

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEVETABANI ve MANOLYA YAPRAKLARININ X-BANDI DİELEKTRİK  
SABİTLERİNİN ÖLÇÜMÜ ve MODELLENMESİ**

**Yunus Emre YÖRÜK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2014**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEVETABANI ve MANOLYA YAPRAKLARININ X-BANDI DİELEKTRİK  
SABİTLERİNİN ÖLÇÜMÜ ve MODELLENMESİ**

**Yunus Emre YÖRÜK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 2011.02.0121.012 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel  
Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.**

**2014**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEVETABANI ve MANOLYA YAPRAKLARININ X-BANDI DİELEKTRİK  
SABİTLERİNİN ÖLÇÜMÜ ve MODELLENMESİ**

**Yunus Emre YÖRÜK**

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

Bu tez 18/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Selçuk HELHEL (Danışman) .....

Doç.Dr. Şükrü ÖZEN .....

Yrd.Doç.Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR .....

## ÖZET

### DEVETABANI ve MANOLYA YAPRAKLARININ X-BANDI DİELEKTRİK SABİTLERİNİN ÖLÇÜMÜ ve MODELLENMESİ

Yunus Emre YÖRÜK

Yüksek lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Aralık 2014, 51 Sayfa

Mikrodalga teknolojilerinin (haberleşme ve uzaktan algılama alanlarında) modellenmesi, simülasyonu ve uygulamasının yapılabilmesi için test altındaki malzemenin dielektrik özelliklerinin bilinmesi temel bir gerekliliktir. Bu nedenle, bitki örtüsünün temel bileşenlerinden olan yaprağa ilişkin dielektrik özelliklerinin belirlenmesi ihtiyacı vardır. Bitkilerde dielektrik sabiti barındırdığı su oranıyla doğrudan ilişkili olup ampirik yolla tespiti mümkündür. Tüm bitki yapraklarını kapsayan genel bir teorik matematiksel modelden bahsetmek olası değildir.

Bu çalışmada devetabanı ve manolya yapraklarından kesitler alınmış ve yaprağın kurumasına paralel olarak, X-bandı bölgesinde  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri ölçülmüştür. Ölçülen S-parametrelerinden yararlanarak yayılma sabiti hesaplanmıştır ve yayılma sabitinden yararlanarak da 7 GHz – 9,2 GHz frekans aralığında dielektrik sabitinin frekansa bağlı değişimi incelenmiştir. Benzer şekilde yaprakların su oranına bağlı dielektrik sabitlerinin değeri de bulunmuştur. En nihayetinde, her iki sonuç birleştirilerek aynı anda hem frekansa hem de yaprağın su oranına bağlı ampirik dielektrik sabiti formülü elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Dielektrik sabiti hesabı, S-parametrelerinden yayılma sabiti, Yayılma sabitinden dielektrik sabiti hesabı

**JÜRİ:** Doç. Dr. Selçuk HELHEL (Danışman)

Doç. Dr. Şükrü ÖZEN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR

## ABSTRACT

### MEASUREMENT and MODELLING of DIELECTRIC CONSTANTS of MONSTERA and MAGNOLIA LEAVES

YUNUS EMRE YORUK

M.Sc. Thesis in Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. SELCUK HELHEL

December, 2014, 51 pages

Dielectric properties of materials under test are the basic requirements to execute modelling, simulation and implementation of microwave technologies (communication and remote sensing). So, it is necessary to know dielectric constants of leaves which is basic components of vegetation. Dielectric constants of vegetation are directly proportional to moisture content and they can be determined empirically. It is not possible to mention general theoretical formula getting dielectric properties which is applied to all kind of leaves.

In this study,  $S_{11}$  and  $S_{21}$  values of monstera and magnolia leaves cutaway are measured at X-band during leaves are dried up in time. Using S parameters, propagation constants are calculated and then dielectric constants are calculated using these result of propagation constants. Changing of dielectric constant according to frequency is analyzed at 7 GHz – 9.2 GHz interval. Similarly, it is studied on the change of dielectric constants depending on moisture content of leaves. Finally, these two results are combined and empiric formulas of dielectric constants are obtained related to both frequency and moisture content.

**KEYWORDS:** Dielectric constant calculation of leaves, Dielectric constant from propagation, Propagation constant from s-parameters

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Selçuk HELHEL (Supervisor)  
Assoc. Prof. Dr. Şükrü ÖZEN  
Assist. Prof. Dr. Mehmet Fatih ÇAĞLAR

## ÖNSÖZ

Ülkemizde dielektrik özellikler üzerine yapılmış çalışma çok azdır. Türkçe kaynak bulmakta sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu gibi durumlar göz önünde bulundurularak tez başlığı belirlenmiştir.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren ve desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Selçuk HELHEL'e, bana her türlü yardımı ve desteği sağlayan aileme ve sevgili eşim Melek YÖRÜK'e teşekkür ederim.

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

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER .....	4
2.1. Dielektrik Malzemeler .....	4
2.1.1. Dielektrik Sabiti .....	4
2.2. S-Parametreleri (Saçılma Parametreleri) .....	5
2.3. Yayılma Sabiti .....	8
2.4. Yakın Alan ve Uzak Alan Teorisi .....	8
3. MATERYAL VE METOT .....	12
3.1. Ölçüm Yapılan Yer ve Ölçüm Düzeneği .....	12
3.2. Ölçüm Süreci ve Yöntemi .....	17
3.3. Hesaplama Yöntemleri .....	20
3.3.1. S-Parametrelerinden yayılma sabiti hesabı .....	20
3.3.2. Yayılma sabitinden dielektrik sabiti hesabı .....	21
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	24
4.1. Devetabanı Yaprığı Dielektrik Sabiti Analizi .....	24
4.1.1. Frekansa göre devetabanı yaprağı dielektrik sabiti .....	26
4.1.2. Devetabanı yaprağının su oranına göre dielektrik sabiti .....	29
4.2. Manolya Yaprığı Dielektrik Sabiti Analizi .....	34
4.2.1. Frekansa göre manolya yaprağı dielektrik sabiti .....	35
4.2.2. Manolya yaprağının su oranına göre dielektrik sabiti .....	39
4.3. Regresyon Analizi .....	43
6. SONUÇ .....	48
7. KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$A_0$	Kaynaktaki elektromanyetik enerji
$A_l$	$l$ noktasındaki elektromanyetik enerji
$c$	Vakumda ışık hızı
$cm$	Santimetre
$cos$	Kosinüs
$cosh$	Hiperbolik kosinüs
$D$	Maksimum anten boyu
$e$	Euler sayısı (2,71828...)
$E_i$	Gelen elektrik alan
$E_r$	Yansıyan elektrik alan
$f$	Frekans
$GHz$	Gigahertz
$gr$	Gram
$I$	Akım
$j$	Karekök '-1' ( $\sqrt{-1}$ )
$M$	Moisture Content (Göreceli su oranı)
$m$	Metre
$mm$	Milimetre
$R$	Direnç
$r$	Anten ile ölçüm noktası arasındaki mesafe
$S$	Saçılım matrisi
$s$	Saniye
$S_{ij}$	$i$ ve $j$ sayılarına karşılık gelen kapılara ait s-parametresi
$sin$	Sinüs
$sinh$	Hiperbolik sinüs
$V$	Voltaj
$w$	Radyan (frekans)
$Z$	Empedans
$Z_0$	Karakteristik iç direnç
$^{\circ}C$	Santigrat derece



$\pi$	Pi sayısı (3,14159...)
$\chi_e$	Elektriksel alınganlık
$\varepsilon$	Dielektrik sabiti
$\varepsilon_o$	Vakumun dielektrik sabiti
$\varepsilon_r$	Bağıl dielektrik sabiti
$\varepsilon'$	Dielektrik sabiti reel kısmı
$\varepsilon''$	Dielektrik sabiti sanal kısmı
$\mu_o$	Vakumun manyetik geçirgenlik sabiti
$\lambda$	Elektromanyetik dalga boyu
$\Gamma$	Yansıma katsayısı
$\gamma$	Yayıma sabiti
$\alpha$	Soğurulma katsayısı
$\beta$	Faz sabiti
$\theta(l)$	Elektromanyetik dalganın $l$ noktasındaki fazı
$\delta_r$	Uzak alan ile yakın alan arasındaki sınır

### **Kısaltmalar**

A.Ü.M.F.	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
DYA	Doyurulmuş yaprak ağırlığı
EM	Elektromanyetik
EMUMAM	Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi
GSO	Göreceli su oranı
KYA	Kuru yaprak ağırlığı
MS	Microsoft
RAM	Radiation absorbing materials (Işın emici madde)
RF	Radyo frekans
UEKAE	Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü
VNA	Vektör network analizör
YA	Yaprak ağırlığı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. İki kapılı devre ve s-parametre elemanları .....	7
Şekil 2.2. Uzak alan hesaplama gösterimi .....	9
Şekil 2.3. Reaktif yakın alan, Işıyan yakın alan ve Uzak alanın gösterimi .....	11
Şekil 3.1. Tübitak tarafından EMUMAM Anten ve Mikrodalga laboratuvarına kurulan cihaz.....	13
Şekil 3.2. Dielektrik ölçüm aparatı ve parçaları.....	14
Şekil 3.3. Dielektrik ölçümlerinde kullanılan yaprak tutucu .....	15
Şekil 3.4. Farklı büyüklüklerde piramit şekilli RAM .....	16
Şekil 3.5. Vektör network analizör blok şeması (Pozar 2004) .....	17
Şekil 4.1. GSO %50'de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı .....	26
Şekil 4.2. GSO %50'de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı .....	27
Şekil 4.3. GSO %32'de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı .....	28
Şekil 4.4. GSO %32'de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı .....	28
Şekil 4.5. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 7,5GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	30
Şekil 4.6. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 7,5GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	30
Şekil 4.7. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 8GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	31
Şekil 4.8. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 8GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	32
Şekil 4.9. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 9GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	33
Şekil 4.10. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 9GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	33

Şekil 4.11. GSO %48'de manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı .....	36
Şekil 4.12. GSO %48'de manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı .....	36
Şekil 4.13. GSO %29'da manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı .....	37
Şekil 4.14. GSO %29'da manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı .....	38
Şekil 4.15. Manolya yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 7,5GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	39
Şekil 4.16. Manolya yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 7,5GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	40
Şekil 4.17. Manolya yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 8GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	41
Şekil 4.18. Manolya yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 8GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	41
Şekil 4.19. Manolya yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 9GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	42
Şekil 4.20. Manolya yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 9GHz'de GSO'ya göre değişimi .....	43

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı tipik yalıtkan maddelerin dielektrik sabitleri ve kayıp tanjanları (Balanis 1989).....	5
Çizelge 3.1. Zamana göre yaprakların ağırlık ve kalınlık değişimi .....	19
Çizelge 4.1. Ölçüm yapılan zamana karşılık gelen yaprakların su oranı .....	24
Çizelge 4.2. Yöntem1 ve Yöntem2'ye ait 8 GHz'deki devetabanı yaprağı dielektrik sabitinin GSO'ya göre sonuçları .....	25
Çizelge 4.3. Yöntem1 ve Yöntem2'ye ait 8 GHz'deki manolya yaprağı dielektrik sabitinin GSO'ya göre sonuçları .....	35
Çizelge 4.4. Grafiklerin eğilim çizgilerine göre bulunmuş denklemlerin R <sup>2</sup> değerleri .....	44
Çizelge 4.5. Çoklu regresyon analizinde bulunan denklemlerin R <sup>2</sup> değerleri .....	47

## 1. GİRİŞ

Yeryüzünün büyük bir bölümünü bitki örtüsü kaplamaktadır. Günümüz teknolojisinin geldiği noktada elektromanyetik hesaplamalar için bitki örtüsü büyük önem arz etmektedir. Dielektrik özellikler bitkilerin sağlık durumları, gübre ihtiyaçları, yıllık ürün gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin yörüngedeki uydulardan alınan verilerle ilgili bölgenin o yılki buğday hasat miktarı belirlenebilmektedir. Ya da bir meyve bahçesinin gübreleme veya sulama zamanı, ürün kalitesi veya hasat durumu geri saçılım yani dielektrik ölçümleriyle tespit edilebilmektedir. Yine çok çeşitli ağaç türlerinin bulunduğu sık bir ormanda aradığınız ağacı sadece ölçüm yaparak bulmanız mümkündür. Ayrıca bitki örtüsüne ait radar kesit alanı verileri de hava ulaşımı, mobil haberleşme gibi birçok alanda kullanılabilir. Yani GSM baz istasyonu kapsama alanının bile bitkilerin dielektrik özelliklerine bağlı olduğunu söyleyebiliriz.

Bu çalışmada; tropik bölgelerde askeri havaalanı yerleşkelerinin çevresinde doğal olarak bulunan ve pek çok ülkede ise kampüs ve ofis alanlarında dekoratif bitki olarak tercih edilen devetabanı ve manolya yaprakları özellikle seçilmiştir. Bu bitkilerin uzaktan algılama ve radar ölçümleri ile yakın gelecekte kullanıma girmesi beklenen 6. Nesil haberleşme sistemleri için önem arz edeceği öngörülmüştür. 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 aşağıda sunulmuştur:

Şeker ve Abatay (2005), maddelerin dielektrik özelliklerinin frekansa bağlı olarak modellemesini yaptılar. Yürüttükleri bu çalışma 100 GHz'e kadar uygulanabilmektedir. Çalışma, karmaşık sayılarla uğraşmadan elektriksel parametreleri hesaplama yöntemi geliştirilmesiydi. İnsan uzuvları, su, toprak ve bitkiler için hesaplamalar yaparak en uygun değerleri buldular. Sonuçları da literatürdeki bilgilerle karşılaştırarak geçerliliğini ispatladılar.

Sarabandi ve Ulaby (1988), ince yayvan cisimlerin özellikle yaprakların dielektrik sabitini bulan teknik geliştirdiler. Sonlandırılmış dikedörtgensel dalga kılavuzuna yerleştirdikleri ince yalıtkan nesnenin yansıma katsayısını vektör network analizör ile büyüklük ve faz olarak ölçtüler. Sonrasında dielektrik sabitini yansıma katsayısına göre veren ifadeyi elde ettiler fakat bu yaklaşım sadece 1,5 GHz altındaki frekanslarda işe yarıyordu. Tekniklerinin daha yüksek frekanslarda da çalışması için derecesi daha büyük denklem kurarak elde ettikleri sonuçları nesnenin gerçekteki dielektrik sabiti ile karşılaştırdılar. Test ettikleri bitki yaprakları, teflon gibi nesnelere tekniklerini 8 - 12 GHz aralığında uyguladılar. Geliştirdikleri tekniğin 0,5 mm ve daha ince nesnelere 12 GHz'e kadar işe yaradığını gösterdiler.

Kraszewski ve Nelson (1990), iki adet horn anten arasına bazı tahıl ürünü örneklerini yerleştirerek bunlara ait kompleks iletim katsayılarını serbest hava boş

ortamda 4,8 GHz ve 9,4 GHz frekans değerlerinde ölçümlendiler. Elde ettikleri verilerle de mısır ve buğdayın dielektrik sabitini buldular. Çalışmada kullandıkları tahılların yoğunluk ve bünyesindeki su miktarı farklı farklıydı. Bu sayede tahıllara ait dielektrik özelliklerin yoğunluk ve su miktarına göre değişimini hata oranlarıyla birlikte vermişlerdir. Ayrıca, homojen olmayan toplu haldeki tahıl gibi nesnelerin ölçümünde serbest uzay boş alan metodunun avantajlı olduğunu da göstermişlerdir.

Chuah ve arkadaşları (1995), X-bandında tropikal ağaç olan kauçuk ve yağ palmyesi yapraklarının dielektrik sabitini su oranına göre ölçümleme ile buldular. Ölçümlerde sayısal network analizörden ve işlemlerde ise ince katman tekniğinden faydalandılar. Bunun yanında teorik değerleri de Ulaby ve El-Rayes'in (1987) ikili dağılım modeli ve Fung ve Fung'un (1977) basit dielektrik teorisi ile ayrı ayrı hesaplayarak kendi deneysel sonuçları ile karşılaştırdılar. Sonuç olarak Ulaby ve El-Rayes'in modeli ile daha doğru tahminlerin elde edildiği bilgisine ulaşmışlardır.

Borel ve McIntosh (1990), yaprak döken ağaçların geri saçılım ölçümlerini milimetrik dalga boyunda yaparak basit saçılım modeliyle açıklamaya çalıştılar. Yaprığın geri saçılım ölçümünü laboratuvar ortamında her biri için ayrı ayrı yaparak bunu gerçek ortamdaki ağacın tümü için radar kesit alanı hesabında kullanmaya çalıştılar. Sonuç olarak da planophil ve erectophil ağaçlarının 215 GHz'de geri saçılım değerlerinden ayırt edilebileceğini göstermişlerdir.

Hardin ve arkadaşları (2012), pekan cevzinin verimini mikrodalga geri saçılımı ile yerinde karasal radar kullanarak tespit edebilmek için çalışma yapmışlardır. Yörüngedeki uydulardan elde edilen verilerin yetersiz olması ve tam doğru sonuçlara götürmemesi nedeniyle yerinde yani ürünün yetiştiği bahçede radar ölçümlerini yapmanın daha iyi olacağını düşünmüşlerdir. Bu amaçla farklı su oranlarına sahip pekan cevzini, yaprağını ve dallarını bir araya getirerek değişik kombinasyonlarda 1 – 18 GHz frekans aralığında vektör network analizör ile laboratuvar ölçümleri almışlardır. Yani doğal ortamdaki ağacın verilerini test ortamı olan laboratuvarda elde etmeye çalışmışlar ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara regresyon analizini uygulayarak ürün verimini tahmin eden formüller çıkarmışlardır. Ayrıca bu yöntemin başka cins ürünlere de uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Akhtar ve Thumm (2012), silindir şekilli yalıtkan cisimlerin dalga kılavuzu ile dielektrik özelliklerini belirleyecek çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında dikdörtgensel biçimli dalga kılavuzunun e-düzlemine yerleştirdikleri silindirik cismin yansıma ve iletim katsayılarını ölçerek analitik yaklaşımla değerlendirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntem ile saçılım katsayılarından test ettikleri cisim örneklerinin dielektrik özelliklerini belirlemişlerdir. Ayrıca buldukları sonuçlarda hata oranlarının %5'den az olduğunu göstermişlerdir.

Bu tezde bitkilerin temel bileşeni olan yaprakların dielektrik özellikleri üzerine yapılan çalışma anlatılmıştır. Birbirine benzer özelliklerde olan devetabanı ve manolya

yapraklarının bünye parametrelerinden olan elektriksel geçirgenlik değerinin reel ve sanal kısımları, vektör network analizör ile elde edilmiş olan S parametreleri aracılığı ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamada ölçülen  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri kullanılarak önce yayılma sabiti sonrasında yayılma sabiti değerleri ile de yaprakların dielektrik sabitleri bulunmuştur. Son olarak da çoklu regresyon analizi ile yaprakların barındırdığı su oranı ve uygulanan frekansa bağlı ampirik formüller elde edilmiştir.

## 2. KURAMSAL BİLGİLER

### 2.1. Dielektrik Malzemeler

Bu maddelerin yapısındaki elektronlar serbest halde değildirler yani yalıtkandırlar. Diğer bir ifadeyle özdirençleri çok yüksektir, bu yüzden elektrik akımını iletmezler ya da çok az iletirler. İletkenlerde olduğu gibi elektrik akımını ileten gezici serbest elektronları yoktur. Uygulanan elektriksel alandan etkilenecek kutuplaşma özelliği taşırlar. Bu elektronik kutuplaşma tüm dielektrik malzemelerde görülür ve maddelerin uygulanan elektrik alanla etkileşimi sonucu kutuplaşması farklı farklıdır. Bu etkileşim dielektrik (yalıtkanlık) sabiti ile karakterize edilmiştir (Balanis 1989).

#### 2.1.1. Dielektrik sabiti

Yalıtkan bir maddenin elektriksel alandan nasıl etkilendiğinin ölçümüdür, yani ortamdaki birim yük başına ne kadar elektriksel alan oluştuğunu gösterir. Bir başka ifadeyle bir yalıtkanın elektriksel alana karşı kutuplaşma yoğunluğunun derecesini ölçer. Ayrıca malzemenin üzerinde yük depolayabilme yeteneği olan elektriksel alınganlığı ( $\chi_e$ ) ifade etmeye yarayan katsayıdır. ' $\epsilon$ ' simgesi ile gösterilir, birimi de Farad/metre(F/m)'dir (Taylor ve Thompson 2008).

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 = (1 + \chi_e) \epsilon_0 \quad (2.1)$$

işleminde kolaylık olması için bir maddenin dielektrik sabiti ( $\epsilon$ ) vakum dielektrik sabitine ( $\epsilon_0$ ) göre yukarıda denklem (2.1)'de gösterildiği gibi ifade edilebilir ve buna bağlı dielektrik sabiti ( $\epsilon_r$ ) denir (Balanis 1989).

Vakum dielektrik sabiti ise boş uzayın sahip olduğu yalıtkanlık özelliğini ifade eder. Sayısal değeri ise aşağıda verilmiştir (Taylor ve Thompson 2008):

$$\epsilon_0 = \frac{1}{c^2 \mu_0} = \frac{1}{35950207,4727056\pi} \text{ F/m} \approx 8,8541878176 \dots \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (2.2)$$

Burada ' $c$ ' ışığın boşluktaki hızını ( $299.792.458 \text{ ms}^{-1}$ ),  $\mu_0$  ise boşluğun manyetik geçirgenliğini ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$ ) ifade etmektedir (Taylor ve Thompson 2008).

Dielektrik sabiti genel olarak karmaşık sayı formatındadır. Karmaşık sayı formatında genel yazım şekli denklem (2.3)'de aşağıda verilmiştir:

$$\epsilon_r = \epsilon_r' + j\epsilon_r'' \quad (2.3)$$

burada  $\epsilon_r$  boşluğun elektriksel geçirgenliğine göre yani bağlı olarak gösterilmiştir. Bağlı olmayan ifadesinin formatı da aynıdır ( $\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$ ).  $j$  değeri kompleks sayılarda kullanılan  $\sqrt{-1}$ 'e karşılık gelmektedir.



Ayrıca bazı gösterimlerde  $\epsilon_r'$  ifadesi kayıp tanjant ( $\tan\delta$ ) ile birlikte verilmektedir. Kayıp tanjant dielektrik sabiti sanal kısmının reel kısmına ( $\epsilon_r''/\epsilon_r'$ ) oranıdır ve böylelikle  $\epsilon_r''$  bulunabilir (Balanis 1989). Aşağıdaki yer alan Çizelge 2.1'de çok bilinen bazı yalıtkan maddelere ait dielektrik sabiti değerleri paylaşılmıştır.

Çizelge 2.1. Bazı tipik yalıtkan maddelerin dielektrik sabitleri ve kayıp tanjantları  
(Balanis 1989)

<i>Maddenin adı</i>	$\epsilon_r'$	$\tan\delta$
Hava	1,0006	-
Karbondiyoksit	1,001	-
Saf su	80	$4 \times 10^{-2}$
Deniz suyu	81	4,64
Buz	4,2	0,1
Kar	3,3	0,5
Kuru toprak	2,8	$7 \times 10^{-2}$
Cam	4 - 7	$1 \times 10^{-3}$
Borcam	4	$6 \times 10^{-4}$
Etil alkol	25	0,1
Mika	5,4	$6 \times 10^{-4}$
Naylon	3,5	$2 \times 10^{-2}$
Kâğıt	3	$8 \times 10^{-3}$
Polyester	2,56	$5 \times 10^{-5}$
Porselen	6	$14 \times 10^{-3}$
Kauçuk	2,5 - 3	$2 \times 10^{-3}$
Silikon	11,8	-
Strafor	1,03	$1 \times 10^{-4}$
Teflon	2,1	$3 \times 10^{-4}$
Kuru tahta	1,5 - 4	$1 \times 10^{-2}$

## 2.2. S-Parametreleri (Saçılma Parametreleri)

Saçılma parametreleri literatürde yaygın olarak S parametreleri ifadesiyle bilinmektedir. S parametreleri ilk defa Vitold Belevitch'in 1945 tarihli tezinde yer bulmuştur (Belevitch 1962). Belevitch'in çalışmasında kullandığı isim dağılımı (repartition) matrisiydi. Tam olarak aynı ifadeyle saçılım matrisi terimi ise 1947 yılında radarlar üzerinde çalışan Robert Henry Dicke (1947) tarafından ortaya konmuştur.

Bir elektriksel devrenin giriş ve çıkış terminalleri arasındaki ilişki Saçılma parametreleri ile ifade edilir.  $N$  tane kapısı bulunan, karmaşıklık yapısı ve devre elemanları tam bilinmeyen sistem kapalı kutu devre olarak adlandırılır. Bu devrenin  $N^2$  tane  $S$  parametresi bulunur. Bu da devrenin  $N$  boyutlu bir kare matrisi olduğu anlamına gelir. Devredeki kapı terimi ise elektriksel işaretlerin devreye girdiği ya da çıktığı noktaları ifade etmektedir.

$S$  parametreleri genel olarak kompleks sayılardan oluşur. Ayrıca  $S$  parametreleri ile kullanılan frekans, karakteristik empedans (genelde  $50 \Omega$ ) ve devreyi etkileyebilecek sıcaklık gibi büyüklüklerle birlikte belirtilmelidir.

$N$  kapılı bir devrede giden ve gelen güç dalgaları sırasıyla  $a_n$  ve  $b_n$  şeklinde tanımlanırsa;

$$a_n = \frac{1}{2} \frac{(V_n + Z_0 I_n)}{\sqrt{|R\{Z_0\}|}} \quad (2.4)$$

$$b_n = \frac{1}{2} \frac{(V_n + Z_0^* I_n)}{\sqrt{|R\{Z_0\}|}} \quad (2.5)$$

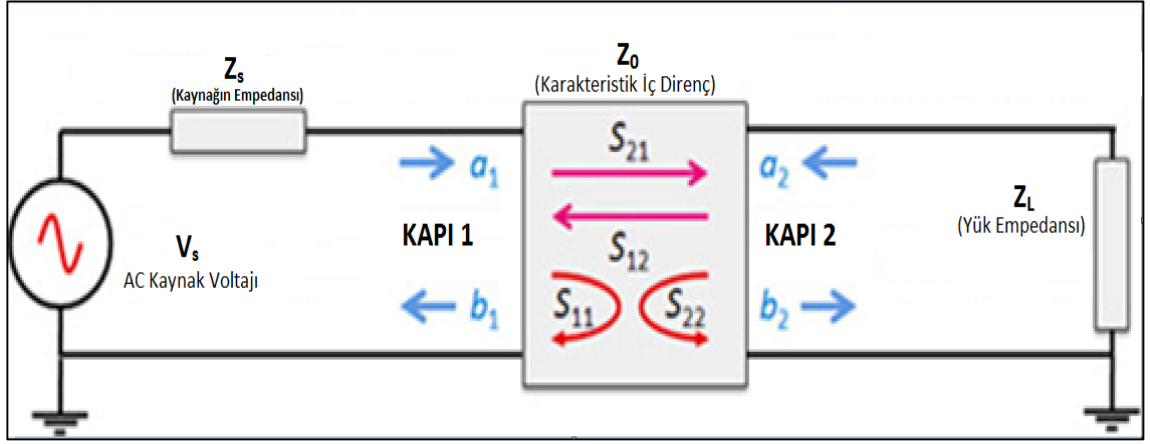
$$b_n = S a_n \quad (2.6)$$

şeklinde bulunur (Riad ve Jing 2010). Verilen denklemlerde  $Z_0$  karakteristik empedansı,  $V_n$  voltajı,  $I_n$  akımı ve  $R$  direnci ifade eder. Ayrıca, burada ifade edilen ' $S$ ' değeri  $N \times N$ 'lik bir kare matristir. Bu matrisin elemanları da;

$$S_{ij} = \left. \frac{V_i}{V_j} \right|_{V_k^+ = 0} \quad (2.7)$$

şeklinde bulunur. Yani  $S$  matrisine ait  $S_{ij}$  ifadesi  $j$  kapısının  $V_j$  değeri ile beslendiğinde  $i$  kapısından  $V_i$  değerinin ölçülmesi ve bunların oranı ile bulunur (Agilent 2004).

Şekil 2.1'deki gibi iki kapılı bir devre ele alınıp akım ve gerilim yerine  $S$  parametreleri kullanılırsa;



Şekil 2.1. İki kapılı devre ve s-parametre elemanları

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (2.8)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

(2.8) ve (2.9)'da verilen denklemler elde edilir. Bu denklemlerin matris formunda yazılmış hali de (2.10)'da paylaşılmıştır.  $S_{11}$  giriş yansımaya katsayısı,  $S_{21}$  ileri iletim katsayısı,  $S_{12}$  geri iletim katsayısı ve  $S_{22}$  çıkış yansımaya katsayısı olarak ifade edilirler. Bu kısımda anlatılan saçılma parametrelerinin nümerik değerleri ise aşağıda verilen formüllerle bulunabilir (Agilent 2004).

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.11)$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.12)$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.13)$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.14)$$

### 2.3. Yayılma Sabiti

Elektromanyetik dalganın belirli bir yönde ilerlerken genlik ve faz olarak geçirmiş olduğu değişimi ölçümlemeye yarayan ifadedir. Bu değişimin etkilediği ölçüt voltaj, akım veya alan vektörü olabilir. Yayılma sabiti her bir metredeki değişimi ifade ediyor olsa da kendisi boyutsuzdur. Bazı kaynaklarda ‘yayılma katsayısı, iletim katsayısı, yayılma parametresi’ gibi farklı isimler de kullanılmaktadır.

Yayılma sabitini bulmak için bir elektromanyetik dalganın  $l$  uzaklığındaki genliğinin kaynağındaki genliğine oranı alınır;

$$\frac{A_0}{A_l} = e^{-\gamma l} = e^{-(\alpha + j\beta)l} = e^{-\alpha l} e^{-j\beta l} \quad (2.15)$$

eşitliği yazılabilir (Stiles 2005). Burada yer alan yayılma sabiti genel olarak  $\gamma$  simgesi ile gösterilir ve çoğunlukla kompleks sayılardan oluşur.

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.16)$$

denklemini en çok kullanılan gösterim şeklidir. Burada,  $\alpha$  reel kısımdır ve soğurma katsayısı olarak adlandırılır.  $\beta$  ise sanal kısımdır ve faz sabiti olarak adlandırılır.

$|e^{-j\beta l}|=1$  olduğundan yayılma sabitinin değer olarak büyüklüğünü sadece  $e^{-\alpha l}$  belirler (Stiles 2005). Bundan dolayı soğurma sabiti,  $\alpha$  elektromanyetik dalganın ilerlerken ortamdaki kaybını belirtir. Diğer bir ifadeyle kaynaktan uzaklaştıkça ne kadar soğurulma olduğunu gösterir. Birimi *neper/metre*<sup>1</sup> (Taylor ve Thompson 2008).

Elektromanyetik dalganın fazındaki değişimi ise faz sabiti,  $\beta$  belirtir. Euler’s denklemini kullanarak aşağıdaki ifadeyi yazarsak;

$$e^{j\theta(l)} = e^{j\beta l} = \cos(\beta l) + j \sin(\beta l) \quad (2.17)$$

bu denklemde elektromanyetik dalganın  $l$  noktasındaki fazı  $\theta(l)$ ’yi  $\beta l$  ile bulabiliriz.  $\theta(l)$ ’nin birimi radyan ve  $l$  mesafesi de metre olduğundan faz sabiti  $\beta$ ’nin birimi *radyan/metre*<sup>1</sup> (Stiles 2005).

### 2.4. Yakın Alan ve Uzak Alan Teorisi

Elektromanyetik dalgalarla yapılan ölçümlerde farklı hesaplama teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında en yaygın olanları uzak alan ve yakın alan ölçüm

---

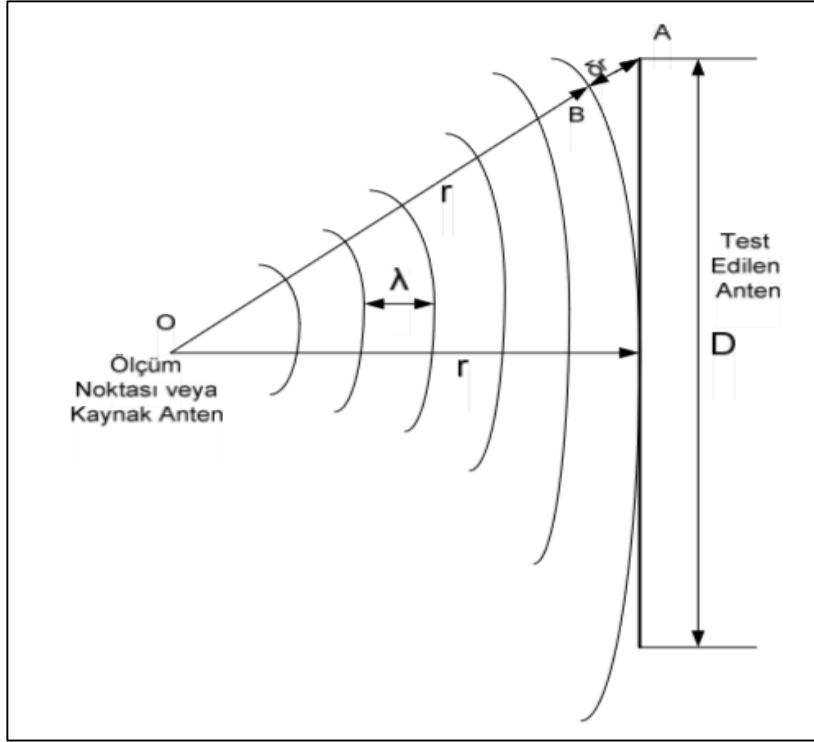
<sup>1</sup> Bir neper yaklaşık 8,7 dB’dir.

teknikleridir. Buradaki temel prensip elektromanyetik özellikleri ölçülen cismin kaynağa göre bulunduğu pozisyonudur. Ölçülen cismin uzak alanda mı yoksa yakın alanda mı olduğuna karar verilirken; elektromanyetik dalga boyu ve cismin en büyük boyutu belirleyici faktördür.

Ölçümlerin uzak ya da yakın alanda olmasına göre hesaplamalarda farklı yöntemler uygulanır. Doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki temel yöntemden bahsedebiliriz. Uzak alan verisi doğrudan yöntemle hesaplanabilirken yakın alan ölçümleri dolaylı yöntem kullanılarak hesaplanır. Dolaylı yöntemde veriler karmaşık hesaplarla uzak alan verisine dönüştürülür ve daha sonrasında elde edilen veriler kullanılır (Samii vd 1995).

Yakın alan ölçümlerinde gereksinimlere göre düzlemsel yakın alan, silindirik yakın alan ve küresel yakın alan gibi yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan deneye göre kullanılacak yönteme karar verilir. Burada alınan ölçümlere ve uygulanan tekniğe en uygun yöntemi seçmek önemlidir, çünkü kullanılan yöntem sonuçları ve hesaplama karmaşıklığını etkileyen önemli bir faktördür.

Uzak alan hesaplamasında Şekil 2.2'den anlaşılacağı üzere uzak alan ile yakın alan arasındaki sınır değeri;



Şekil 2.2. Uzak alan hesaplama gösterimi

$$\delta_r = \overline{OA} - \overline{OB} \quad (2.18)$$

şeklinde bulunur. Ve bu formül yine Şekil 2.2'deki çizimde yer alan bilgilerle çözümlenirse;

$$\delta_r = \sqrt{r^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2} - r \quad (2.19)$$

ifadesi elde edilir.

Uzak alanlarda  $r$  mesafesinin  $D$  boyutundan çok büyük olduğunu düşünürsek ( $r \gg D$ ) ve yukarıdaki formülde binom açılımını kullanılırsak (Kurnaz 2012);

$$\delta_r = r \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{D}{2r}\right)^2} - 1 \right] \approx \frac{D^2}{8r} \quad (2.20)$$

şeklinde yaklaşık çözümü sağlarız.

$\delta_r$ 'nin bir dalga boyunun on altıda biri veya daha az olması durumunda ölçümü yapılan bölgenin uzak alan olduğu genel kabul gören görüş haline gelmiştir (Mahafza 2005). Bu bilgiyi kullanarak aşağıdaki eşitsizliği yazıp bunu  $r$  için çözdüğümüzde;

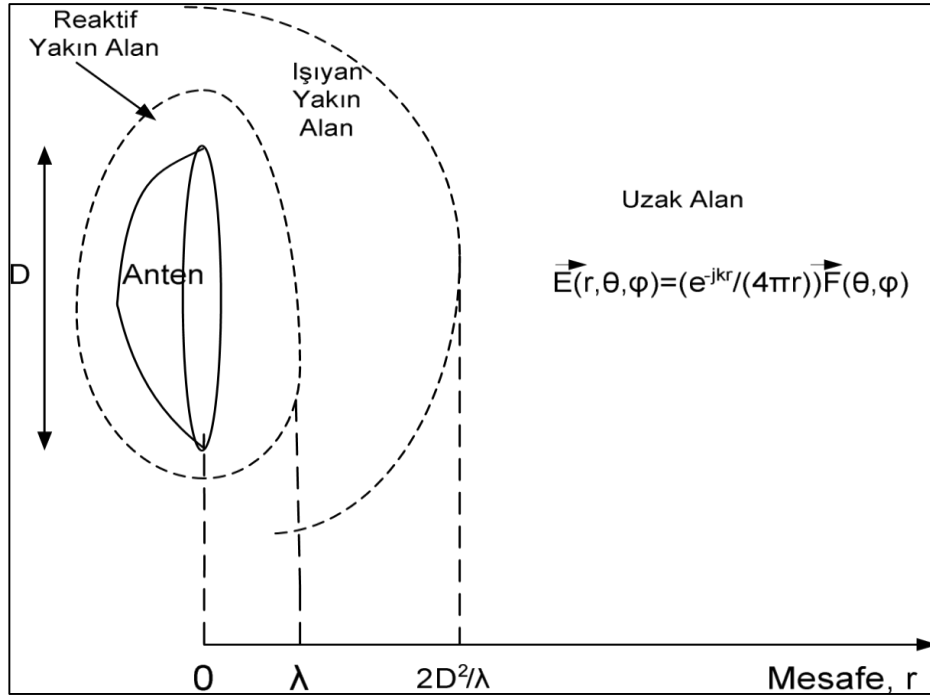
$$\delta_r = \frac{D^2}{8r} \leq \frac{\lambda}{16} \quad (2.21)$$

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.22)$$

ifadesini elde ederiz. Uzak alan sınır mesafesinin hedefteki cisim veya anten boyutuna ve çalışılan frekansa (dalga boyu) bağlı olduğunu görmekteyiz.

Hedefteki cismin  $2(D^2/\lambda)$  mesafesinden daha uzakta olduğu bölgeye uzak alan bölgesi denilir ve hesaplamaları buna göre yapılır. Bu bölgede yayılan elektrik ve manyetik alanlar radyal mesafe ile değişim gösterirler. Ayrıca, bu bölgede küresel dalga faktörü bastırılarak uzak alan ışınması sadece açılal koordinatların fonksiyonu olarak yazılması sağlanabilir (Samii vd 1995).

Yakın alan ifadesi ise uzak alan sınırını belirleyen  $2(D^2/\lambda)$  mesafesi ile kaynak arasında kalan bölgeyi ifade etmektedir. Yakın alan kendi içerisinde 'reaktif yakın alan' ve 'ışık yakın alan' olarak Şekil 2.3'de görüldüğü üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.3. Reaktif yakın alan, Işıyan yakın alan ve Uzak alanın gösterimi

Reaktif yakın alan  $D$  büyüklüğündeki anten ile  $\lambda$  dalga boyu mesafesine kadar olan bölgeyi ifade eder (Şekil 2.3). Bu bölgede yüksek miktarda yayılmadan depolanmış enerji bulunur ve elektromanyetik alanlara ait dalga empedansı büyük oranda reaktiftir.

Işıyan yakın alan ise antenin  $\lambda$  dalga boyu kadar uzağından başlayıp  $2(D^2/\lambda) + \lambda$  kadar olan mesafeyi ifade eder (Balanis 2005).  $\lambda$  dalga boyu GHz seviyesindeki frekanslar ile yapılan ölçümlerde  $D^2/\lambda$  terimine göre çok küçük olacağından bölge sınırı genel olarak  $2(D^2/\lambda)$  ile ifade edilir<sup>2</sup>. Ayrıca, elektromanyetik alanlar bu bölgede faz baskın olarak yayılır (Samii vd 1995).

<sup>2</sup>  $\lambda$  dalga boyu kadar olan mesafe ihmal edilmiştir ve Şekil 2.3 buna göre çizilmiştir.

### **3. MATERYAL ve METOT**

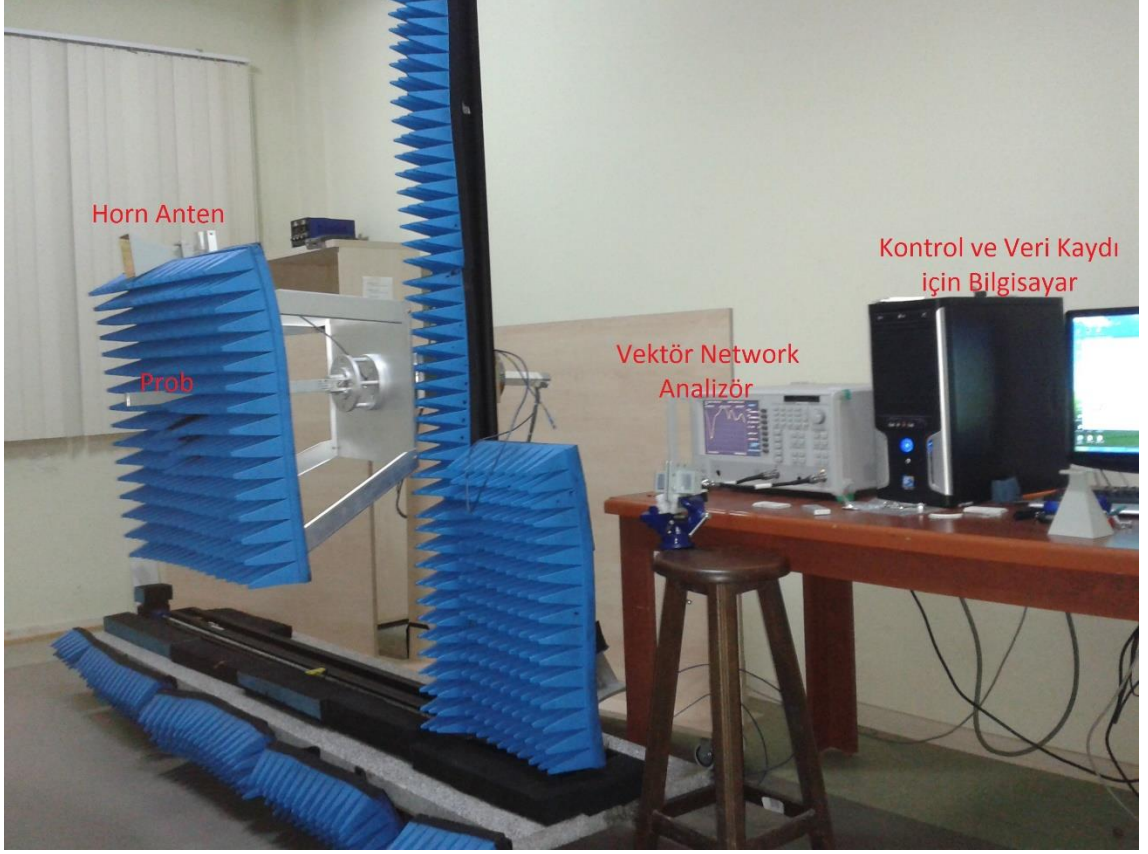
Çalışmamızın bu bölümünde kullanılan donanım ve yöntemlere yer verilmiştir. Ayrıca formüller ve çıkarımlar bu bölümde yapılmış ve sonraki bölümde kullanılmıştır.

#### **3.1. Ölçüm Yapılan Yer ve Ölçüm Düzenegi**

Ölçümler Akdeniz Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EMUMAM) yer alan Anten ve Mikrodalga Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvarında ölçümlerin yapıldığı alana her biri 60x60 cm boyutlarında 8 adet piramit şekilli dalga emici süngerler döşenmiş ve bunların ortasına da 1 adet aynı boyutlarda ızgara şekilli dalga emici sünger yerleştirilmiştir.

EMUMAM Anten ve Mikrodalga laboratuvarına TÜBİTAK-UEKAE tarafından yakın alan ölçüm sistemi kurulmuş ve TÜBİTAK-UME tarafından da vibrasyon testleri yapılarak tescillenmiştir. Bu sistemde bir adet vektör network analizör (Anritsu MS4624B), bir adet masaüstü bilgisayar, bir adet horn anten, bir adet anten probu, mekanik aksam, üç adet adım motoru (Velmex PK264-03A-P1) ve bunları yöneten iki adet adım motoru denetleyicisi (Velmex VXM) yer almaktadır. İlaveten, bu sistemde probun ucuna takılıp sökülebilen içine yaprak gibi nesnelere koyarak dielektrik özellikleri ölçmede kullanılan bir adet metal aparat da bizim tarafımızdan yaptırılmıştır. Ayrıca, yansıyan dalgaların sisteme olan etkisini en aza indirmek için ölçüm probunun etrafı ve mekanizmadaki metal parçalar mümkün olduğunca dalga emici süngerlerle kaplanmıştır. Cihazın genel görünümü aşağıda Şekil 3.1'de verilmiştir.





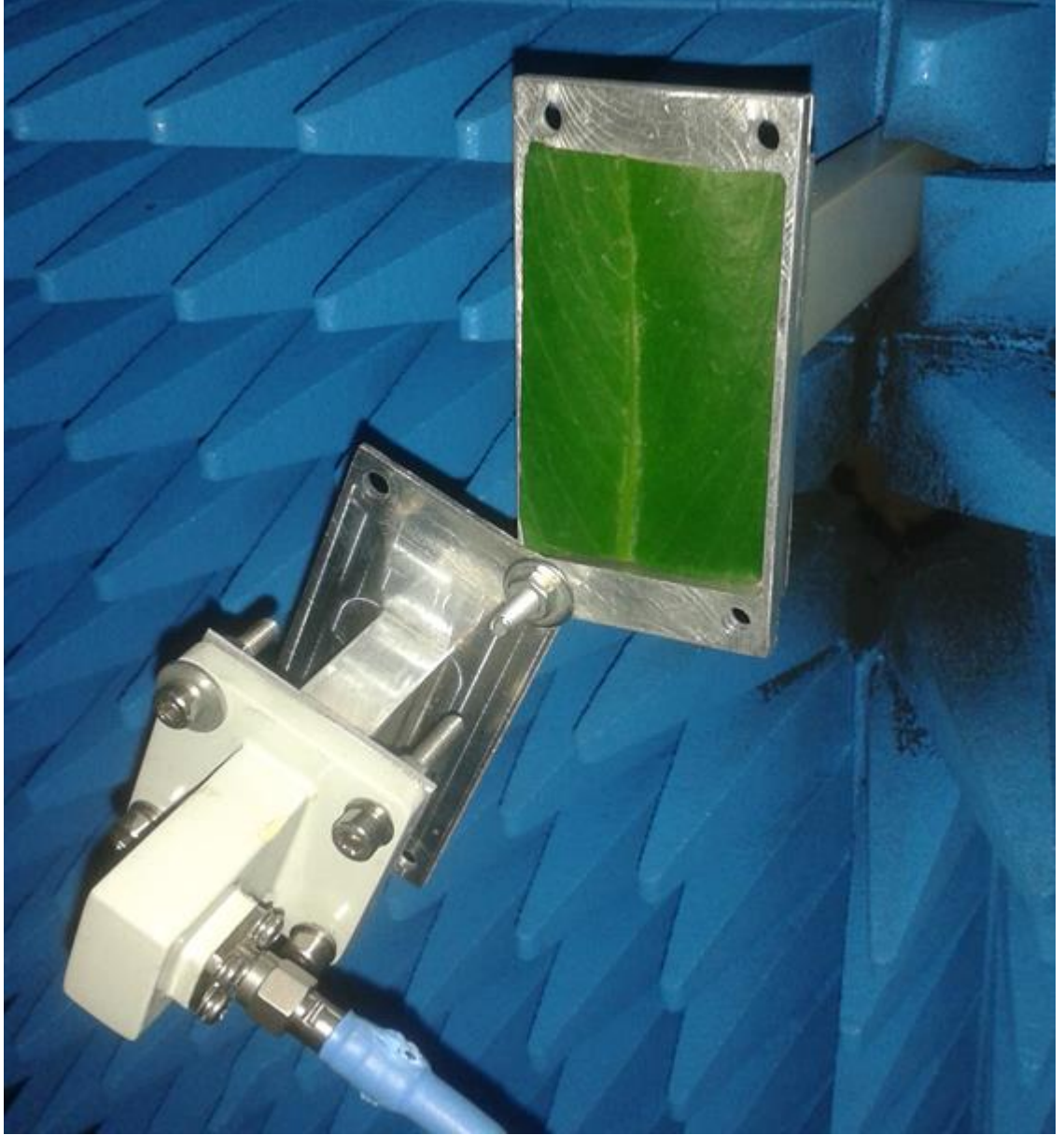
Şekil 3.1. Tübitak tarafından EMUMAM Anten ve Mikrodalga laboratuvarına kurulan cihaz

Ayrıca dielektrik sabitini bulabilmek amacıyla testlerde kullanılmak üzere dalga kılavuzu yaptırılmıştır. Bu kılavuzun her iki ucu da açıktır. Bir ucuna verici anten bağlanabiliyorken diğer ucu proba geçirilerek takılmaktadır. Oluşturmuş olduğumuz bu düzeneğe ait resimler Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te görülebilir.



Şekil 3.2. Dielektrik ölçüm aparatı ve parçaları

Şekil 3.2’de yer alan aparatın kılavuz boyutu 2 x 1 cm’dir ve parçalar birleştiğinde bu kısım devamlılık sağlar. Ayrıca, Şekil 3.3’de daha iyi görülebilen ve yaprakların koyulduğu kısım olan yerin boyutları ise 6 x 4 cm’dir.



Şekil 3.3. Dielektrik ölçümlerinde kullanılan yaprak tutucu

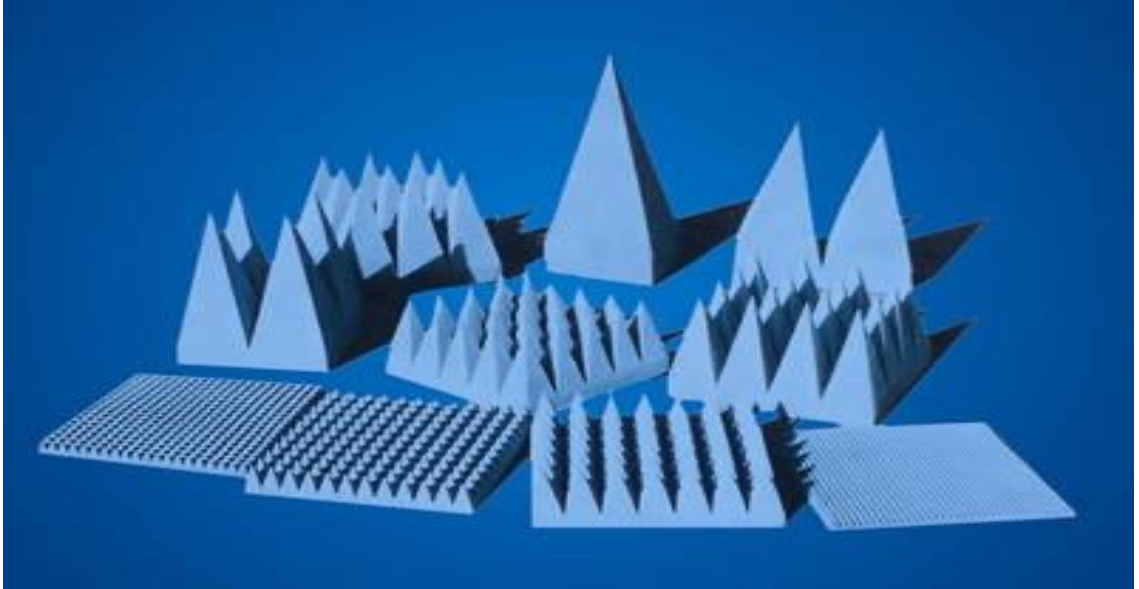
Ölçüm yapılan ortamda çevreden gelen Radyo Frekans (RF) ışınları mümkün olduğunca istenmez ve parazit olarak ifade edilir. Buradan hareketle laboratuvar ortamlarında genellikle Dalga Emici Maddeler (Radiation Absorbing Materials, RAM) kullanılır. Kullanılan RAM ne kadar verimli olursa dış ortamdan gelen ve ayrıca sistemde yansıyan RF dalgalar o kadar az olur.

Dalga Emicilerin (RAM) verimliliği gelen ve giden düzlemsel dalgaların büyüklüğünün kıyaslanması ile ölçülür. Bu kıyaslama yansıma katsayısı olarak isimlendirilir ve aşağıdaki şu ifade ile belirtilir (Kurnaz 2012);

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \quad (3.1)$$

burada  $E_r$  yansıyan (reflected) elektrik alanı ve  $E_i$  ise ilk gelen (insident) elektrik alanı belirtir.

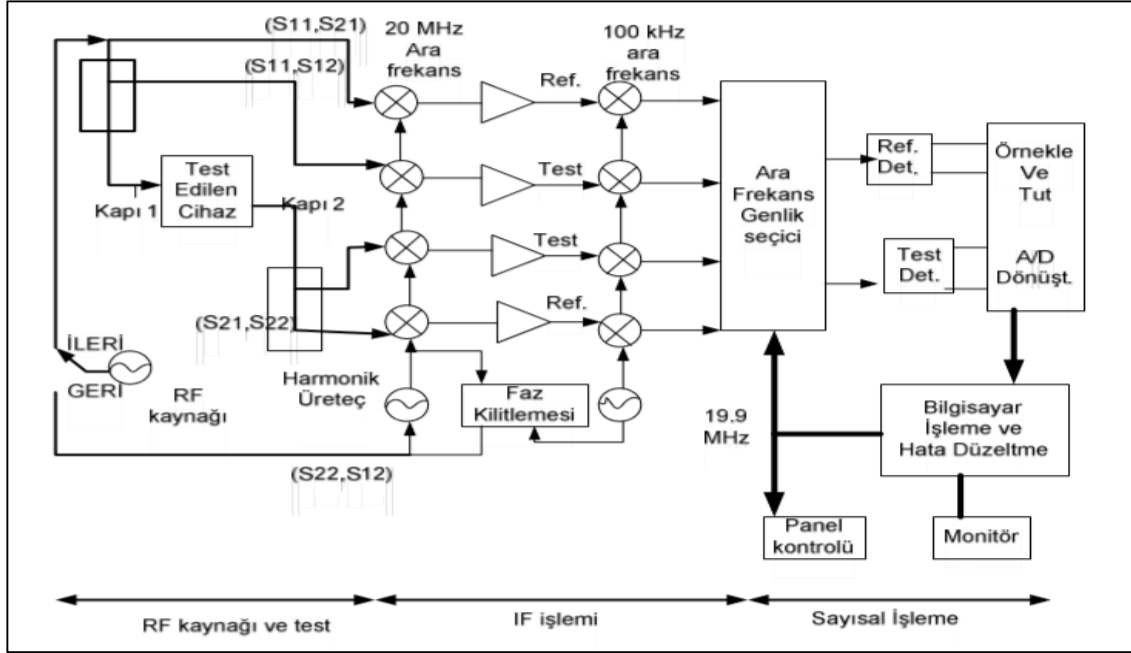
Farklı şekillerde RAM'ler bulunmakla birlikte en çok tercih edilenlerden biri olan ve bizimde deneylerimizde odayı yalıtım için kullandığımız Şekil 3.4'te görülen piramit şekilli parça dizileridir. Piramit şekilli RAM'ler genelde karbon-demir karışımından ve kauçuk ile kaplanmış sünger köpükten oluşur. Piramit şekillerinin büyüklüğü ise kullanılacak frekansa ve gerekli soğurma miktarına göre belirlenir. Düşük frekanslarda daha büyük piramit boyu gerekirken yüksek frekanslarda küçük boyutlardaki piramitler yeterli olmaktadır. Ayrıca, RAM'ler yerleştirilirken piramidin uç kısmı sinyalin geldiği tarafa bakacak şekilde konumlandırılması sağlanır. Bu sayede gelen ışınlar piramidin içinde maksimum saçılım yapar ve her yansımada biraz daha zayıflayan sinyal az enerji ile dönmüş olur.



Şekil 3.4. Farklı büyüklüklerde piramit şekilli RAM

Vektör network analizör iki ya da dört kanallı olarak tasarlanmış iletilen veya yansıyan mikrodalgaların genlik ve fazını ölçen cihazlardır. S parametre ölçümlerinin yapılmasında sıklıkla vektör network analizörler (VNA) kullanılmaktadır. VNA belirli bir RF bant aralığında çalışacak şekilde ayarlanır. Reflektometre ile yansıyan ve iletilen RF dalgaları örneklenir ve daha sonra sayısal veriler haline getirilir. Ana işlemci bilgisayar ise dalga oranı, dönüş kaybı, grup gecikmesi, empedans gibi parametreleri

hesaplar ve kullanıcı ara yüzüne yansıtır. Aşağıdaki Şekil 3.5'te örnek bir vektör network analizörün blok şeması paylaşılmıştır.



Şekil 3.5. Vektör network analizör blok şeması (Pozar 2004)

### 3.2. Ölçüm Süreci ve Yöntemi

Ölçümler Akdeniz Üniversitesi EMUMAM binasında yer alan Anten ve Mikrodalga laboratuvarında yapılmıştır. Ölçümler ve hazırlık 28 Ocak 2013 Pazartesi - 5 Şubat 2013 günleri arasında yapılmıştır. Test sürecinde havanın nem oranı genel olarak %55-%65 arasında ölçülmüş ve çok fazla değişim görülmemiştir. Ölçüm sonuçlarının kayıt edilmesi için VNA'ya bağlı "mskol" programı kullanılmıştır. Bu programın parametreleri; merkez frekansı 8 GHz, erim (span) 2,2 GHz, başlangıç frekansı 7 GHz, bitiş frekansı 9,2 GHz ve nokta sayısı 401 olacak şekilde ayarlanmıştır. Ölçüm sonuçları karmaşık sayılar cinsinden S parametreleri olarak alınmıştır.  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  verileri program aracılığı ile elde edilirken sing tarama modu kullanılmıştır.

1.gün (28 Ocak): Daha çok ön çalışmalar yapıldı. Ölçüme alınan nesnelere konum yerleri ayarlandı. Tübitak cihazı konumlandırılmasının yapılacağı yere karar verildi. Daha sonrasında tüm ölçümler bu referans nokta kullanılarak yapıldı. Ölçüm için kullanılacak yapraklardan manolya örnekleri Akdeniz Üniversitesi'nin Uncalı giriş kapısı ile Edebiyat Fakültesi arasında kalan yol kenarındaki peyzaj ağaçlarından seçildi. Devetabanı yaprakları ise Doç. Dr. Selçuk HELHEL'in odasında bulunan saksıdaki devetabanı süs bitkisinden alındı. Ölçümlerde yerleştirileceği alan olan yaprak tutucunun

içine tam sığacak şekilde 4x6 cm boyutlarında kesildi. Yapraklarda maksimum su yoğunluğu ile ölçümlere başlayabilmek için yaprak örnekleri su dolu kabın içine bir geceliğine bırakıldılar.

2.gün (29 Ocak): Yapraklar sudan çıkarıldı. Ve bezle kurularak su damlacıkları uzaklaştırıldı. Testlere başlamadan önce test sonuçlarını etkilemesi muhtemel olan sıcaklık faktörü klima yardımıyla 20°C'ye sabitlendi. Ölçümlere devetabanı yaprağı ile akşam başlandı. Öncesinde devetabanı numune kesitinin ağırlığı 0,814 gram ve kalınlığı 0,42 milimetre olarak ölçüldü. Sonrasında manolya yaprağı dielektrik ölçümlerine geçildi. Manolya yaprak ağırlığı 0,910 gr ve kalınlığı 0,49 mm olarak ölçüldü. Ölçümler yapılırken yaprakların önce bir yüzüyle (üst) sonra ters çevrilerek diğer yüzüyle (alt) testler yapıldı.

3.gün (30 Ocak): Testlere başlamadan önce klima yardımıyla sıcaklık 20°C'ye ayarlandı. Sabahki ölçümlerde devetabanı yaprak ağırlığı 0,571 gr ve manolya yaprağı 0,651 gr olarak ölçüldü. Devetabanı yaprak kalınlığı 0,37 mm ve manolya yaprak kalınlığı 0,45 mm olarak ölçüldü. Akşam yapılan testlerde ise devetabanı 0,529 gr ve manolya ise 0,619 gr olarak tartıldı. Kalınlığı da devetabanı 0,36 mm ve manolya 0,44 mm olarak ölçüldü.

4.gün (31 Ocak): Sabah ilk olarak oda sıcaklığı 20°C'ye ayarlandı. Sabahki ölçümlerde devetabanı yaprak ağırlığı 0,472 gr ve manolya yaprağı 0,562 gr ölçüldü. Devetabanı yaprak kalınlığı 0,35 mm ve manolya yaprak kalınlığı 0,42 mm olarak ölçüldü. Akşam yapılan testlerde ise devetabanı yaprak ağırlığı 0,454 gr, kalınlığı da 0,35 mm ve manolya yaprak ağırlığı 0,541 gr, kalınlığı da 0,40 mm olarak ölçüldü.

5.gün (1 Şubat): Öncelikle sıcaklık 20°C'ye ayarlandı. Sabahtan alınan ölçüm sonuçlarının kompleks veriler yerine mutlak veriler şeklinde alındığı için bu çalışmada kullanılamamış ve değerlendirme dışı bırakılmıştır. Akşam yapılan testlerdeki ölçüm sonuçlarında sorun yoktur ve çalışmada kullanılmıştır. Devetabanı yaprak ağırlığı 0,415 gr ve manolya yaprak ağırlığı da 0,488 gr olarak ölçülmüştür. Devetabanı yaprak kalınlığı 0,33 mm ve manolya yaprak kalınlığı 0,36 mm olarak ölçülmüştür.

6.gün (2 Şubat): İlk olarak oda sıcaklığı klima yardımıyla 20°C'ye ayarlandı. Sonrasında yaprak ölçümlerine geçildi. Devetabanı yaprak ağırlığı 0,390 gr ve manolya yaprak ağırlığı 0,466 gr olarak ölçüldü. Devetabanı yaprak kalınlığı 0,32 mm ve manolya yaprak kalınlığı ise 0,35 mm olarak ölçüldü. Akşam yapılan testlerde ise devetabanı yaprak ağırlığı 0,381 gr ve manolya yaprak ağırlığı ise 0,454 gr olarak ölçüldü. Kalınlıkları ise devetabanı için 0,31 mm manolya için 0,35 mm olarak ölçülmüştür.

7.gün (3 Şubat): Sabah yapılan ölçümlerde devetabanı yaprak ağırlığı 0,361 gr ve manolya yaprak ağırlığı 0,442 gr olarak ölçüldü. Yaprak kalınlığı ise devetabanı için 0,30 mm manolya için 0,34 mm olarak ölçüldü. Akşamki testlerde devetabanı yaprak ağırlığı

0,347 gr ve manolya yaprak ağırlığı da 0,435 gr olarak ölçüldü. Devetabanı ve manolya için kalınlıklar ise sırasıyla 0,30 mm ve 0,34 mm olarak ölçülmüştür.

8.gün (4 Şubat): Sabah test öncesi sıcaklık 20°C'ye ayarlandı. Devetabanı ve manolya yaprakları tartıldı. Devetabanı yaprak ağırlığı 0,326 gr kalınlığı ise 0,29 mm ve manolya yaprağının ağırlığı 0,433 gr ve kalınlığı 0,33 mm olarak ölçüldü. Akşam yapılan ölçümlerde ise devetabanı yaprak ağırlığı 0,305 gr ve manolya yaprak ağırlığı 0,427 gr olarak ölçüldü. Yaprakların kalınlıklarında değişim gözlenmemiştir.

9.gün (5 Şubat): Ölçümler öncesinde oda sıcaklığı 20°C'ye ayarlandı. Sabahki ölçümlerde tartılan yaprak ağırlığı devetabanı için 0,290 gr ve manolya için 0,430 gr olarak tespit edildi. Devetabanının yaprak kalınlığı 0,29 mm ve manolya yaprak kalınlığı da 0,33 mm olarak ölçüldü. Akşamki ölçümlerde devetabanı yaprak ağırlığı 0,280 gr ve manolya yaprağının ağırlığı ise 0,425 gr olarak tespit edildi. Yaprak kalınlıkları ise değişmemiştir.

Uzun süre sonra 14.04.2014'de yaprakların ağırlıkları yeniden tartıldı. Bu tartılan ağırlıklar yaprağın tamamen kuruduğu varsayımı üzerine yapıldı. Devetabanı yaprak ağırlığı (tamamen kurumuş hali) 0,130 gr ve manolya yaprağı (tamamen kurumuş hali) 0,250 gr olarak tartılmıştır. Yaprakların tamamen kurumuş olması ve ufalanma riski nedeniyle kalınlık tespiti yapılamamıştır.

Süreç boyunca yapraklara ait ağırlık bilgileri kayıt altına alınmış ve daha sonra su oranı hesabında kullanılmıştır. Yaprakların ağırlıklarının ve kalınlıklarının günlere göre dağılımı aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Zamana göre yaprakların ağırlık ve kalınlık değişimi

		Ağırlık (gr)		Kalınlık (mm)	
		Devetabanı	Manolya	Devetabanı	Manolya
29 Ocak	akşam	0,814	0,91	0,42	0,49
30 Ocak	sabah	0,571	0,651	0,37	0,45
30 Ocak	akşam	0,529	0,619	0,36	0,44
31 Ocak	sabah	0,472	0,562	0,35	0,42
31 Ocak	akşam	0,454	0,541	0,35	0,4
01 Şubat	akşam	0,415	0,488	0,33	0,36
02 Şubat	sabah	0,39	0,466	0,32	0,35
02 Şubat	akşam	0,381	0,454	0,31	0,35
03 Şubat	sabah	0,361	0,442	0,3	0,34
03 Şubat	akşam	0,347	0,435	0,3	0,34
04 Şubat	sabah	0,326	0,433	0,29	0,33
04 Şubat	akşam	0,305	0,429	0,29	0,33
05 Şubat	sabah	0,292	0,426	0,29	0,33
05 Şubat	akşam	0,28	0,423	0,29	0,33

Dalından yeni koparılan yaprağın su oranı güneş ışığına, fotosentez hızına, yağmura, kuraklığa, sulamaya vb. faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu oran bazen yüksek bazen ise düşük çıkabilmektedir. Bu belirsizliği ortadan kaldırmak için ölçümler öncesinde bir gün süreyle yapraklar suda bekletilerek hücrelerinin tamamen suyla dolması sağlanmıştır. Bu sayede yaprağın alabileceği maksimum su miktarına yani yoğunluğuna ulaştığı ve yaprağın bu ağırlığının %100 su oranı olduğu kabul edilmiştir. Elde edilen bu değer Doyurulmuş Yaprak Ağırlığı (DYA) olarak ifade edilmiştir. Ayrıca testler bittikten sonra yapraklar çok uzun süre bekletilmiş ve iyice kurumaları sağlanmıştır. Bu şekilde bile havadaki nem gibi faktörlerden dolayı yaprak bünyesindeki suyun tamamını kaybetmez. Yaklaşık olarak %5-10 nem içerir (Franco 2013). Hesaplama ile (kurutulmuş yaprağın nem oranının %5 olduğu varsayılarak) kuru madde miktarı bulunmuş ve Kuru Yaprak Ağırlığı (KYA) olarak ifade edilmiştir. Yamasaki ve Dillenburg'un (1999) çalışmasında yapılan nem oranı hesabına benzer bir hesaplama denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$GSO(\%)=100*[(YA-KYA)/(DYA-KYA)] \quad (3.2)$$

Burada GSO yüzde olarak Göreceli Su Oranını, YA ise Yaprak Ağırlığını ifade etmektedir (Yörük 2012).

### 3.3. Hesaplama Yöntemleri

Vektör network analizör (VNA) ölçüm sonuçlarını s-parametreleri cinsinden vermektedir. Bu veriler kullanılarak hesaplar yapılmış istenen sonuçlara ulaşılmıştır. Bu hesaplamalar için kullanılan yöntemler ise çalışmamızın bu kısmında açıklanmıştır.

#### 3.3.1. S-Parametrelerinden Yayılma Sabiti Hesabı

Yayılma sabiti direkt olarak S-parametrelerinden hesaplanamaz. Ancak empedans (öz direnç) hesaplaması yardımıyla saçılma parametrelerinden hesaplanabilir. "Agilent" web sitesinde yer alan bilgilere göre uzunluğu  $l$  olan bir iletim hattının yayılma sabiti ( $\gamma$ ) hesaplanırken; S-parametreleri empedans ( $Z$ ) ve sistemin karakteristik iç direncine ( $Z_0$ ) göre aşağıdaki gibi yazılabilir (Keysight 2014):

$$[S] = \frac{1}{2ZZ_0 \cosh(\gamma l) + (Z^2 + Z_0^2) \sinh(\gamma l)} \begin{bmatrix} (Z^2 + Z_0^2) \sinh(\gamma l) & 2ZZ_0 \\ 2ZZ_0 & (Z^2 + Z_0^2) \sinh(\gamma l) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$



yukarıdaki bu ifadede [ABCD] parametre dönüşümü yapılırsa ve  $\gamma$  için çözümlenirse aşağıdaki formül çıkarımı sağlanır (Keysight 2014):

$$e^{\gamma l} = \frac{1-S_{11}^2+S_{21}^2}{2S_{21}} \mp \sqrt{\frac{(S_{11}^2-S_{21}^2+1)-(2S_{11})^2}{2S_{21}^2}} \quad (3.4)$$

Sonrasında ifadenin karmaşık sayılar kümesinde doğal logaritması alınarak ' $l$ ' ile bölümü yapılırsa " $\gamma=\alpha+j\beta$ " çözümünü elde ederiz. Yukarıda verilmiş olan denklem (3.4)'de  $\mp$  (artı veya eksi) ifadesi geçmektedir. Bu çalışmada denklem kullanılırken çıkarma işlemi ile elde edilen sonuçların grafik gösteriminde daha tutarlı olduğu gözlemlendiğinden hesaplamalarda eksi yani çıkarma işlemi kullanılmıştır.

### 3.3.2. Yayılma sabitinden dielektrik sabiti hesabı

Literatürde yer alan çalışmalarda bir nesnenin ölçüleme ile dielektrik sabiti bulunurken farklı farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise bazılarında yararlanılmış ve uyarlama ile en uygun yöntemler oluşturulmuştur. Dielektrik sabiti bulunurken yayılma sabiti ( $\gamma$ ) bileşenleri olan soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) ve faz sabiti ( $\beta$ ) değerleri kullanılmıştır. Bu süreçte iki farklı yöntem bulunmuş ve buna göre hesaplamalar yapılarak karşılaştırılmıştır.

Birinci yöntemde Janezic ve Jargon'un (1999) çalışmasında dielektrik sabitini bulmak için kullandıkları denklemler referans alınmıştır ve bu Yöntem1 olarak adlandırılmıştır. TE<sub>10</sub> modda dikdörtgen biçimli dalga kılavuzu için nesnenin dielektrik sabiti reel ve sanal kısmını ( $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$ ) veren denklemler aşağıdadır:

$$\epsilon' = \frac{\beta^2 + \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}{w^2 \mu_0 \epsilon_0} \quad (3.5)$$

$$\epsilon'' = \frac{2\alpha\epsilon'}{w\sqrt{\mu_0\epsilon_0\epsilon'}} \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{2\pi}{w\sqrt{\mu_0\epsilon_0\epsilon'}}}{2a}\right)^2} \quad (3.6)$$

(3.5) ve (3.6) denklemlerinde  $\beta$  faz sabitini,  $\alpha$  soğurma katsayısını,  $a$  dalga kılavuzunun uzun kenarını ve  $w$  radyanı ifade etmektedir. Ayrıca  $\mu_0$  havanın manyetik geçirgenliğini,  $\epsilon_0$  ise havanın dielektrik sabitini ifade eder.

Havada ilerleyen ışığın hız formülü  $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$  olduğu bilinmektedir ve yaklaşık değeri  $3 \times 10^8$  metre/saniye'dir. Yukarıda yer alan (3.5) ve (3.6) denklemlerinde ışık hızı  $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$  ve  $w = 2\pi f$  olarak yazılırsa;

$$\epsilon' = \frac{\beta^2 + \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}{\left(\frac{2\pi f}{c}\right)^2} \quad (3.7)$$

$$\epsilon'' = \frac{2\alpha\sqrt{\epsilon'}\sqrt{\epsilon''}}{\left(\frac{2\pi f}{c}\right)\sqrt{\epsilon'}} \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{2\pi c}{2\pi f\sqrt{\epsilon'}}}{2a}\right)^2} = \frac{2\alpha c\sqrt{\epsilon'}}{2\pi f} \sqrt{1 - \left(\frac{c}{2af\sqrt{\epsilon'}}\right)^2} \quad (3.8)$$

denklemleri elde edilir.

İkinci yöntemde ise Kraszewski'nin (1980) çalışmasında vermiş olduğu aşağıdaki denklemlerden yola çıkılmıştır. Burada verilen yöntem ise Yöntem2 olarak adlandırılmıştır.

$$\alpha_y \cong \frac{\pi \epsilon''}{\lambda \sqrt{\epsilon'}} \quad (3.9)$$

$$\beta_y \cong \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon'} \quad (3.10)$$

burada yer alan simgelerden  $\beta_y$  faz sabitini,  $\alpha_y$  soğurma katsayısını,  $\lambda$  dalga boyunu,  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  sırasıyla dielektrik sabiti reel ve sanal kısımları ifade eder.

Yukarıda verilen iki denklem (3.9) ve (3.10),  $\epsilon'$  ve  $\epsilon''$  yani dielektrik sabiti için yeniden çözümlenirse;

$$\epsilon' \cong \left(\beta_y \frac{\lambda}{2\pi}\right)^2 \quad (3.11)$$

$$\epsilon'' \cong \alpha_y \sqrt{\epsilon'} \frac{\lambda}{\pi} \quad (3.12)$$

elde edilir.

Yöntem1 ve Yöntem2 karşılaştırıldığında Yöntem2 çok daha basit görünmektedir. Bunun sebebi ise Yöntem2'de daha fazla varsayımlara gidilerek yaklaşık değerler hesaplanmasıdır. Ayrıca bazı değişkenlerin etkisi çok az olduğundan bu yöntemde yok sayılmıştır. Yöntem1'de ise bu varsayımlar ve yuvarlamalar daha azdır. Bundan dolayı Yöntem1'in sonuçlarının daha kesin olduğu söylenebilir. Şunu da belirtmek gerekir ki

her iki yöntem ile elde edilen hesaplama sonuçları birbirine çok yakındır ve grafiklerde eğilim çizgilerinin gidişatları birbiriyle paraleldir. Bunun nedeni ilk bakışta belli olmasa da her iki yöntemde verilen formüllerin birbirine çok yakın olmasıdır. Matematiksel açıklamak gerekirse; Yöntem1’de yer alan denklem (3.7)’de  $\frac{f}{c} = \frac{1}{\lambda}$  olarak yazılırsa yeni denklem  $\varepsilon' = \frac{\left[\beta^2 + \left(\frac{\pi}{a}\right)^2\right]\lambda^2}{(2\pi)^2}$  şeklinde olacaktır.  $\beta$ ’nın  $\frac{\pi}{a}$ ’ya göre çok daha büyük olduğu düşünüldüğünde  $\left(\beta \gg \frac{\pi}{a}\right)$  yeni denklem  $\varepsilon' \cong \frac{\beta^2\lambda^2}{(2\pi)^2}$  olur. Bu da Yöntem2’deki denklem (3.11) ile tamamen aynıdır. Dielektrik sabiti sanal kısım  $\varepsilon''$  için de aynı durum söz konusudur. Sonuç olarak, çalışmamızda kullanılan ve farklı iki kaynaktan yararlanılan formüllerin tutarlı olduğunu söyleyebiliriz.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Devetabanı ve manolya yaprakları ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ve bunların analizi bu bölümde yer almaktadır.

##### 4.1. Devetabanı Yapağı Dielektrik Sabiti Analizi

Devetabanı yapağıının (Akdeniz Üniversitesi EMUMAM Mikrodalga laboratuvarında yer alan ve Tübitak tarafından geliştirilen cihaz ile) 28 Ocak 2013 ile 05 Şubat 2013 tarihleri arasında alınan ölçümler ve üçüncü bölümde belirtilen yöntemler kullanılarak dielektrik sabiti hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sonuçlar frekansa ve yapağıın su oranına göre incelenerek yorumlanmıştır.

28 Ocak'ta testler için ön çalışmalar yapılmıştır; ölçümlere ise 29 Ocak akşamı başlanmıştır. Takip eden günlerde sabah ve akşam olmak üzere devam edilmiştir. Yapılan her ölçüm sonrası yaprakların ağırlığı hassas terazi ile tartılmıştır. Bu ölçümler yardımıyla yapağıın Göreceli Su Oranı (GSO) üçüncü bölümde anlatılan yöntem ile hesaplanmıştır. Grafiklerde de zaman kavramı yerine bu GSO değerleri kullanılmıştır. Zamana karşılık gelen devetabanı GSO değerleri aşağıdaki Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Ölçüm yapılan zamana karşılık gelen yaprakların su oranı

Tarih	Zaman	Devetabanı GSO %	Manolya GSO %
29 Ocak	akşam	100	100
30 Ocak	sabah	64,4	61,5
30 Ocak	akşam	58,3	56,7
31 Ocak	sabah	49,9	48,3
31 Ocak	akşam	47,3	45,1
01 Şubat	akşam	41,6	37,2
02 Şubat	sabah	37,9	34
02 Şubat	akşam	36,6	32,2
03 Şubat	sabah	33,7	30,4
03 Şubat	akşam	31,6	29,4
04 Şubat	sabah	28,5	29,1
04 Şubat	akşam	25,5	28,5
05 Şubat	sabah	23,6	28
05 Şubat	akşam	21,8	27,6

Ayrıca testlerden daha sağlıklı ve kesin sonuçlar elde edebilmek için yapağıın her iki yüzüne (alt ve üst) göre ayrı ayrı alınan ölçümler kullanılmıştır. Bu sayede aynı koşullardaki yaprak için karşılaştırma yapma imkânı oluşmuştur.

Üçüncü bölümde dielektrik sabitinin hesaplanmasında iki adet yöntemin bahsi geçmesine rağmen bu bölümde sadece birinci yöntem (Yöntem1) sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. Yöntem1 ve Yöntem2 için hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır ama görülmüştür ki elde edilen sonuçlar birbirine paralel ve çok yakındır. Yöntem2'nin hesaplama işlemlerinde daha fazla varsayım yaklaşımı ve yuvarlama kullanılmasından dolayı Yöntem1, Yöntem2'ye göre daha kesin sonuçlar vermiştir. Bu nedenle Yöntem1 seçilmiş ve grafiklerde kullanılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla grafiklerde çizdirilmeyen Yöntem2'ye ait 8 GHz su oranına göre dielektrik sabiti sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.2'de örnek olarak paylaşılmıştır.

Çizelge 4.2. Yöntem1 ve Yöntem2'ye ait 8 GHz'deki devetabanı yaprağı dielektrik sabitinin GSO'ya göre sonuçları

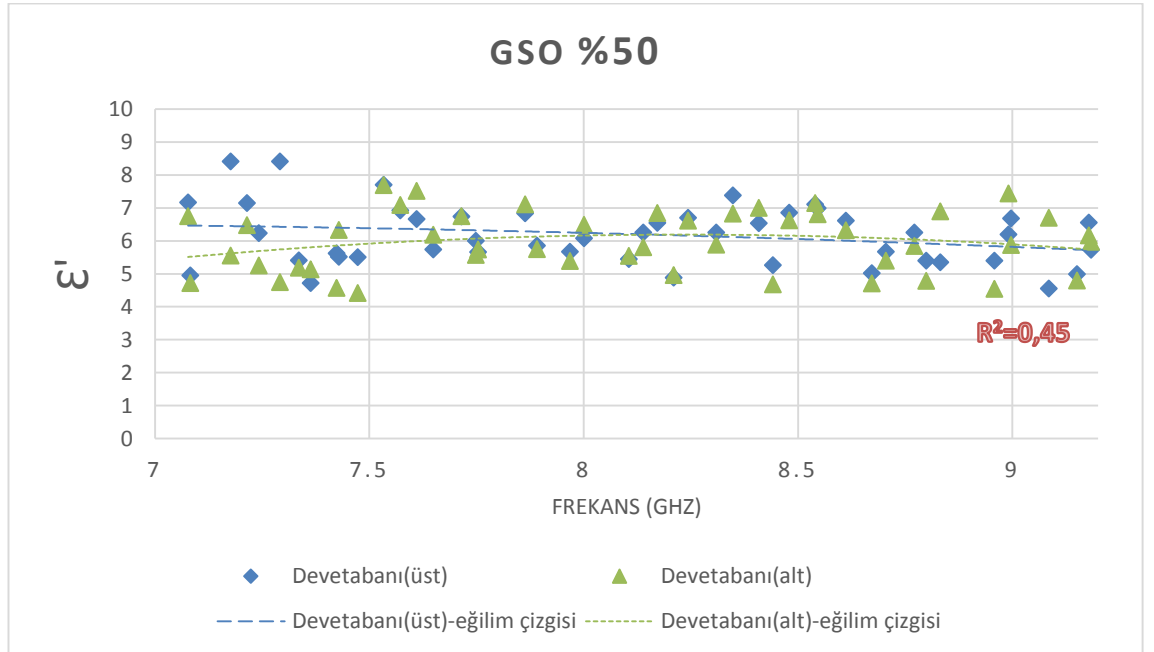
Devetabanı								
	Üst				Alt			
GSO	Yöntem1		Yöntem2		Yöntem1		Yöntem2	
% yüzde	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\epsilon'$	$\epsilon''$
100	6,818095	0,934579	6,67747	0,934579	8,466048	1,050459	8,325423	1,050459
64,4	7,584901	0,932278	7,444276	0,932278	7,890062	0,952443	7,749437	0,952443
58,3	6,945027	0,826615	6,804402	0,826615	7,145491	0,860984	7,004866	0,860984
49,9	6,085966	0,755777	5,945341	0,755777	6,49425	0,799789	6,53625	0,799789
47,3	4,869906	0,676219	4,729281	0,676219	5,584589	0,745121	5,443964	0,745121
41,6	3,804359	0,589128	3,663734	0,589128	4,401124	0,650024	4,260499	0,650024
37,9	4,73859	0,651218	4,597965	0,651218	5,578403	0,730918	5,437778	0,730918
36,6	2,756036	0,576212	2,615411	0,576212	3,451901	0,662533	3,311276	0,662533
33,7	2,532183	0,456321	2,391558	0,456321	3,080056	0,516718	2,939431	0,516718
31,6	2,244396	0,426642	2,103771	0,426642	2,870139	0,50021	2,729514	0,50021
28,5	3,079098	0,487647	2,938473	0,487647	3,638476	0,553087	3,497851	0,553087
25,5	6,75949	0,711972	6,618865	0,711972	7,377413	0,784253	7,236788	0,784253
23,6	7,128077	0,707007	6,987452	0,707007	7,719929	0,772912	7,579304	0,772912
21,8	3,560797	0,474262	3,420172	0,474262	4,38196	0,558292	4,241335	0,558292

Testlerde alınan S-parametreleri cinsinden ölçüm değerleri üçüncü bölümdeki “S-parametrelerinden yayılma sabiti hesabı” başlığı altında anlatılan yöntem ve formül kullanılarak yayılma sabiti ( $\gamma$ ) bulunmuştur. Sonrasında elde edilen sonuçlarla da dielektrik sabitinin reel ( $\epsilon'$ ) ve sanal ( $\epsilon''$ ) kısımları üçüncü bölümdeki “Yayılma sabitinden dielektrik sabiti hesabı” başlığı altında anlatılan yöntem ve formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar frekans ve su oranına göre değerlendirilmiştir.

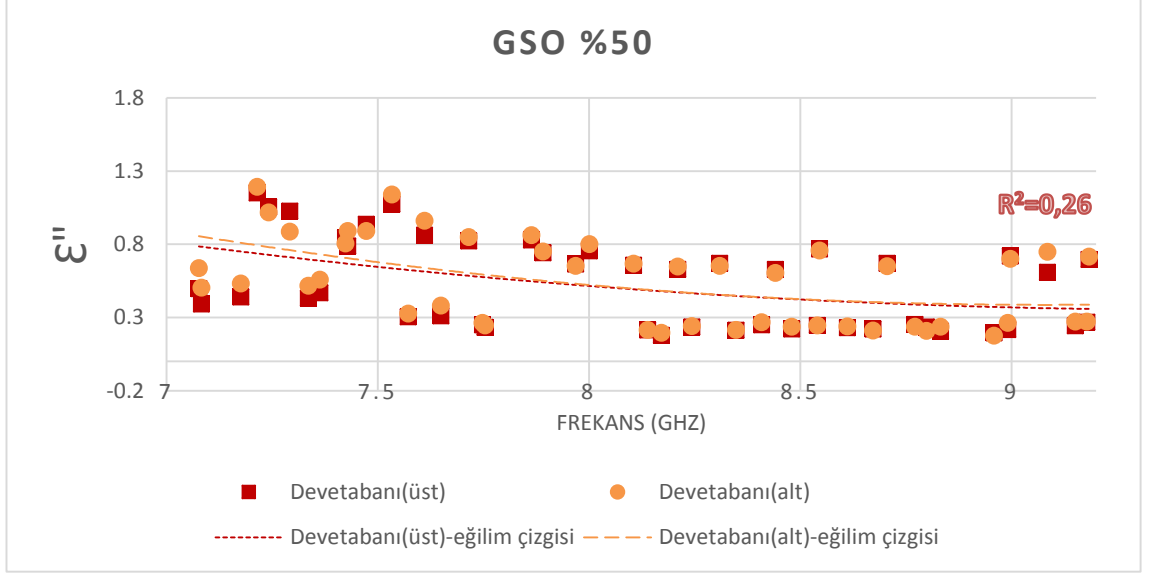
#### 4.1.1. Frekansa göre devetabanı yaprağı dielektrik sabiti

Devetabanı yaprak örneğinin frekansa göre hesaplamalarında 31 Ocak 2013 gününün sabahı ve 03 Şubat 2013 gününün akşamı gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları kullanıldı. 31 Ocak tarihinde test sürecindeki devetabanı yaprağının su oranı (GSO) yaklaşık olarak %50 ve 03 Şubat tarihindeki su oranı (GSO) ise yaklaşık %32 olarak hesaplanmıştır. Test sürecinin ilk günleri ve son günlerinde oluşan değişimi gözlemleyebilmek için bu tarihler seçilmiştir.

31 Ocak sabahı alınan ölçüm sonuçlarına göre (%50 Göreceli Su Oranına karşılık gelen) hesaplanan dielektrik sabiti değerleri ile çizdirilmiş olan grafikler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. GSO %50’de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı



Şekil 4.2. GSO %50'de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı

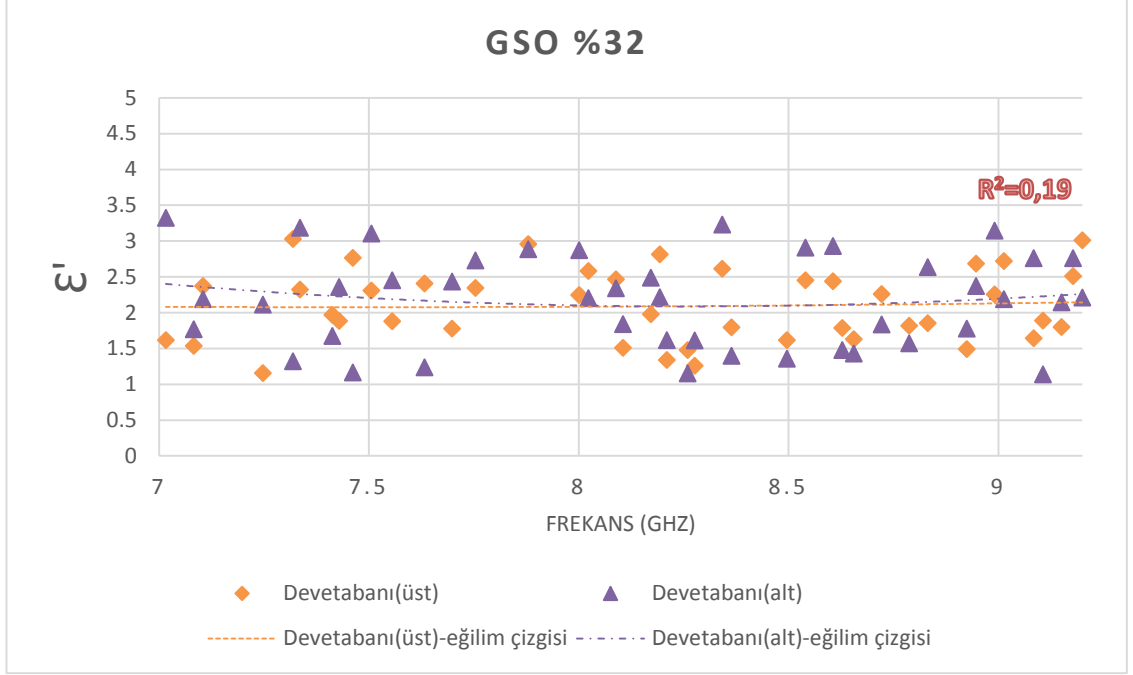
Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de yer alan noktaların ortalamasının eğilim çizgisi polinom bazlı olarak MS Excel programı kullanılarak grafiklerde çizdirilmiştir. Bu eğilim çizgilerinin formülü yaprağın alt yüzü ve üst yüzü için ayrı ayrı bulunmuş ve sonrasında bu formüller kombine edilerek aşağıda paylaşılmıştır:

$$\varepsilon'(f) = -0,3015f^2 + 4,779f + 12,732 \quad (4.1)$$

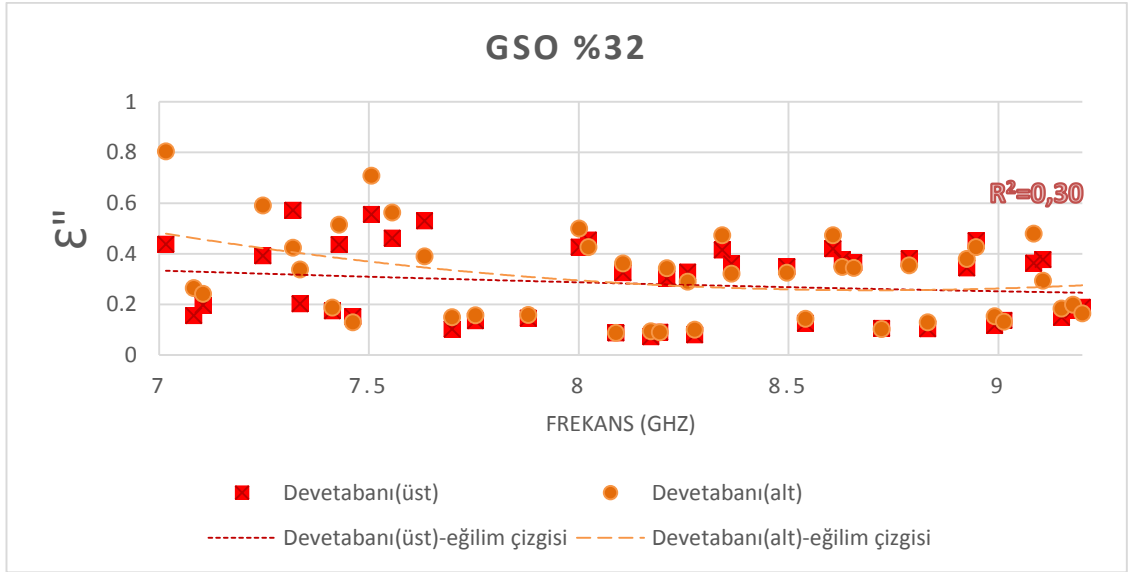
$$\varepsilon''(f) = 0,0969f^2 - 1,7878f + 8,62 \quad (4.2)$$

burada  $f$  değeri GHz olarak frekansı,  $\varepsilon'$  dielektrik sabiti gerçek kısmı ve  $\varepsilon''$  ise dielektrik sabiti sanal kısmı ifade etmektedir. Bu formül devetabanı bitkisi için %50 GSO değerine göre çıkartılmıştır. Farklı nem oranlarında doğru sonuçlar vermeyebilir.

3 Şubat akşamı alınan ölçüm sonuçlarına göre (%32 Göreceli Su Oranına karşılık gelen) hesaplanan dielektrik sabiti değerleri ile çizdirilmiş olan grafikler aşağıda Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de paylaşılmıştır.



Şekil 4.3. GSO %32'de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı



Şekil 4.4. GSO %32'de devetabanı yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı

Daha önce %50 GSO değeri için bulunan noktaların ortalama eğilim çizgisi hesabı ile aynı yöntem burada da kullanılmıştır. %32 GSO'ya göre yaprağın alt ve üst yüzü için Excel'de ayrı ayrı bulunan polinom bazlı eğilim çizgisinin denklemleri birleştirilerek aşağıda verilmiştir:



$$\varepsilon'(f) = 0,1116f^2 - 1,8274f + 9,568 \quad (4.3)$$

$$\varepsilon''(f) = 0,04195f^2 - 0,74635f + 3,5787 \quad (4.4)$$

bu denklemler devetabanı bitkisi yaprağının %32 GSO değerine göre çıkartılmıştır. Farklı değerlerde doğru sonuç vermeyebilir.

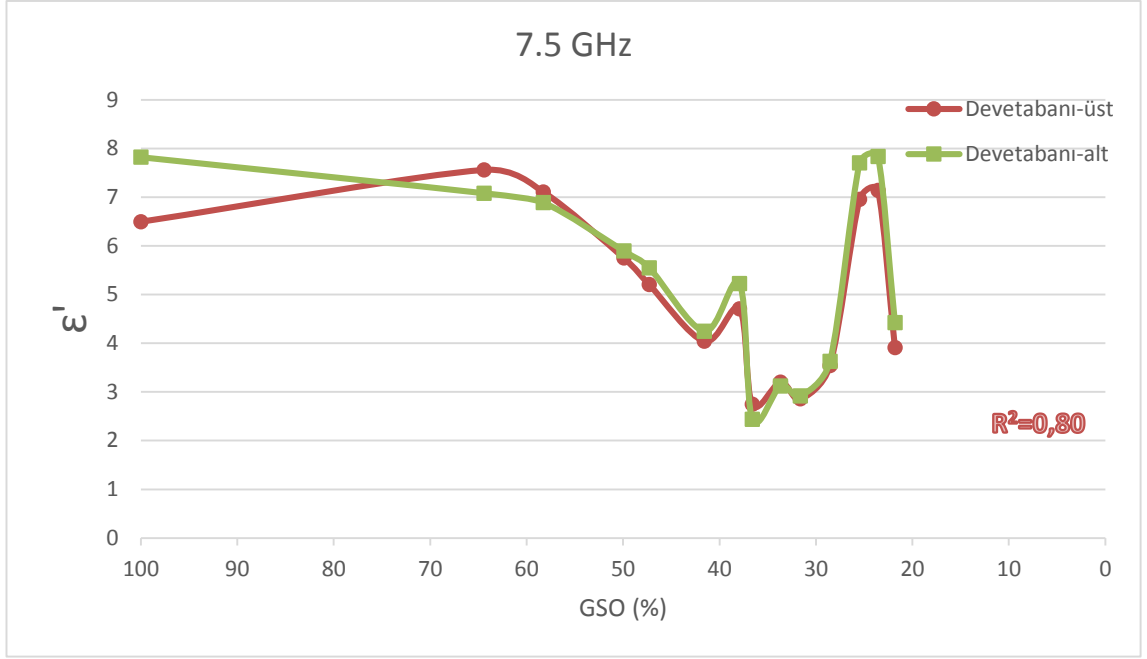
Tezin bu kısmında verilen şekillerde görüldüğü üzere 7,5 GHz altındaki frekans değerlerinde elde edilen sonuçlar daha dağınıktır. Bunun nedeni kesim frekansının 7,5 GHz olmasıdır ve beklenen bir sonuçtur.

Bu bölümde devetabanı bitkisi yaprağı için %50 GSO'da denklem (4.1) ve (4.2) ile %32 GSO'da denklem (4.3) ve (4.4) verilmiştir. Bu denklemler sayesinde ölçümü yapılmayan frekans değerlerinde de GSO değerleri %50 ve %32 olan devetabanı bitkisi yaprağı için dielektrik sabiti hesaplaması yaklaşık olarak yapılabilecektir.

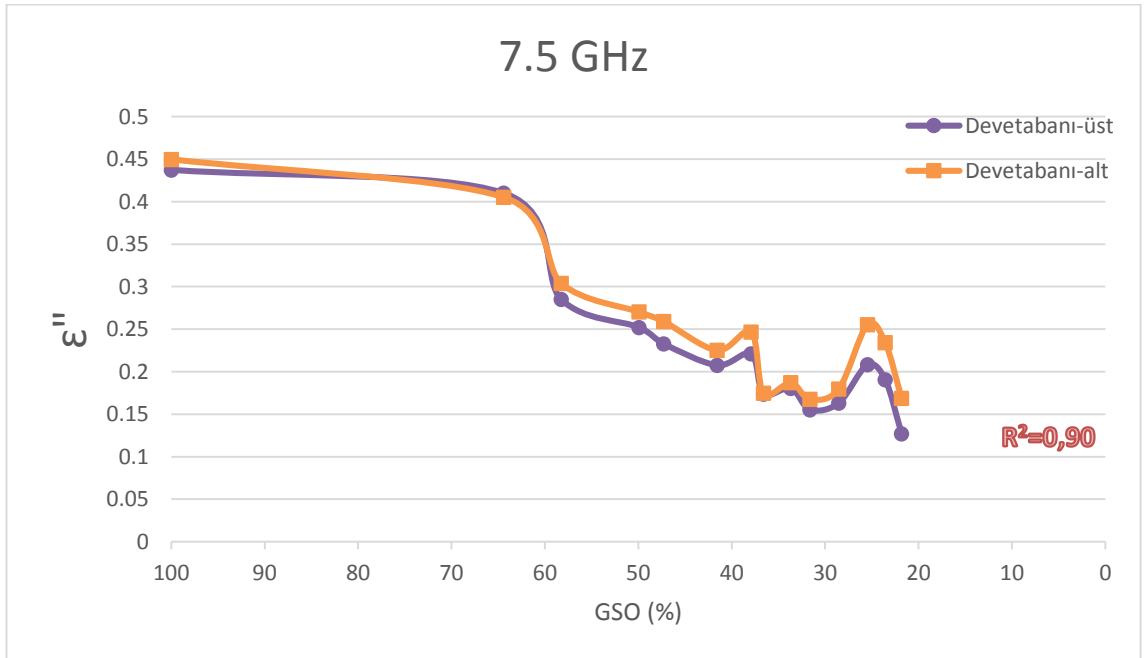
#### **4.1.2. Devetabanı yaprağının su oranına göre dielektrik sabiti**

29 Ocak 2013 akşamı başlanan ve sonraki günlerde sabah ve akşam olmak üzere devam edilen testler 05 Şubat 2013 akşamı sonlandırılmıştır. Ölçümler 7 GHz – 9,2 GHz aralığında yapılmıştır. Testler yaprağın her iki tarafı (alt ve üst) için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu ölçümler sonunda çok fazla veri elde edilmesine rağmen tümü için hesaplama yapılmamıştır. Kullanmış olduğumuz dalga kılavuzunun (waveguide) kesim (cut-off) frekansı 7,5 GHz olmasından dolayı kesim frekansından küçük değerlerde bozulmalar olacağından 7,5 GHz altı frekans değerleri çalışmaya dâhil edilmemiştir. Bu gibi durumlar göz önünde bulundurularak çalışmamızda 7,5 GHz, 8 GHz ve 9 GHz frekans değerleriyle hesaplamalar yapılmış ve incelenmiştir. Ayrıca, ölçüm sürecinin sonlarına doğru yaprak kurudukça eğilip bükülmüş ve kıvrım şekli almıştır. Her ne kadar çaba gösterilmiş olsa da bu engellenememiştir.

İlk olarak 7,5 GHz frekansında devetabanı yaprağının su oranına (GSO) göre dielektrik sabiti hesaplanmış ve aşağıdaki Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da yer alan grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 7,5GHz'de GSO'ya göre değişimi



Şekil 4.6. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 7,5GHz'de GSO'ya göre değişimi

Yukarıda verilen Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da yer alan grafikler yaprağın alt ve üst yüzü içindir. Yaprığın farklı yüzleri için elde edilmiş olan sonuçların ortalaması alınarak değişimin formülleri MS Excel programıyla elde edilmiş ve aşağıda paylaşılmıştır:

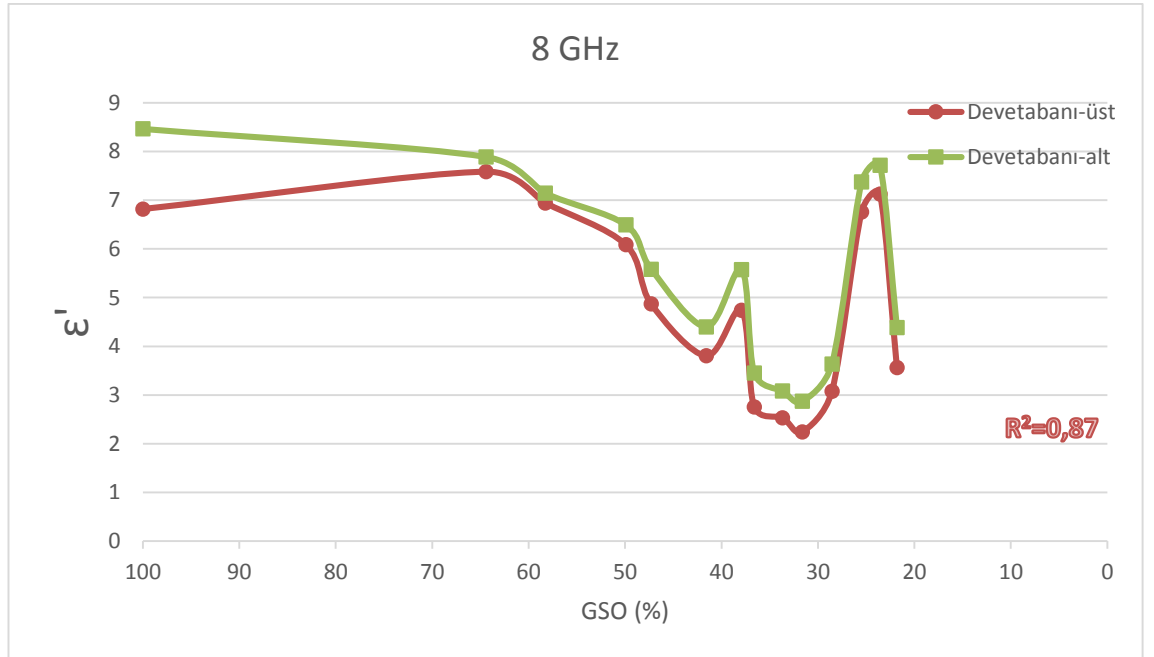
$$\varepsilon'(M) = 8,5119e^{-0,102M} \quad (4.5)$$

$$\varepsilon''(M) = 0,4313e^{-0,0975M} \quad (4.6)$$

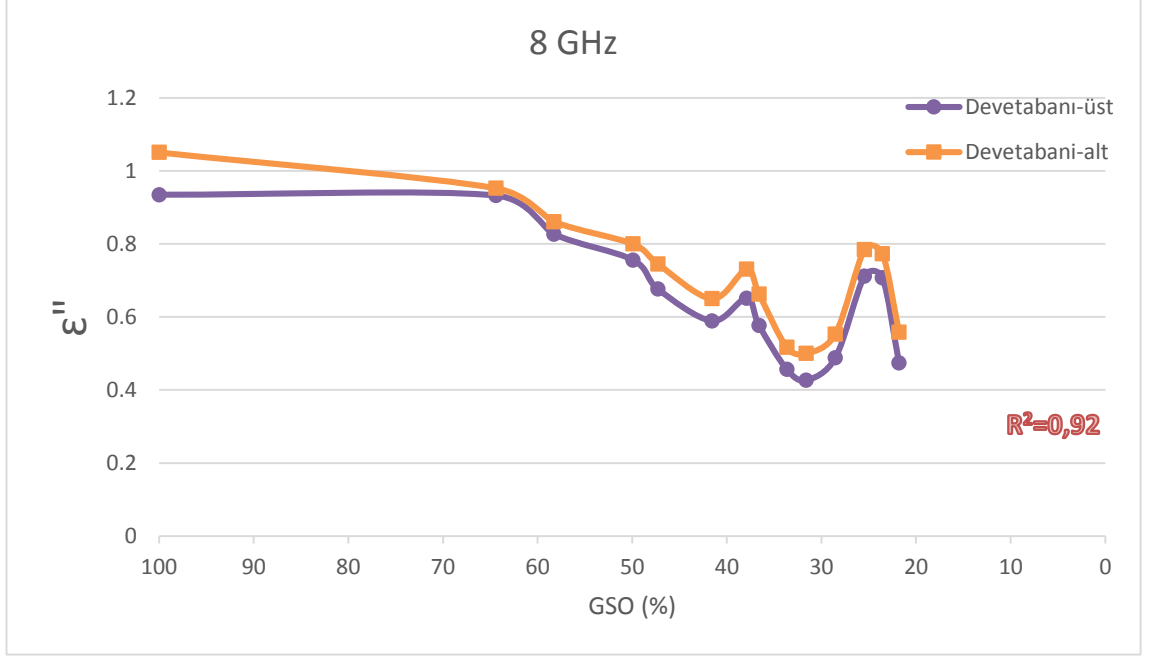
burada yaprağın su miktarını belirtmek için  $M$  ifadesi kullanılmıştır. Göreceli Su Oranı (GSO) ile aynı değeri belirtmektedir. Bu denklem üstel formatta oluşturulursa grafikte yer alan verilerle en iyi şekilde uyumaktadır (Helhel vd 2009).

Bu formüller 7,5 GHz’de dielektrik sabitinin, yaprağın su oranına göre değişimini vermektedir. Grafiklerde de görüldüğü üzere son üç değer grafiğin eğilimini bozmaktadır. Bu nedenle formül çıkarımında son üç noktaya ait (%GSO=25,24,22) veriler değerlendirme dışı bırakılmıştır. 7,5 GHz için bulunmuş olan bu formül farklı frekanslarda doğru sonuçlar vermeyebilir.

8 GHz değerleriyle hesaplanmış devetabanı yaprağının su oranına (GSO) göre dielektrik sabiti aşağıdaki Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de yer alan grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.7. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 8GHz’de GSO’ya göre değişimi



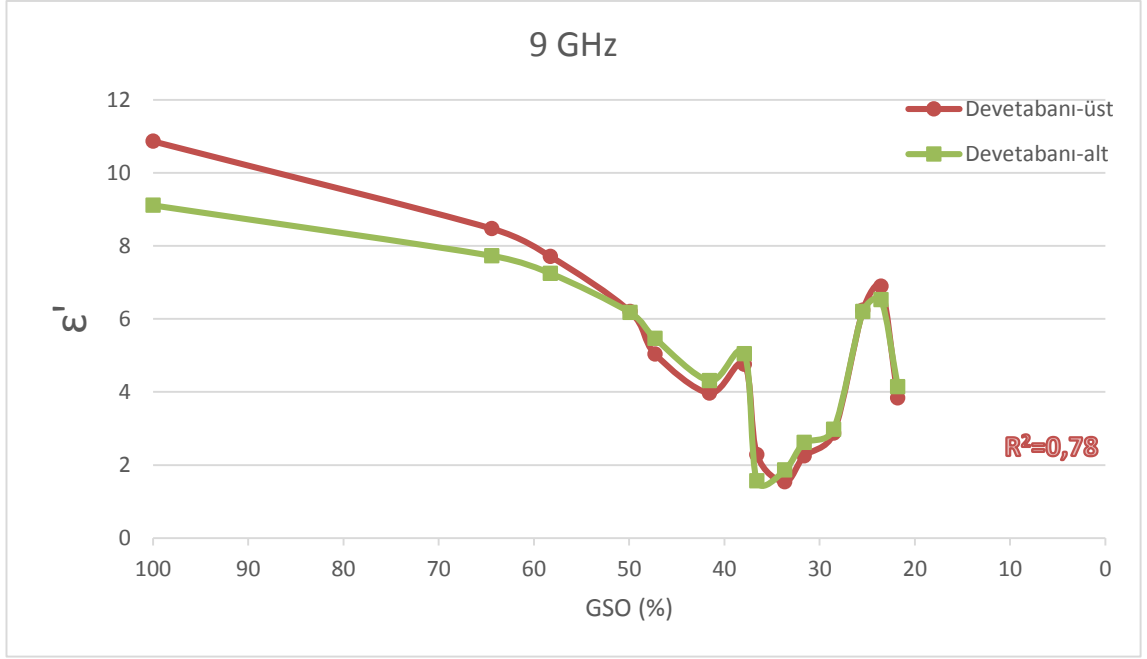
Şekil 4.8. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 8GHz’de GSO’ya göre değişimi

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de elde edilen dielektrik sabiti sonuçlarının yaprağın alt ve üst yüzü değerlerinin ortalaması alınarak 8 GHz’de denklemi elde edilmiştir. Yine trendi bozan son üç noktaya ait sonuçlar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Yaprığın bünyesindeki su miktarı  $M$ ’ye (GSO’ya) göre dielektrik sabitini veren formül aşağıda paylaşılmıştır:

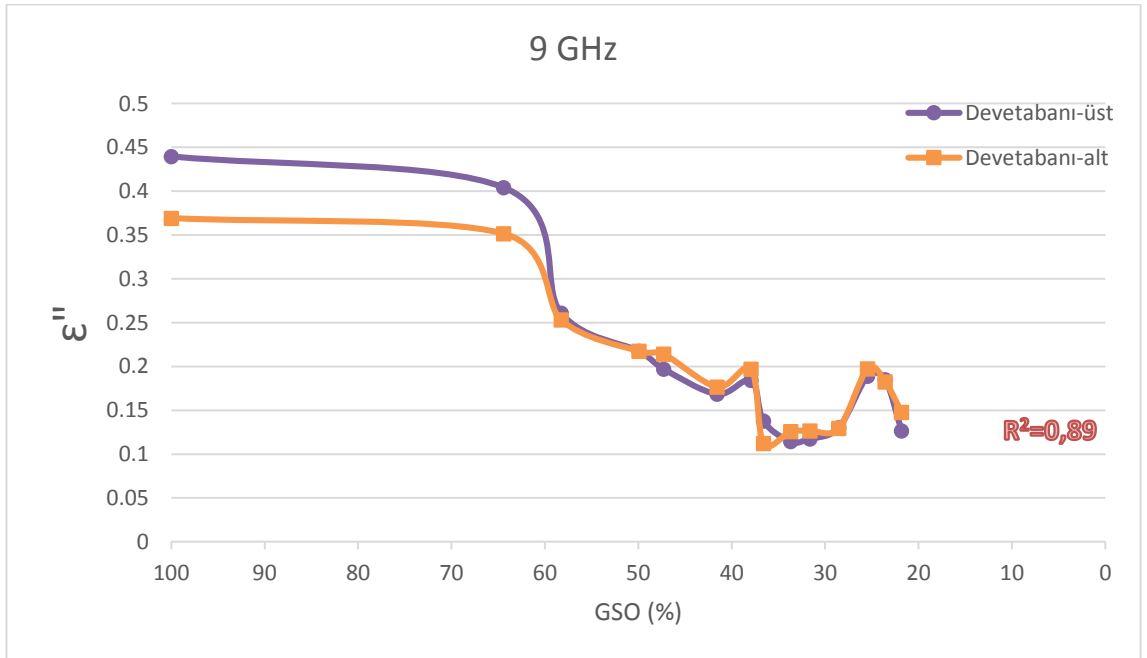
$$\epsilon'(M) = 9,2951e^{-0,1165M} \quad (4.7)$$

$$\epsilon''(M) = 1,0583e^{-0,0745M} \quad (4.8)$$

9 GHz frekans değeri için hesaplanmış devetabanı yaprağının su oranına (GSO) göre dielektrik sabiti ise aşağıdaki Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’deki grafiklerde yer almaktadır.



Şekil 4.9. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 9GHz’de GSO’ya göre değişimi



Şekil 4.10. Devetabanı yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 9GHz’de GSO’ya göre değişimi

9 GHz frekansında su oranına göre dielektrik sabiti değişimi için Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’daki grafiklerden elde edilen formül aşağıdadır:

$$\varepsilon'(M) = 11,362e^{-0,162M} \quad (4.9)$$

$$\varepsilon''(M) = 0,4063e^{-0,1245M} \quad (4.10)$$

burada  $M$  ifadesi GSO'ya karşılık gelmektedir. Grafiğin gidişatını bozan son üç değer burada da değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Çalışmanın bu kısmında incelenen frekanslardaki tüm grafiklerde %38 GSO değerine karşılık gelen dielektrik sabiti değerlerinde eğilimin bozulduğu ve beklenene göre değerlerin bir miktar fazla çıktığı görülmektedir. Bu bozulmanın sebebi tam olarak bilinmemekle birlikte insan, cihaz, denek ya da ortam kaynaklı olabilir. Örneğin, yaprağın ölçüm düzeneğine tam oturtulmaması veya network analizörün kalibrasyonunun bozulmuş olması gibi nedenler olabilir.

Grafiklerde bir başka göze çarpan nokta ise son üç değerini yani yüzde 25,5, 23,6 ve 21,8 GSO'ya karşılık gelen dielektrik sabiti sonuçlarının trendi bozuyor olmasıdır. Bu bozulma yaprağın kurudukça büzülmesi ve kıvrılması dolayısıyla olmuştur. Bu test sürecinde kıvrılma engellenememiş ve yaprağı kırmadan düzeltilmeye çalışılarak ölçümler alınmış olsa da sonuçları etkilediği görülmüştür. Bu nedenle hatalı olduğunu bildiğimiz bu değerler formül çıkarımlarında kullanılmamıştır.

## 4.2. Manolya Yaprığı Dielektrik Sabiti Analizi

Devetabanı başlığında anlatılmış olan uygulamaların aynısı manolya yaprağı için de yapılmıştır. Ölçümler de aynı tarihlerde yapılmış; 29 Ocak 2013 akşamı başlanarak 5 Şubat 2013 akşamına kadar devam edilmiştir. Yaprığın her iki tarafı (alt ve üst) için ayrı ayrı ölçümler alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar, frekansa ve yaprağın nem oranına göre değerlendirilmiştir. Grafiklerde su oranı için üçüncü bölümde açıklanan Göreceli Su Oranı (GSO) değerleri kullanılmıştır. Güne karşılık gelen GSO değerleri daha önce Çizelge 4.1'de paylaşılmıştır.

Manolya yaprağı incelemesinde de Yöntem2'ye göre hesaplamalar yapılmış, sonuçlar gözlemlenmiştir. Fakat daha önce açıklanan; sonuçların birbirine yakın olması, Yöntem1'in daha kesin olması gibi sebeplerden dolayı Yöntem2 grafiklerde gösterilmemiştir. Fikir vermesi için manolya yaprağına ait bazı Yöntem2 sonuçları Çizelge 4.3'de aşağıda paylaşılmıştır.

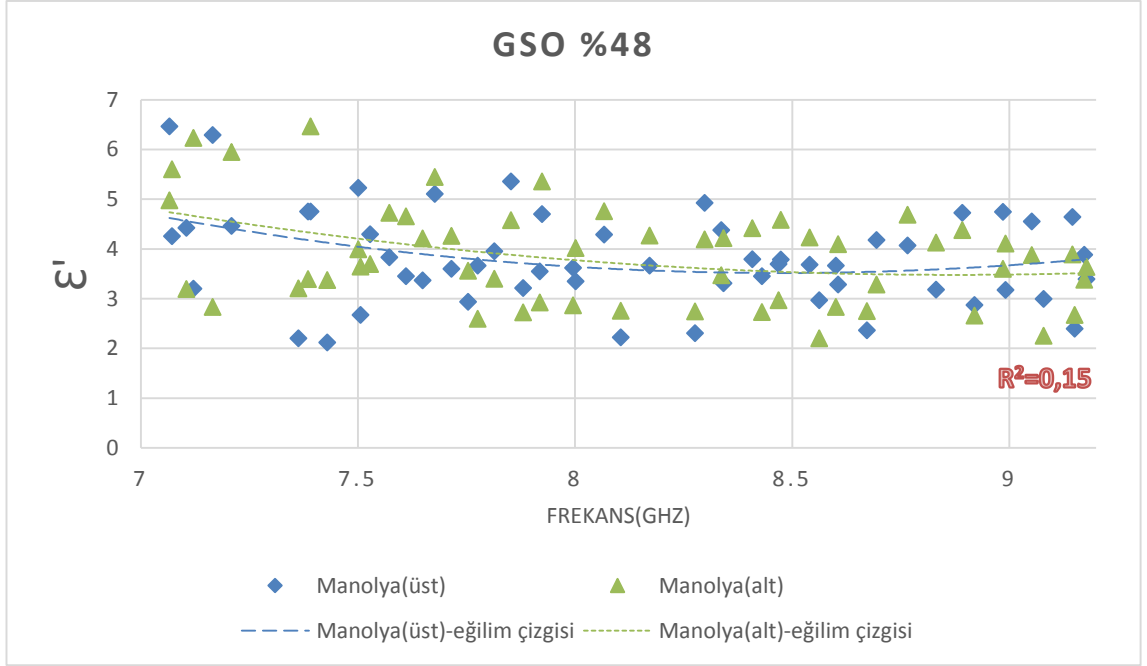
Çizelge 4.3. Yöntem1 ve Yöntem2'ye ait 8 GHz'deki manolya yaprağı dielektrik sabitinin GSO'ya göre sonuçları

Manolya								
	Üst				Alt			
GSO	Yöntem1		Yöntem2		Yöntem1		Yöntem2	
% yüzde	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\epsilon'$	$\epsilon''$
100	5,50206	0,766872	5,361435	0,766872	6,971092	0,868058	6,830467	0,868058
61,5	5,761138	0,745639	5,620513	0,745639	6,244179	0,797287	6,103554	0,797287
56,7	3,854783	0,552786	3,714158	0,552786	4,856065	0,640041	4,71544	0,640041
48,3	3,345742	0,499357	3,205117	0,499357	4,018827	0,56811	3,878202	0,56811
45,1	2,505027	0,429294	2,364402	0,429294	3,020676	0,485145	2,880051	0,485145
37,2	1,641936	0,327688	1,501311	0,327688	1,874812	0,358318	1,734187	0,358318
34	1,869969	0,342505	1,729344	0,342505	1,839609	0,33769	1,698984	0,33769
32,2	1,259557	0,494698	1,118932	0,494698	1,341287	0,6155	1,200662	0,6155
30,4	1,234385	0,376545	1,09376	0,376545	1,265415	0,439112	1,12479	0,439112
29,4	1,112693	0,348399	0,972068	0,348399	1,16391	0,413399	1,023285	0,413399
29,1	1,28752	0,30896	1,146895	0,30896	1,304815	0,306006	1,16419	0,306006
28,5	3,670184	0,456162	3,529559	0,456162	3,485093	0,441735	3,344468	0,441735
28	4,352651	0,490325	4,212026	0,490325	4,179154	0,476531	4,038529	0,476531
27,6	1,980576	0,315242	1,839951	0,315242	1,892704	0,304623	1,752079	0,304623

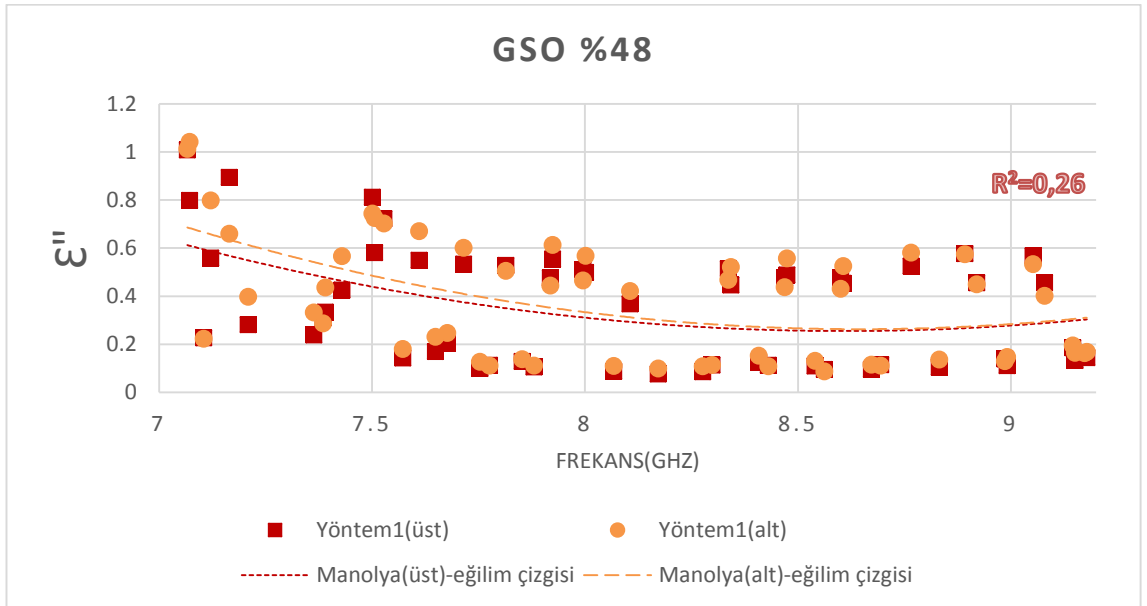
#### 4.2.1. Frekansa göre manolya yaprağı dielektrik sabiti

Manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti hesaplamalarında da devetabanı ile aynı günlere ait veriler kullanılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için devetabanı için kullanılan aynı tarihler yani 31 Ocak günü sabahı ve 03 Şubat günü akşamı alınan test ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Bu tarihlere karşılık gelen GSO değerleri Çizelge 4.1'de yer almaktadır ve bu değerler sırasıyla yaklaşık %48 ve %29'dur.

31 Ocak sabahı alınan ölçüm sonuçlarına göre (%48 Göreceli Su Oranına karşılık gelen) hesaplanan dielektrik sabiti değerleri ile çizdirilmiş olan grafikler Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.11. GSO %48’de manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı



Şekil 4.12. GSO %48’de manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de MS Excel ile çizdirilen grafiklerde polinom bazlı eğilim çizgisi bulunmuştur. Bu eğilim çizgileri yaprağın alt yüzü ve üst yüzü için ayrı ayrı bulunmuştur, bu yüzden grafikte iki adet çizim görülmektedir. Bu çizimlerin



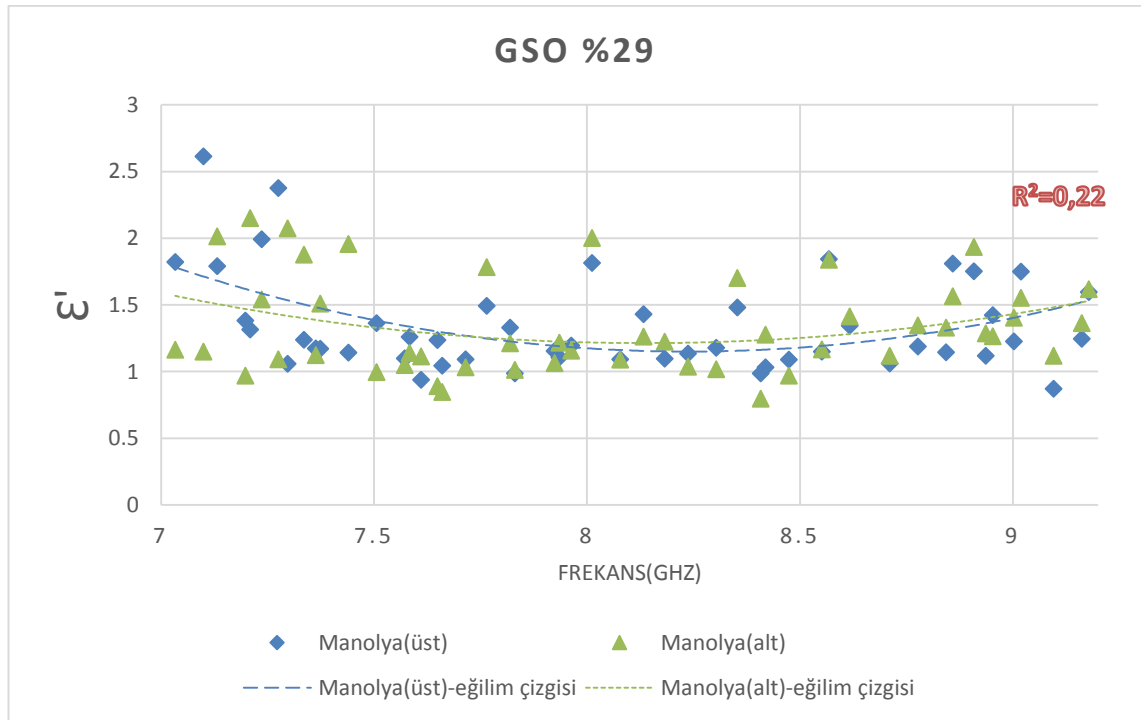
denklemleri ayrı ayrı çıkarılmış ve sonrasında bu denklemlerin ortalaması alınarak tek denklem oluşturulmuş ve aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon'(f) = 0,4721f^2 - 8,1548f + 38,7325 \quad (4.11)$$

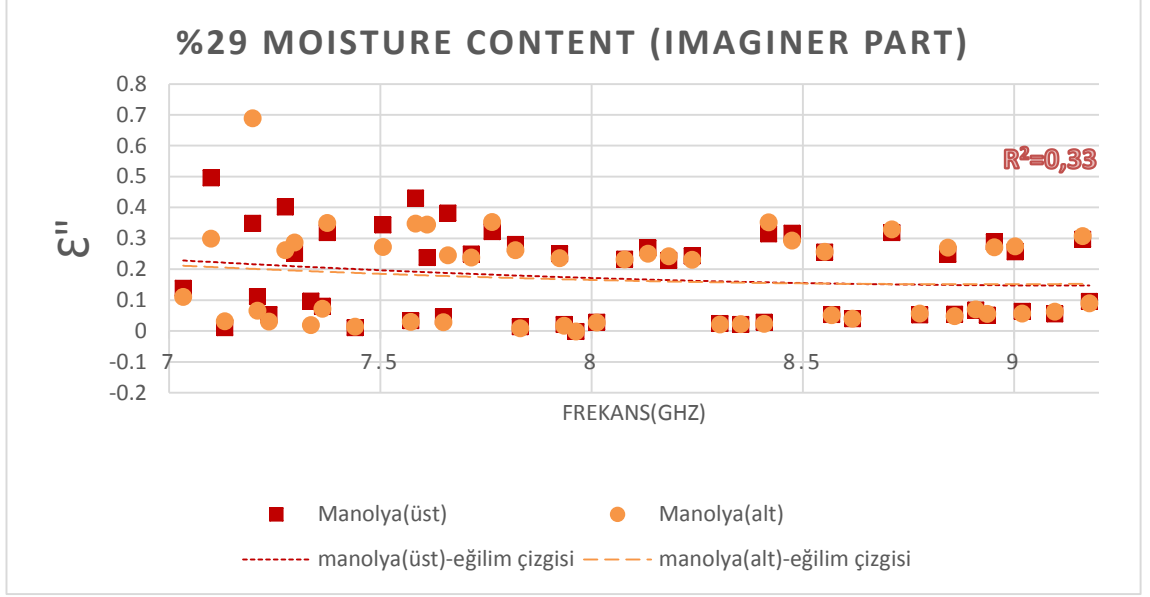
$$\varepsilon''(f) = 0,1597f^2 - 2,75595f + 12,149 \quad (4.12)$$

burada  $f$  değeri GHz olarak frekansı,  $\varepsilon'$  dielektrik sabiti reel kısmı ve  $\varepsilon''$  ise dielektrik sabiti sanal kısmı ifade etmektedir. Bu denklemler manolya bitkisi yaprağının %48 GSO için oluşturulmuştur. Bu nedenle farklı su oranlarında doğru sonuçlar vermeyebilir.

3 Şubat akşamı manolya yaprağı için alınmış ölçümlere göre (%29 Göreceli Su Oranına karşılık gelen) hesaplanan dielektrik sabiti değerlerinin grafikleri aşağıda Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. GSO %29'da manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti reel kısmı



Şekil 4.14. GSO %29'da manolya yaprağının frekansa göre dielektrik sabiti sanal kısmı

Grafiklerdeki noktalar için ortalama eğilim çizgileri polinom baz alınarak MS Excel'de çizdirilmiştir. Manolya yaprağının bu eğilim çizgilerine ait denklemlerin ortalaması alınarak %29 GSO'ya göre tek bir denklem oluşturulmuş ve aşağıda paylaşılmıştır:

$$\varepsilon'(f) = 0,36255f^2 - 5,9431f + 25,54 \quad (4.13)$$

$$\varepsilon''(f) = 0,01745f^2 - 0,31535f + 1,57535 \quad (4.14)$$

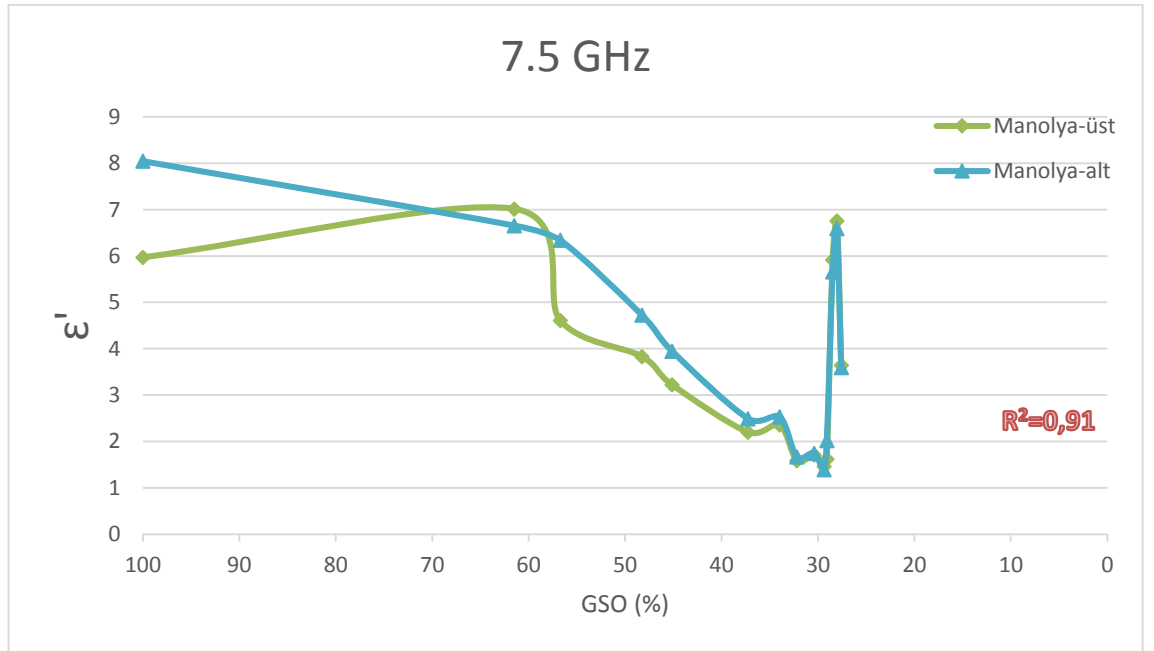
bu denklemler manolya yaprağı %29 GSO'ya göre çıkartılmıştır. Farklı su oranı değerleri için doğru sonuç vermeyebilir.

Manolya yaprağının hem %48 hem de %29 GSO'daki sonuçları incelendiğinde, kesim frekansı olan 7,5 GHz'den düşük değerlerdeki sonuçların daha dağınık ve salınımlının fazla olduğu görülmektedir. Demek ki bu bölgede elde edilen sonuçların hata oranı da daha fazladır ve bu da beklenen bir durumdur. Ayrıca her iki GSO değerinde de elde edilen dielektrik sabiti sanal kısmına ait sonuçlarla çizilen grafiklerde, eğilim çizgisinin her iki tarafında (alt ve üst bölge) noktaların çizgisel devamlılığı söz konusudur. Bu durum, VNA ile alınan ölçümlerde kullanılan EM enerjinin sinüs dalga formatında minimum ve maksimum olarak sürekli değişmesinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. Bu değerlerin dielektrik sabiti sanal kısmı olduğu düşünüldüğünde Euler denkleminde göre bu şekilde davranması doğaldır.

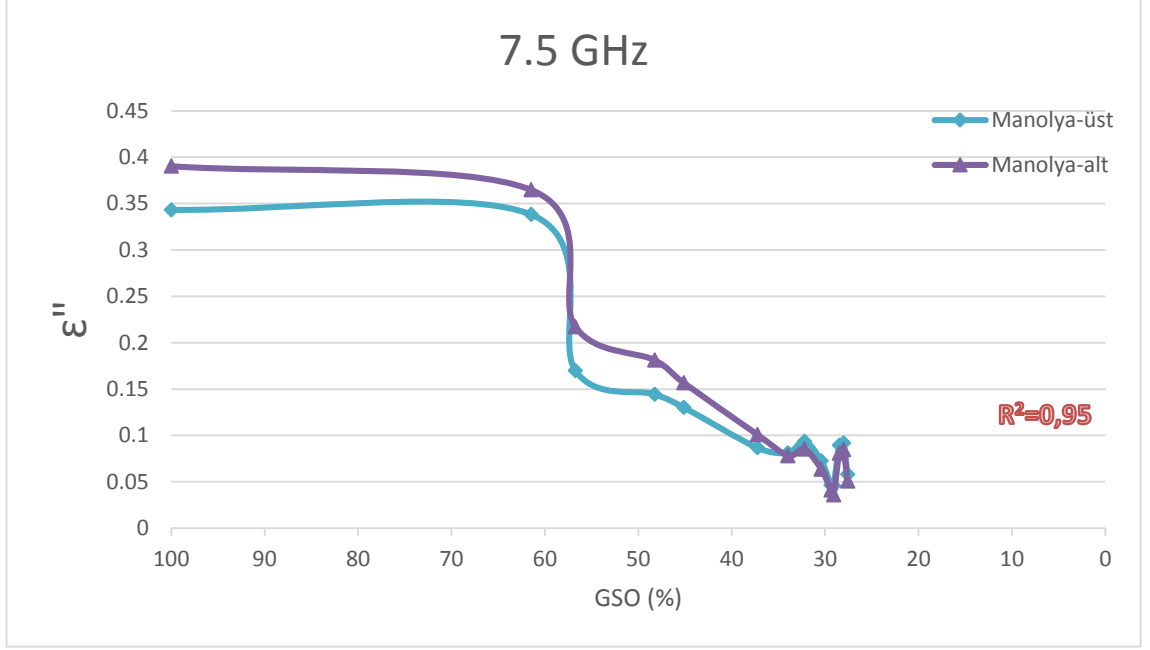
#### 4.2.2. Manolya yaprağının su oranına göre dielektrik sabiti

Manolya yaprağı test ölçümleri devetabanı yaprağı ile aynı tarihlerde; 23 Ocak 2013 akşamı başlanmış ve sonraki günlerde sabah ve akşam olmak üzere devam edilerek 05 Şubat 2013 akşamı sonlandırılmıştır. Ölçümler yaprağın her iki tarafı (alt ve üst) için aynı frekans aralıklarında yani 7 GHz – 9,2 GHz arasında yapılmıştır. Kesim frekansı olan 7,5 GHz'den dolayı bu frekans değeri altındaki ölçüm değerleri kullanılmamıştır. 7,5 GHz, 8 GHz ve 9 GHz frekans değerleri devetabanı yaprağında olduğu gibi örnekleme olarak seçilmiş ve bu frekanslarda su oranına göre dielektrik sabiti hesaplamaları yapılarak incelenmiştir. Son üç ölçüme ait sonuçlar (GSO %28,5, %28, %27,6) tüm grafiklerde trendi bozmaktadır. Bunun nedeni ise sonlara doğru yaprağın kurudukça eğilip bükülmesi ve kıvrım olmasıdır.

7,5 GHz frekansında manolya yaprağı dielektrik sabitinin su oranına (GSO) göre değişimi bulunmuş ve aşağıdaki Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da yer alan grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Manolya yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 7,5GHz'de GSO'ya göre değişimi



Şekil 4.16. Manolya yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 7,5GHz’de GSO’ya göre değişimi

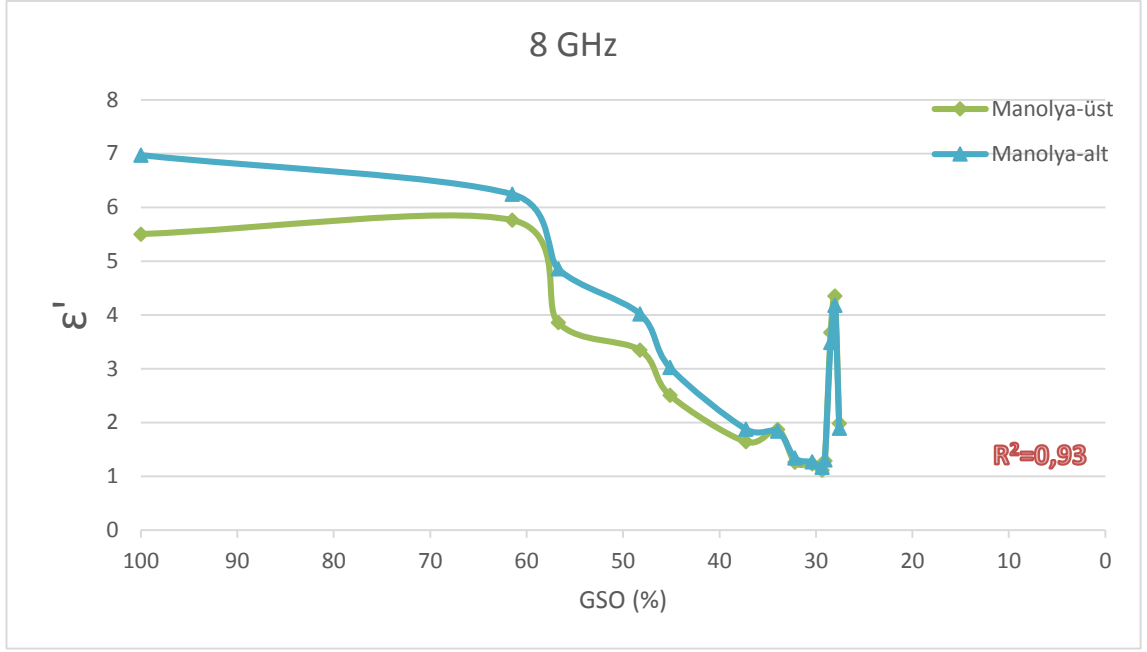
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da yer alan grafiklerde ortalama eğilim çizgileri ve bunlara ait denklemleri bulunmuştur. Yaprığın alt ve üst kısmı için ayrı ayrı bulunan denklemler birleştirilerek tek bir denklem haline getirilmiştir. 7,5 GHz’de su oranına karşılık gelen dielektrik sabitini veren denklemler aşağıda paylaşılmıştır:

$$\varepsilon'(M) = 8,3056e^{-0,17M} \quad (4.15)$$

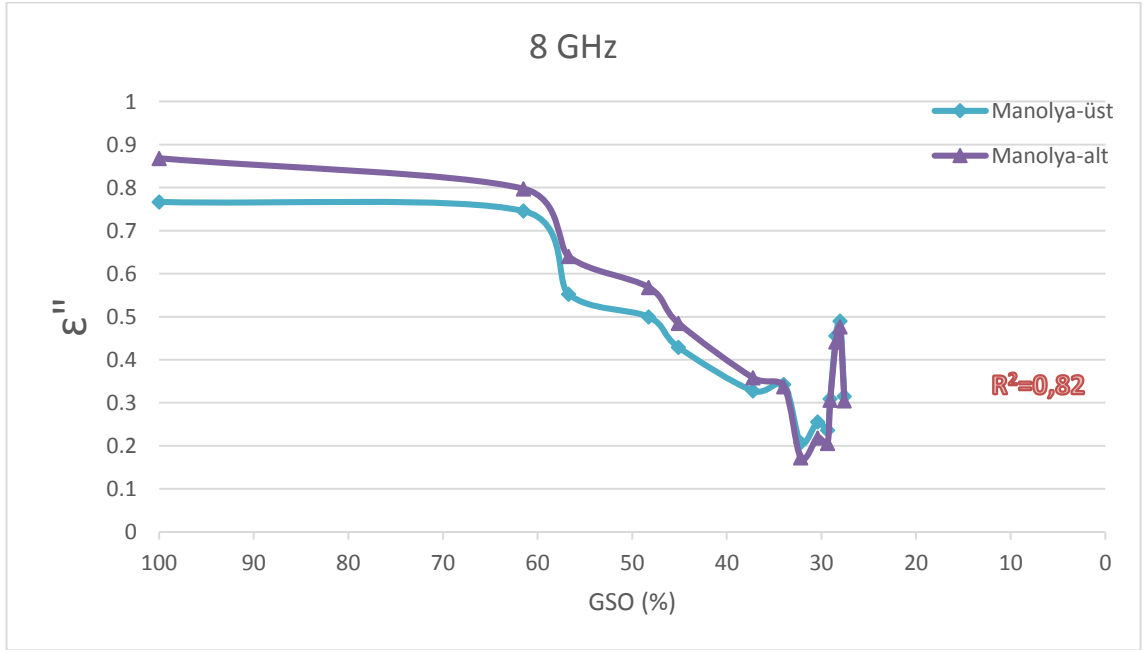
$$\varepsilon''(M) = 0,4348e^{-0,22M} \quad (4.16)$$

bu denklemde su miktarını belirten  $M$  ifadesi GSO değeri ile aynıdır. Son üç veri trendi bozduğu için formül çıkarımı hesabında kullanılmamıştır.

Örneklenen diğer frekans olan 8 GHz’de manolya yaprağı dielektrik sabiti su oranına (GSO) göre hesaplanmış ve sonuçları aşağıdaki Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de yer alan grafiklerde verilmiştir.



Şekil 4.17. Manolya yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 8GHz’de GSO’ya göre değişimi



Şekil 4.18. Manolya yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 8GHz’de GSO’ya göre değişimi

Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de yer alan grafiklerde son üç noktaya ait verilerin eğilimi bozduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle eğilim çizgisi denklemi bulunurken bu veriler

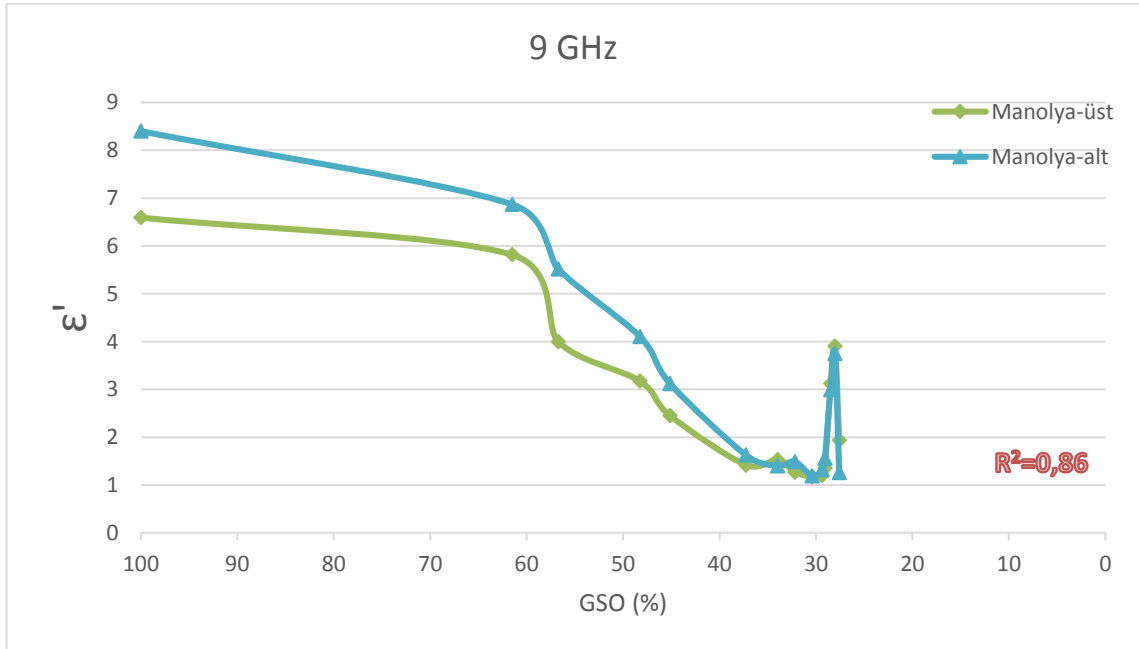
kullanılmamıştır. Yaprığın alt ve üst kısımlarına ait sonuçlara göre 8 GHz frekansında çizdirilen grafiklerde eğilim çizgileri ve bunlara ait denklemler bulunmuştur. Sonrasında bu denklemlerin ortalaması alınarak tek bir denklem olarak birleştirilmiş ve aşağıda paylaşılmıştır:

$$\varepsilon'(M) = 7,3337e^{-0,1875M} \quad (4.17)$$

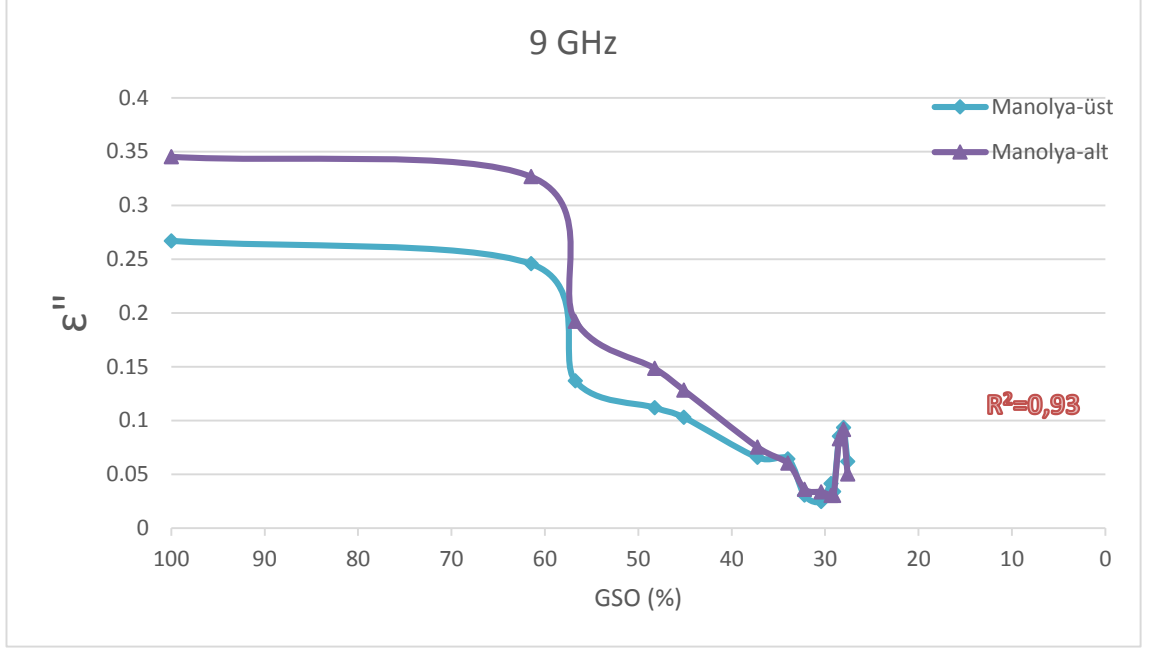
$$\varepsilon''(M) = 0,8897e^{-0,1365M} \quad (4.18)$$

şeklinde verilen denklemlerde  $M$  ifadesi GSO değerine karşılık gelmektedir.

9 GHz frekans değerinde hesaplanmış manolya yaprağının su oranına (GSO) göre dielektrik sabiti ise aşağıdaki Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'deki grafiklerde yer almaktadır.



Şekil 4.19. Manolya yaprağı dielektrik sabiti reel kısmının 9GHz'de GSO'ya göre değişimi



Şekil 4.20. Manolya yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmının 9GHz’de GSO’ya göre değişimi

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de yer alan grafiklerde de aynı şekilde eğilim çizgisi ve bunlara ait denklemler bulunmuştur. Sonrasında bu denklemlerin ortalaması alınarak tek denklem oluşturulmuştur. Manolya yaprağının 9 GHz frekansında su oranı ile dielektrik sabitini veren denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\epsilon'(M) = 7,7255e^{-0,194M} \quad (4.19)$$

$$\epsilon''(M) = 0,3822e^{-0,255M} \quad (4.20)$$

Devetabanı yaprağında %38 GSO değerinde görülen bozulmaya benzer şekilde manolya yaprağında da %34 GSO değerinde az bir bozulma olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır. Bu durum daha önce belirtildiği üzere; insandan, cihazdan ya da farklı bir dış faktörden kaynaklanmış olabilir ama tam olarak nedeni bilinmemektedir. Her iki yaprak türüne ait bozulmalar da zaten aynı zamanda alınan ölçümlerde olmuştur.

### 4.3. Regresyon Analizi

Devetabanı ve manolya yapraklarının ölçümü ile elde edilen sonuçlar kullanılarak dielektrik sabitleri bulunmuş ve önceki kısımlarda anlatılmıştı. Bulunan dielektrik sabiti değerleri tek değişkenli regresyon analizi yapılarak denklemler oluşturulmuştu. Bu kısımda ise çıkarılmış olan formüllerin hata analizleri yapılmıştır. Ayrıca frekansa ve su

oranına göre elde edilen denklemler birleştirilerek iki bilinmeyenli denklemler oluşturulmuştur yani çok değişkenli regresyon analizi yapılmıştır.

Belirleme katsayısı yani  $R^2$  değeri regresyon analizinde uyumluluğu ifade etmektedir. Formülü ise;

$$R^2 = 1 - \frac{S_{hata}^2}{S_{top}^2} \quad (4.21)$$

şeklinde yazılabilir. Yani toplam hataların karesi ( $S_{hata}^2$ ) ile tüm toplamaların karesi ( $S_{top}^2$ ) oranının birden çıkartılmasıyla denklemin uyumluluk oranı bulunur. Bu değer 1'e ne kadar yakınsa örneklerin denkleme o kadar çok uyum sağladığını gösterir. Denklemlerini daha önce çıkarmış olduğumuz grafiklerin  $R^2$  değer tablosu aşağıda paylaşılmıştır.

Çizelge 4.4. Grafiklerin eğilim çizgilerine göre bulunmuş denklemlerin  $R^2$  değerleri

Denklem	Frekansa göre $R^2$	GSO'ya göre $R^2$
(4.1)	0,45	-
(4.2)	0,26	-
(4.3)	0,19	-
(4.4)	0,3	-
(4.5)	-	0,8
(4.6)	-	0,9
(4.7)	-	0,87
(4.8)	-	0,92
(4.9)	-	0,78
(4.10)	-	0,89
(4.11)	0,15	-
(4.12)	0,26	-
(4.13)	0,22	-
(4.14)	0,33	-
(4.15)	-	0,91
(4.16)	-	0,95
(4.17)	-	0,93
(4.18)	-	0,82
(4.19)	-	0,86
(4.20)	-	0,93

Bu tabloda görüldüğü üzere denklemlerin uyumluluğu su oranına göre bulunan denklemler için daha iyidir. Frekans grafiklerinde verilerin eğilim çizgisinin ya aşağısında ya da üst kısmında toplanmasından dolayı uyum azmış gibi çıkmaktadır. En



iyi  $R^2$  oranı yani uyumluluk denklem (4.16)'daki GSO'ya göre  $\varepsilon''$  değeri için en kötüsü ise denklem (4.11)'de frekansa göre  $\varepsilon'$  değeri için çıkmıştır.

Çoklu regresyon tekniği kullanılarak devetabanı ve manolya yaprağının dielektrik sabitlerini veren denklem iki bilinmeyene yani frekans ve su oranına göre bu kısımda çıkartılmıştır. Çıkarımlar MS Excel programı üzerinde çalışan "XLSTAT" makrosu kullanılarak yapılmıştır. Daha öncesinde frekansa ve su oranına göre devetabanı ve manolya yapraklarının değişim grafikleri incelenerek denklem çıkarımları yapılmıştı. Frekansa göre denklemler ikinci dereceden polinom ve GSO'ya göre üstel fonksiyon şeklinde bulunmuştu. Önceki başlıklarda bulunmuş olan bu denklemlerden yararlanılarak çoklu regresyon analizinde kullanılacak denklem formatına karar verilmiştir. Denklemlerin olması gereken formatı aşağıda verildiği gibidir:

$$Y(X_1, X_2) = aX_1^2e^{-bX_2} + cX_1e^{-dX_2} + ge^{-hX_2} + k \quad (4.22)$$

bu denklemde  $a, b, c, d, g, h, k$  sabitleri,  $X_1$  ve  $X_2$  değişkenleri ifade eder.  $Y$  ise örnekleri verilen ve regresyon ile elde edilmeye çalışılan sonuçlardır.

Denklem (4.22)'de verilen şablon referans alınarak *XLSTAT* programında oluşturulmuş; frekansa ve GSO'ya göre devetabanı dielektrik sabiti reel kısmını ( $\varepsilon'$ ) veren denklem aşağıda paylaşılmıştır:

$$\varepsilon'(f, M) = 0,036f^2e^{-0,005M} - 2,407fe^{0,025M} + 6,153e^{-0,007M} + 4,568 \quad (4.23)$$

verilen denklemde  $f$  frekansı ve  $M$  su oranı yani GSO'yu ifade etmektedir. Bu denklem bulunurken eğilimi bozduğu Şekil 4.5, Şekil 4.7 ve Şekil 4.9'dan anlaşılan son üç (GSO 25, 24 ve 22) veri burada değerlendirme dışı bırakılmıştır. Denklem (4.23)'ün regresyon analizinde  $R^2=0,80$  olarak bulunmuştur ve bu değere göre denklemin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu söylenebilir. Ayrıca bu denklemde standart sapma (kareler ortalamasının karekökü) değerleri dielektrik sabiti reel kısmı için 1,837, frekans için 0,648 ve GSO için 19,672 olarak bulunmuştur.

Çoklu regresyon tekniği kullanılarak yukarıdaki gibi devetabanı yaprağının dielektrik sabiti sanal kısmını ( $\varepsilon''$ ), frekansa ( $f$ ) ve GSO'ya ( $M$ ) göre veren denklem çıkarılmış ve aşağıda paylaşılmıştır:

$$\varepsilon''(f, M) = 0,093f^2e^{-0,085M} - 0,921fe^{-0,069M} + 24,466e^{-0,165M} + 0,515 \quad (4.24)$$

Regresyon analizi ile denklem çıkarımı yapılırken Şekil 4.6, Şekil 4.8 ve Şekil 4.10'da yer alan grafiklerde son üç verinin trendi bozmasından dolayı hesaplamalara katılmamıştır. (4.24) denkleminin  $R^2$  değeri ise 0,69 olarak hesaplanmıştır. Bu değeri daha fazla iyileştirmek mümkün olmamıştır. Yine de nispeten iyi ve kabul edilebilir bir

değerdir. Standart sapma değerleri ise  $\varepsilon''$  için 0,111,  $f$  için 0,648 ve  $M$  için 19,672 olarak bulunmuştur.

Manolya yaprağına ait çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen ve dielektrik sabiti reel kısmı ( $\varepsilon'$ ) veren denklem aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon'(f, M) = 0,023f^2e^{0,007M} - 2,076fe^{-0,031M} + 28,742e^{-0,124M} + 5,066 \quad (4.25)$$

bu denklemde yer alan  $f$  ve  $M$  değerleri sırasıyla frekansa ve GSO'ya karşılık gelmektedir. Şekil 4.15, Şekil 4.17 ve Şekil 4.19'dan gözlenen son üç verinin (GSO %28'e karşılık gelen değerler) trendi bozması nedeniyle silinmiş ve hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Denklemde ait  $R^2$  değeri 0,89 olarak tespit edilmiştir. Bu değer 1'e oldukça yakındır ve bu denklemin ölçüm sonuçlarına ciddi anlamda uyumlu olduğunu göstermektedir. Standart sapma değerleri dielektrik sabiti reel kısmı 2,071, frekans 0,624 ve GSO 19,672 olarak bulunmuştur.

Manolya yaprağı dielektrik sabiti sanal kısmı ( $\varepsilon''$ ) için frekansa ( $f$ ) ve su oranına ( $M$ ) bağlı çoklu regresyon denklimi ise aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon''(f, M) = -0,033f^2e^{-0,056M} + 4,322fe^{-0,182M} - 0,068e^{-0,053M} + 0,350 \quad (4.26)$$

Denklem (4.26) çıkarımı yapılırken Şekil 4.16, Şekil 4.18 ve Şekil 4.20 incelenerek yine son üç verinin çıkarılmasına karar verilmiştir. Bu denklemde  $R^2=0,77$  olarak bulunmuştur ve tatmin edicidir. Standart sapma değerleri dielektrik sabiti sanal kısmı için 0,112; frekans ve GSO için reel kısım ile aynı yani sırasıyla 0,624 ve 19,672 olarak bulunmuştur.

Bu kısımda verilen denklemler X-bandı frekans değerleri içindir. Bu bandın dışındaki farklı frekanslarda sonuçlar doğru olmayabilir. 7,5 GHz kesim frekansı olduğu için X-bandı sınırları içinde kalan 7 GHz – 7,5 GHz arasında da denkleme göre sonuçlar doğru çıkmayabilir.

Çalışmanın bu kısmında çoklu regresyon yöntemi uygulanarak dielektrik sabitini hem frekansa hem de su oranına göre veren denklemleri yukarıda bulmuştuk. Bu denklemlerin kullanılan verilerle uyumluluğunu gösteren belirleme katsayısı  $R^2$  değerleri aşağıdaki Çizelge 4.5'te toplu olarak ayrıca verilmiştir.

Çizelge 4.5. Çoklu regresyon analizinde bulunan denklemlerin  $R^2$  değerleri

Denklem	$R^2$
(4.23)	0,80
(4.24)	0,69
(4.25)	0,89
(4.26)	0,77

Yukarıda paylaşılan Çizelge 4.5’de denklem (4.25)’in verilerle yüzde %89 uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Kullanılan verilerin ampirik yolla elde edildiği ve iki bilinmeyenli ikinci dereceden regresyon analizi yapıldığı düşünüldüğünde bu uyumluluk gerçekten başarılıdır. Denklem (4.24)’ün verilerle uyumluluğu ise en azdır. Bu oran daha fazla arttırılamamıştır. Bu denklem için verilerle neredeyse %70 uyumluluk söz konusudur ve bu tür analizlerde yeterli sayılır.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, devetabanı ve manolya yapraklarının vektör network analizör kullanılarak S parametreleri ölçülmüş ve yaprakların dielektrik özelliklerinin temel parametresi olan elektriksel geçirgenlik ( $\epsilon$ ) değerinin reel ve sanal kısımları hesaplanmıştır. Bu hesaplamada ölçülen  $S_{11}$  ve  $S_{21}$  değerleri aracılığı ile yaprakların barındırdığı su oranı ve uygulanan frekansa bağlı olarak dielektrik sabitlerini veren ampirik formüller çıkarılmış ve analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerine uygulanan çoklu regresyon tekniği ile %69 ile %89 arasında değişen oranlarda uyumlu denklemler elde edildiği gösterilmiştir.

Literatüre, uygulanan frekans ve su oranına aynı anda bağlı olan ampirik formüller kazandırılmıştır. Geliştirilen yeni yöntem sayesinde yapılabilecek yeni çalışmalara yol gösterilmiştir.

Gelecekte, farklı bitki yaprakları için daha geniş bir frekans aralığında çalışmaların tekrarlanması hedeflenmektedir. Akabinde yaprak, dal, gövde, tek bir ağaç ve toplu alanların genel dielektrik özelliklerinin belirlenmesine çalışılacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

- AKHTAR, M.J. and THUMM, M. 2012. Measurement of complex permittivity of cylindrical objects in the E-plane of a rectangular waveguide. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol.51, No.1, pp.122-131, Jan. 2013
- ANONİM. AGILENT. 2004. Agilent network analyzer basics. <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7917E.pdf>. (Son erişim tarihi: 12.12.2014)
- ANONİM. KEYSIGHT. 2014. Analyzing transmission line (RLCG) parameters. [http://na.support.keysight.com/plts/help/WebHelp/Analyzing/Analyzing\\_Transmission\\_Line\\_Parameters.html](http://na.support.keysight.com/plts/help/WebHelp/Analyzing/Analyzing_Transmission_Line_Parameters.html). (Son erişim tarihi: 15.11.2014)
- BALANIS, C.A. 1989. Advanced engineering electromagnetics. Wiley, pp.570-660 New York
- BALANIS, C.A. 2005. Antenna theory: Analysis and design. John Wiley Press, ch.17
- BELEVITCH, V. 1962. Summary of the history of circuit theory. Proceeding of the IRE. Vol.50, Iss.5, pp.848-855, May 1962.
- BOREL, C.C. and McINTOSH, R.E. 1990. Milimeter wave backscatter from deciduous trees. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.38, No.9, pp.1391-1398, Sep. 1990
- CHUAH, H.T., LEE, K.Y. and LAU, T.W. 1995. Dielectric constants of rubber and oil palm leaf samples at X-band. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.33, No.1, pp.221-223, Jan. 1995
- DICKE, R.H. 1947. A computational method applicable to microwave networks. J. Appl. Phys. 18, 873. 1947.
- FRANCO, H.C.S., PIMENTA, M.T.B., CARVALHO, J.L.N., MAGALHAES, P.S.G., ROSSEL, C.E.V., BRAUMBECK, O.A., VITTI, A.C., KÖLNN, O.T. VE NETO, J.S. 2013 Assesment of sugarcane trash for agronomic ang energy purposes in Brazil. Sci. Agric. V.70, n.5, p.305-312, Sep./Oct. 2013
- FUNG, A.K. and FUNG, H.S. 1977. Application of first-order renormalization method to scattering from a vegetation-like half-space. IEEE Transactions on Geoscience Electronics, Vol.GE-15, pp.189-195

- HARDIN, J.A., WECKLER, P.R. and JONES, C.L. 2012. Microwave backscatter response of pecan tree canopy samples for estimation of pecan yield in situ using terrestrial radar. Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture, 90 (2013) 54-62
- HELHEL, S., ÇOLAK B. and ÖZEN S. 2009. Measurement of dielectric constant of thin leaves by moisture content at 4mm band. Progress In Electromagnetic Research Letters, Vol.7, 183-191, 2009
- JANEZIC, M.D. and JARGON, J.A. 1999. Complex permittivity determination from propagation constant measurement. IEEE Microwave and Guided Wave Letter. Vol.9, No.2, Feb. 1999
- KRASZEWSKI, A. 1980. Microwave aquametry. Microwave Power. 15:209-20
- KRASZEWSKI, A. and NELSON, S. 1990. Study on grain permittivity measurements in free space. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, Vol.25, No.24, pp.202-210
- KURNAZ, O. 2012. Yalıtkan kütük içine gömülü metallerin X-bandı radar ölçümü ile belirlenmesi. Yüksek Lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 67 s.
- MAHAFZA, B.R. 2005 Radar systems analysis and design using Matlab. Taylor and Francis Group, ch.10
- POZAR, M.D. 2004. Microwave Engineering. John Wiley & Sons, 2004.
- RIAD, T. and JING, Q. 2010. A Nonlinear S-parameters Behavioral Model for RF LNAs. 2nd Asia Symposium on Quality Electronic Design. pp.106-111.
- SAMII Y.M., WILLIAMS L.I. and YACCARINO R.G. 1995. The UCLA bipolar planar near field antenna measurement and diagnostic range. IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol.37, No.6, Dec. 1995
- SARABANDI, K. and ULABY, F.T. 1988. Technique for measuring the dielectric constant of thin materials. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.37, No.4, pp.631-636, Dec. 1988
- SEKER, S. and ABATAY, H. 2005. New frequency-dependent parametric modeling of dielectric materials. Elsevier, Int. J. Electron. Commun. (AEÜ) 60 (2006) 320-327

- STILES, J. 2005. The complex propagation constant  $\gamma$ .  
[http://www.itc.ku.edu/~jstiles/723/handouts/The\\_Complex\\_Propagation\\_Constant.pdf](http://www.itc.ku.edu/~jstiles/723/handouts/The_Complex_Propagation_Constant.pdf). (Son erişim tarihi: 12.12.2014)
- TAYLOR, B. N. and THOMPSON, A. 2008. The International System Units (SI). Nist Special Publication 330, 2008 Edition.  
<http://physics.nist.gov/Pubs/SP330/sp330.pdf> (Son erişim tarihi: 12.12.2014)
- ULABY, F.T. and EL-RAYES, M.A. 1987. Microwave dielectric spectrum of vegetation – Part 2: Dual-dispersion model. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol.GE-25, pp.550-557
- YAMASAKI, S. and DILLENBURG, L.R. 1999. Measurement of leaf relative water content in araucaria angustifolia. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, 11(2):69-75
- YÖRÜK, Y. E., KURNAZ, O., HELHEL, S. ve ÖZEN, Ş. 2012. Devetabanı ve kauçuk yapraklarının nem oranına göre elektriksel özellikleri. Eleco 2012, ss.231-233, 29 Kasım – 1 Aralık 2012, Bursa

## ÖZGEÇMİŞ

Yunus Emre YÖRÜK 1983 yılında Balıkesir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Balıkesir’de tamamladı. 2002 yılında girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden 2008 yılında mezun oldu. 2008-2012 yılları arasında özel sektörde değişik firmalarda çalıştı. Sırasıyla bunlar; Nokia Siemens Networks firmasında uzman, Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş.’de RF Planlama ve Optimizasyon mühendisi olarak çalıştı. Sonrasında 2012-2013 yılları arasında Adalet Bakanlığı Bilgi İşlem Dairesi UYAP merkezinde çözümleyici olarak çalıştı. 2013 yılı sonunda Balıkesir Üniversitesi Bilgi İşlem Araştırma ve Uygulama Merkezinde uzman olarak çalışmaya başladı ve halen burada görev yapmaktadır.