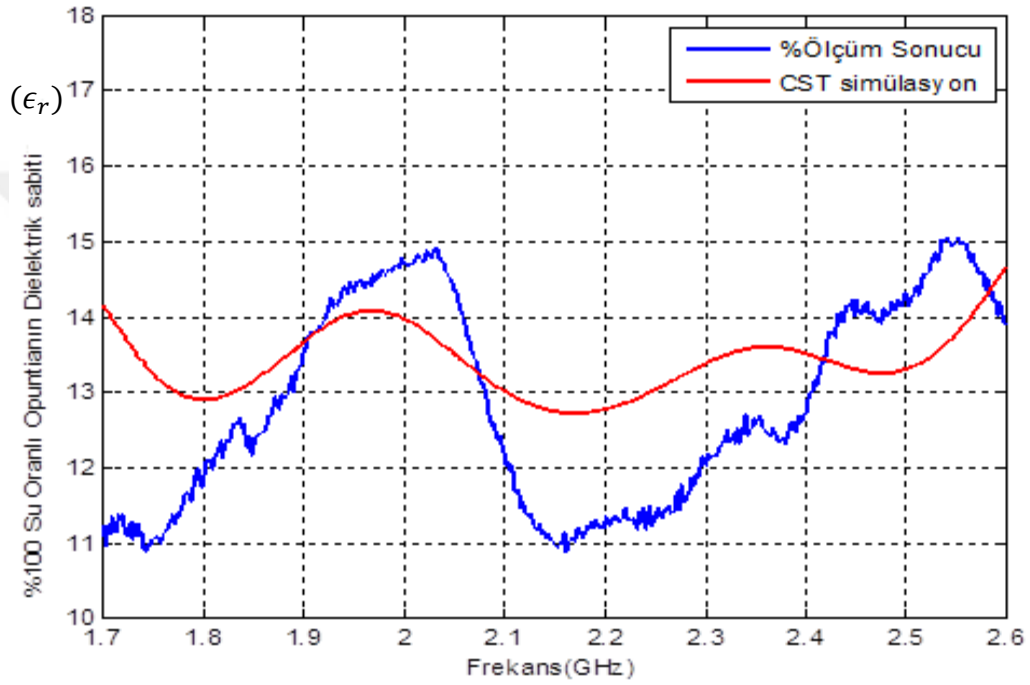
$$\text{Faz kayması} = \frac{360^\circ x f_0 \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_0}\right)^2}}{c} x (a + b) \quad (4.10)$$

Opuntia bitkisinin literatürde herhangi bir çalışma yapılmadığından simülasyon ortamına yeni malzeme tanımı olarak eklenmiştir. Malzeme tanımında Opuntia bitkisinin %100 su oranlı ölçümü temel alınarak ve belirli frekanstaki dielektrik sabitinin reel ve sanal kısımları CST programının malzeme parametrelerinin 'dielectric dispersion' girilerek malzeme tanımı yapılmıştır ve Şekil 4.25'de gösterilmiştir.

Freq. [GHz]	Eps'	Eps''	Weight
1.8	11.89	1.76	1.0
2.1	12.02	0.75	1.0
2.4	12.72	1.01	1.0
2.6	13.89	0.59	1.0

Şekil 4.25. Dielektrik dispersion listesi.

Malzeme eklemesi yapıldıktan sonra CST programı tekrar çalıştırılarak ölçüm S_{11} ve S_{21} katsayıları alınmıştır. Faz kaymaları, iletim ve yansıma katsayılarına eklenmiştir. Faz kayması eklendikten sonra Matlab programı ortamında hazırladığınız yeni tekrarsız (New non-iterative) hesaplama yöntemiyle dielektrik sabitin genliği hesaplanmıştır ve Şekil 4.26’de verilmiştir. Ölçüm sonucunun ve CST simülasyon programında yapılan sonucun birbirine yakın olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.26. Ölçüm sonucu ve CST programında yapılan modellemenin dielektrik sabitin genliği.

BÖLÜM 5

SONUÇ

Yapılan bu çalışmada, dielektrik geçirgenlik ölçüm teknikleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ölçüm teknikleri; ölçüm yapılacak malzeme yapısına, boyutuna, kalınlığına, ölçüm doğruluk oranına, temaslı ya da temassız ölçüm yapılabilmesine, sıcaklığına, maliyetine, ölçüm yapılacak frekans bilgisine göre karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda iletim hattı olan dalga kılavuzu ölçüm metodu seçilmiştir.

Dielektrik sabiti hesaplama yöntemleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ölçüm metotlarına uygun hesaplama yöntemleri, avantajları ve dezavantajları dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Bu hesaplama yöntemlerinden başlangıç değeri tahmini gerektirmeyen, yüksek doğruluk oranı gösteren, istenilen malzeme kalınlığında ölçüm yapılabilen, hızlı hesaplanan ve tekrarlama hesaplamaları gerektirmeyen yeni tekrarsız (New non-iterative) hesaplama yöntemi kullanılmıştır.

İletim hattı olan dalga kılavuzu ölçüm düzeneği, 2 adet WR430 dalga kılavuzu adaptörü, örnek tutucu ve Anritsu MS4624B network analizör kullanılarak hazırlanmıştır. Ölçüm sisteminden doğru sonuçlar alınabilmesi için TRL kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir ve kalibrasyon adımları detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Opuntia bitkisinin vektör network analizör kullanılarak 1.7 GHz ile 2.6 GHz frekanslarındaki S parametrelerini elde etmek ve Opuntia bitkisinin dielektrik sabitinin bulunması için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerden alınan S_{11} ve S_{21} değerleri kullanılarak yeni tekrarsız (New non-iterative) hesaplama yöntemini kullanan matlab kodu yardımıyla Opuntia bitkisinin içerisindeki su oranına ve frekansa bağlı olarak dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerleri hesaplanmıştır.

Literatüre, Opuntia bitkisine ait dielektrik sabitinin ve kayıp tanjant değerlerinin frekanslara ve su oranlarına göre değişim değerleri kazandırılmıştır.

Opuntia bitkisinin üzerine gelen elektromanyetik dalga genliğinin yaklaşık olarak % 70-%88 oranında geri yansıma yaptığı bulunmuştur.

Gelecekte, daha fazla dikenli yapıya sahip kaktüs türünün, geniş bantlı frekans ölçümü ve sıcaklığa göre değişiminin dielektrik sabiti üzerindeki etkisinin hesaplanması için çalışmalar yapılması hedeflenmektedir.



KAYNAKLAR

1. Chen, L. F., Ong, C. K., Neo, C. P., Varadan, V. V., and Varadan, V. K., "Microwave Electronics", West Sussex, U.K.:Wiley, *John Wiley & Sons, Ltd*, Chichester, UK, (2004).
2. Akhtar, M. J., Feher, L. E., and Thumm, M., "A waveguide-based two-step approach for measuring complex permittivity tensor of uniaxial composite materials", *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, 54 (5): 2011–2021 (2006).
3. Baum, T., Thompson, L., and Ghorbani, K., "Complex dielectric measurements of forest fire ash at X-band frequencies", *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters*, 8 (5): 859–863 (2011).
4. Catala-Civera, J. M., Canos, A. J., Penaranda-Foix, F. L., and Davo, E. de los R., "Accurate determination of the complex permittivity of materials with transmission reflection measurements in partially filled rectangular waveguides", *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, 51 (1): 16–24 (2003).
5. Gorriti, A. G. and Slob, E. C., "A new tool for accurate S-parameters measurements and permittivity reconstruction", *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 43 (8): 1727–1735 (2005).
6. Hasar, U. C., "Accurate complex permittivity inversion from measurements of a sample partially filling a waveguide aperture", *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, 58 (2): 451–457 (2010).
7. Nishikata, A., "A swept-frequency measurement of complex permittivity and complex permeability of a columnar specimen inserted in a rectangular waveguide", *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, 55 (7): 1554–1567 (2007).
8. Yaw, K. C., "Measurement of dielectric material properties Application Note, *Rohde & Schwarz*", Measurement Techniques, 1–35 (2006).
9. Oguchi, T., Udagawa, M., Nanba, N., Maki, M., and Ishimine, Y., "Measurements of dielectric constant of volcanic ash erupted from five volcanoes in Japan", *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 47 (4): 1089–1096 (2009).
10. Stuchly, M. A., Stuchly, M. A., and Stuchly, S. S., "Coaxial Line Reflection Methods for Measuring Dielectric Properties of Biological Substances at Radio and Microwave Frequencies—A Review", *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, IM-29 (3): 176–183 (1980).

11. Cui, Y., Li, R. L., and Wang, P., "A novel broadband planar antenna for 2G/3G/LTE base stations", *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, 61 (5): 2767–2774 (2013).
12. Visschers, V. H. M. and Siegrist, M., "How a nuclear power plant accident influences acceptance of nuclear power: Results of a longitudinal study before and after the Fukushima disaster", *Risk Analysis*, 33 (2): 333–347 (2013).
13. Shrestha, B. L., Wood, H. C., and Sokhansanj, S., "Modeling of vegetation permittivity at microwave frequencies", *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 45 (2): 342–348 (2007).
14. Wee, F. H., Soh, P. J., Suhaizal, A. H. ., Nornikman, H., and Ezanuddin, a. a. ., "Free space measurement technique on dielectric properties of agricultural residues at microwave frequencies", *2009 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave And Optoelectronics Conference (IMOC)*, (1): 183–187 (2009).
15. M, A., Trabelsi, S., Member, S., Nelson, S. O., and Thorin, E., "Measurement of the Dielectric Properties of", *Ieee Transactions On Instrumentation And Measurement*, 60 (10): 3384–3390 (2011).
16. Seker, S. and Abatay, H., "New frequency-dependent parametric modeling of dielectric materials", *AEU - International Journal Of Electronics And Communications*, 60 (4): 320–327 (2006).
17. Sarabandi, K. and Ulaby, F. T., "Technique for measuring the dielectric constant of thin materials", *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, 37 (4): 631–636 (1988).
18. Trabelsi, S. and Nelson, S. O., "Nondestructive sensing of physical properties of granular materials by microwave permittivity measurement", *IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement*, 55 (3): 953–963 (2006).
19. Chuah, H. T., Lee, K. Y., and Lau, T. W., "Dielectric Constants of Rubber and Oil Palm Leaf Samples at X-Band", *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 33 (1): 221–223 (1995).
20. Borel, C. C. and McIntosh, R. E., "Millimeter Wave Backscatter from Deciduous Trees", *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, 38 (9): 1391–1398 (1990).
21. Hardin, J. A., Weckler, P. R., and Jones, C. L., "Microwave backscatter response of pecan tree canopy samples for estimation of pecan yield in situ using terrestrial radar", *Computers And Electronics In Agriculture*, 9054–62 (2013).
22. Venkatesh, M. S. and Raghavan, G. S. V., "An overview of dielectric properties measuring techniques", *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie Des Biosystems Au Canada*, 47(2005).

23. Yörük, Y. E., "“Devetabanı ve manolya yapraklarının X-bandı dielektrik sabitlerinin ölçümü ve modellenmesi””, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, 60-70", (2014).
24. Kraszewski, A. and Nelson, S. O., "Study on grain permittivity measurements in free space", *Journal Of Microwave Power And Electromagnetic Energy*, 25 (4): 202–210 (1990).
25. Sadiku, M. N. O., "“Elements of Electromagnetics””, *Oxford University Press*, Inc.", (2001).
26. Balanis, C., "“Advanced Engineering Electromagnetics””, *John Wiley & Sons*, Inc.", (1989).
27. Agilent, "Agilent Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials Application note", *Agilent* (2014).
28. Belevitch, V. “Summary of the History of Circuit Theory”, *Comité d’Etude des Calculateurs Electroniques*, Brussels, B., "Section 7 Circuit Theory", 848–855 (2000).
29. Van Valkenburg, Mac E., ed. "Circuit theory: foundations and classical contributions . *Dowden, Hutchinson, and Ross*, 1974. APA", 1974 (1974).
30. Pozar, D. M., "Microwave Engineering", *Hoboken, NJ:Wiley* (2005).
31. Anderson, E. F., "The cactus family", *Portland, Or.: Timber Press 776p.-illus., Col. Illus.. ISBN*, 881924989 (2001).
32. Wiese, J., McPherson, S., MC, O., and MG, S., "Effect of opuntia ficus indica on symptoms of the alcohol hangover", *Archives Of Internal Medicine*, 164 (12): 1334–1340 (2004).
33. Bwititi, P., Musabayane, C. T., and Nhachi, C. F. B., "Effects of Opuntia megacantha on blood glucose and kidney function in streptozotocin diabetic rats", *Journal Of Ethnopharmacology*, 69 (3): 247–252 .
34. Boughriet, A. H., Legrand, C., and Chapoton, A., "Noniterative stable transmission/reflection method for low-loss material complex permittivity determination", *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, 45 (1): 52–57 (1997).
35. Agilent, "Measuring Dielectric Constant with the HP8510 Network Analyzer The Measurement of Both Permittivity and Permeability of Solid Metarials", *Agilent* (2016).



EK AÇIKLAMALAR A.

MATLAB KODU

```

% Geniş Bant Ölçüm
clc;
clear all;
close all;

DataDosya = char('havas111.dat','havas211.dat');
Data11 = importdata(DataDosya(1,:));
Data21 = importdata(DataDosya(2,:));
genlik_s11=Data11.data(:,1);
faz_s11=Data11.data(:,2);
genlik_s21=Data21.data(:,1);
faz_s21=Data21.data(:,2);
d=input('kalınlığı giriniz=');
fo=linspace(1.7,2.6,401)*10^9;
for k=1:1:401;
s11giris(k,2)= genlik_s11(k);
s21giris(k,2)= genlik_s21(k);
fc=1.37*10^9;
c=3*10^10;
a=3;
num1(k,3)=s11giris(k,3);
num2(k,5)=s11giris(k,3);
end

for k=1:1:401;

n11(k,1)=s11giris(k,2)*cos(num1(k,3))+i*s11giris(k,2)*sin(num1
(k,3));

n21(k,1)=s21giris(k,2)*cos(num2(k,5))+i*s21giris(k,2)*sin(num2
(k,5));
frekans(:,:)=fo(:,:);

end
for k=1:1:401;
S11=n11(k,1);
S21=n21(k,1);
lamda0=(3*10^10)./frekans(k);
lamdac=21.86;
X=(S11^2-S21^2+1)/(2*S11);
kapa=X-sqrt(X^2-1);
if abs(kapa)> 1
kapa=X+sqrt(X^2-1);
end
T=(S11+S21-kapa)/(1-kapa*(S11+S21));
cc=log(1/T);
ucgen=-((1/(2*pi*d))*cc)^2;
ucgen=sqrt(ucgen);
lamdaog=1/(sqrt((1/lamda0^2)-(1/lamdac^2)));
epseff=(lamdaog*ucgen)*((1-kapa)/(1+kapa));
nueff=ucgen*((1+kapa)/(1-kapa))*lamdaog;
epsilon(k,1)=(1-
(lamda0^2/lamdac^2))*epseff+(lamda0^2/(lamdac^2*nueff));

```

```
end
plot(frekans,real(epsilon(:,1)));
ylim([0 10])
aa(:,1)=real(epsilon(:,1));
grid on
hold on
```



ÖZGEÇMİŞ

Ediz DELİHASANLAR 1989 yılında Denizli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2007 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nde öğrenim görmeye başladı ve 2012 yılında buradan mezun oldu. 2013 Temmuz ayında Yedek Subay olarak askerliğini tamamladı. 2013 Ağustos ayında Turkcell ve Ericsson firmalarının ortak projesinde Charging & Campaign Integration Specialist olarak çalıştı. 2014 Ocak ayında ise Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’ne ÖYP (Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı) kapsamında Araştırma Görevlisi olarak atandı ve halen burada çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Balıklar kayası Mevki / KARABÜK

Tel : (505) 671 56 51

E-posta : edizdelihasanlar@karabuk.edu.tr