T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GİYİLEBİLİR UYGULAMALAR İÇİN EŞİT YAMA ALANINA (EYA) SAHİP TEKSTİL DİELEKTRİK MALZEME TABANLI MİKROŞERİT ANTENLERİN 2.4, 3 VE 5.8 GHz FREKANSLARINDAKİ PERFORMANSLARI

Ozen Husham Mustafa ALBAIRAQDAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Telekomünikasyon Anabilim Dalını

Ocak-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ozen Husham Mustafa ALBAIRAQDAR tarafından hazırlanan **"Giyilebilir Uygulamalar İçin Eşit Yama Alanına (EYA) Sahip Tekstil Dielektrik Malzeme Tabanlı Mikroşerit Antenlerin 2.4, 3 Ve 5.8 GHz Frekanslarındaki Performansları"** adlı tez çalışması 12/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Telekomünikasyon Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Cemil SUNGUR	.....
Danışman Yrd. Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN	.....
Üye Yrd. Doç. Dr. Sabri ALTUNKAYA	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

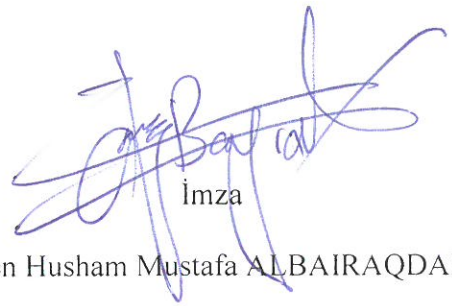
Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



İmza

Ozen Husham Mustafa ALBAIRAQDAR

Tarih: 12.01.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİYİLEBİLİR UYGULAMALAR İÇİN EŞİT YAMA ALANINA (EYA) SAHİP TEKSTİL DİELEKTRİK MALZEME TABANLI MİKROŞERİT ANTENLERİN 2.4, 3 VE 5.8 GHz FREKANSLARINDAKİ PERFORMANSLARI

Ozen Husham Mustafa ALBAIRAQDAR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

2018, 79 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Yrd. Doç. Dr. Sabri ALTUNKAYA
Yrd. Doç. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

Elektronik ve telekomünikasyon alanında tekstil ürünlerinin kullanımı, günümüz giyilebilir teknolojiler adına oldukça ilgi çekicidir. Yeni tasarımlar ve yeni ürünler insan hayatında kolaylaştırıcı, kurtarıcı ve denetleyici roller almaktadır. Özellikle bedensel merkezli kablosuz iletişim, dördüncü nesil mobil iletişim sistemlerinin (4G) önemli bir parçası durumundadır. Bu gibi giyilebilir teknolojilerin telekomünikasyon uygulamalarını içeren sistemlerinin en önemli parçası ise antenlerdir. Giyilebilir bir anteni içeren rahat ve dayanıklı bir kumaşın, kablosuz iletişimi sağlamak için uygulanabileceği ve kolayca entegre edilebileceği ise araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir. Bunun yanında düzlemsel ve esnek yapıdaki bir tekstil malzemesinin, çeşitli özellikleri, antenin davranışını etkileyecektir. Örneğin, düzlemsel bir mikro şerit anteninin bant genişliğinin ve verimliliğinin iyi olması, geçirgenliğine, yama şekline ve kalınlığına bağlıdır. Bu sebeple tekstil kullanımının özelliklerinin karakterize edilmesini ve belirlenebilmesi oldukça önemlidir. Genel olarak tekstil malzemeleri, yüzey dalgası kayıplarını azaltan ve antenin empedans bant genişliğini arttıran, çok düşük bir dielektrik sabiti sunar. Bununla birlikte su molekülleri yoluyla elektromanyetik özellikleri sürekli olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, bu özelliklerin anten davranışını nasıl etkilediğini bilmek önemlidir.

Mikro şerit antenlerin küçük, hafif, kullanışlı ve üretimlerinin ucuz olmalarının yanında, rezonans frekansı, bant genişliği, geri dönüş kaybı, kazancı, verimi ve duran dalga oranı gibi en uygun elektriksel parametrelerinin elde edilebilmesi de oldukça güçtür. Bunu sağlayabilmek için günümüzde araştırmacılar farklı boyut ve malzemelerde en uygun ışıma gücü ve şeklini alabilmek için değişik fiziksel yapıları denemekte ve üzerinde optimizasyon tekniklerini uygulamaktadırlar. Özellikle yüksek frekanslarda, kullanılan malzemenin dielektrik özelliği mikroşerit antenlerin sayılan tüm parametrelerini değiştirebilmekte ve anten performansını çok büyük oranda etkileyebilmektedir. Bu etkilerin araştırılması ve en uygun malzemenin elde edilmesi üzerine bu çalışma ile farklı tekstil malzemelerin fiziksel yapısının ve dielektrik özelliklerinin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kot, keçe ve kadife gibi farklı tekstil ürünleri ile yaygın olarak kullanılan 2.4, 3 ve 5.8 GHz gibi üç farklı rezonans frekans bandı üzerinde tekstil tabanlı mikroşerit anten tasarımları gerçekleştirilmiş ve performansları incelenmiştir.

Giyilebilir mikro şerit antenlerin performanslarının incelenmesine yönelik bu tez çalışmasında mikro şerit antenlerin literatürde oldukça yaygın uygulamaları olan dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen şekilli geometrik yapılar tasarlanmıştır. Yama şekilli yapılar, dikdörtgen yapı baz alınarak ve alanları ile tabanları eşitlenerek tez konusu giyilebilir antenler için teorik hesaplamalar sonucu tasarımları yapılmış ve üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen antenlerin ölçümleri, "Vektör Network Analizör" ölçüm cihazı ile en iyi bant genişliği, geri dönüş kaybı, empedansı ve duran dalga oranı gibi en önemli elektriksel

parametreler tespit edilmiştir. Ölçüm ile elde edilen anten frekansları hesaplanan frekanslar ile karşılaştırılarak antenlerin performansları ortaya konmuştur. Sonuç olarak önerilen eşit alan ve eşit taban yönteminin, kot, kadife ve keçe gibi malzemelerin giyilebilir uygulamalarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Giyilebilir Teknoloji, Mikroşerit Tekstil Antenler, Dikdörtgen Anten, Daire Anten, Eşkenar Üçgen Anten

ABSTRACT

MS THESIS

THE PERFORMANCES OF MICROSTRIP ANTENNAS AT 2.4, 3 AND 5.8 GHz FREQUENCIES BASED ON TEXTILE DIELECTRIC MATERIAL HAVING EQUAL PATCH AREA (EYA)

Ozen Husham Mustafa ALBAIRAQDAR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL-ELECTRONICS ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

2018, 79 Pages

Jury
Prof. Dr. Cemil SUNGUR
Asst. Prof. Dr. Sabri ALTUNKAYA
Asst. Prof. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

The use of textile products in the field of electronics and telecommunications is highly attractive for today's wearable technologies. New designs and new products are taking role of facilitator, rescuer and controller in human life. In particular, bodily-oriented wireless communication is an important component of fourth generation mobile communication systems (4G). The most important part of systems that include telecommunication applications of such wearable technologies is antennas. It is expressed by researchers that a comfortable and durable fabric containing a wearable antenna can be implemented and easily integrated to provide wireless communication. However, various properties of a textile material in planar and flexible structure will affect the behavior of the antenna. For example, the planar width of a microstrip antenna and its efficiency are dependent on its permeability, patch shape and thickness. For this reason, it is very important to characterize and determine the characteristics of textile usage. In general, textile materials provide a very low dielectric constant that reduces surface wave losses and increases the impedance bandwidth of the antenna. However, the electromagnetic properties of water molecules can change continuously. For this reason, it is important to know how these features affect antenna behavior.

Besides the fact that microstrip antennas are small, light and useful and their production is cheap, it is also very difficult to obtain optimum electrical parameters such as resonance frequency, bandwidth, return loss, gain, yield and standing wave ratio. In order to achieve this, researchers are experimenting with different physical structures and applying optimization techniques to obtain the optimal radiation power and shape in different sizes and materials. Especially at high frequencies, the dielectric property of the material used can change all the parameters of the microstrip antennas and affect the performance of the antenna very much. The purpose of this study is to investigate the effect of physical properties and dielectric properties of different textile materials on investigating these effects and obtaining the most suitable material. For this purpose, textile based microstrip antenna designs on three different resonance frequency bands like 2.4, 3 and 5.8 GHz commonly used with different textile products such as jeans, felt and velvet have been realized and their performances have been examined.

In this thesis study examining the performances of wearable microstrip antennas, rectangular, circular and equilateral triangular geometric structures, which are very common applications of microstrip antennas in the literature, are designed. The patch-like structures are based on a rectangular structure and their theoretical equations and their bases are equalized to produce theoretical calculations for the wearable antennas and their productions have been realized. The most important electrical parameters such as best bandwidth, return loss, impedance and standing wave ratio were determined with the "Vector Network Analyzer" measurement of the produced antennas. The performance of the antennas was determined by comparing the antenna frequencies obtained by the measurements with the calculated frequencies. As a result, it was determined that the proposed method of matching and matching method can be used for wearable applications such as jeans, velvet and felt.

Keywords: Wearable Technology, Microstrip Textile Antennas, Rectangular Antenna, Circle Antenna, Rhombus Triangle Antenna

ÖNSÖZ

Yüksek lisans süresince bana danışmanlık yapan ve her zaman her konuda desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, her zaman bana yardımcı olan ve yol gösteren Öğr.Gör.Dr. Dilek UZER, Arş.Gör. Rabia TOP ve Öğr.Gör.Dr. Özgür DÜNDAR hocalarıma çok teşekkür ederim

Hayatım boyunca her zaman bana inanan, yanımda olan ve her türlü desteğini esirgemeyen canımdan çok sevdiğim, babam Haşim, annem Aysun, abim Öcal ve evimizin neşesi kardeşim Önal, sizlere çok teşekkür ediyorum. Siz gönlümün renklerisiniz, her şeyimi size borçluyum, iyi ki varsınız. Sizi çok seviyorum…

Ozen Husham Mustafa ALBAIRAQDAR
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Kaynak Araştırması 3

2. MİKROŞERİT ANTEN UYGULAMALARINDA DİELEKTRİK MALZEMESİ OLARAK TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN KULLANILMASI……..7

2.1. Giriş 7
2.2. Dokuma Kumaşlar ve Kot,Kadife,Keçe Gibi Kumaşların Yapısal Özellikleri..9
2.2.1. Dielektrik taban olarak kullanılabilen kot……10
2.2.2. Dielektrik taban olarak kullanılabilen kadife…… ……...12
2.2.3. Dielektrik taban olarak kullanılabilen keçe…… …… .13

3. MİKROŞERİT ANTENLER……15

3.1. Mikroşerit Antenlerin Genel Yapısı 15
3.2. Mikroşerit Antenler İçin Analitik ve Sayısal Modeller……21
3.2.1. İletim hattı modeli……..……23
3.2.2. Rezonatör modeli…….……..……....…23
3.2.3. Genelleştirilmiş rezonatör modeli……...……...24
3.2.4. Çok kapılı ağ modeli…….....…24
3.2.5. Mikroşerit antenlerin tam dalga analizi……25
3.2.6. Spektral domen tam dalga analizi……..…….....…27
3.2.7. Karmaşık potansiyel integral denklemi analizi…….....29
3.2.8. Sonlu-Fark zaman-domeni analizi…….……...29

4. TEKSTİL DİELEKTRİK MALZEME TABANLI DİKDÖRTGEN, DAİRE VE EŞKENAR ÜÇGEN YAMA ŞEKİLLİ MİKROŞERİT ANTENLERİN TASARIMI VE HESAPLAMALARI…..... 31

4.1. Dikdörtgen Şekilli Mikroşerit Anten. 31
4.2. Daire Şekilli Mikroşerit Anten…….....…33
4.3. Eşkenar Üçgen Şekilli Mikroşerit Anten……..34

4.4. Bant Genişliği (BW), Geri Dönüş Kaybı (S_{11}), Giriş Empedansı (Z_A) ve Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)……...……35

4.4.1. Bant genişliği (BW)……...…….....35

4.4.2. Geri dönüş kaybı (S_{11}) ve giriş empedansı (Z_A)…….……...……37

4.4.3. Gerilim duran dalga oranı (VSWR)…..……...…….38

4.5. Tekstil Dielektrik Malzeme Tabanlı Mikroşerit Antenlerin 2.4, 3 ve 5.8 GHz Frekanslarındaki Performanslarının Eşit Alanlı Yama Yöntemiyle İncelenmesi...39

4.5.1. Örnek anten hesaplaması……...……39

4.5.2. 2.4, 3 ve 5.8 GHz anten uygulamaları……...……41

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER……..48

5.1 Sonuçlar…….…48
5.2 Öneriler……..…49

KAYNAKLAR…….....51

EKLER…….....55

EK-1…….....55
EK-2…….....58

ÖZGEÇMİŞ……...……66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Q	Kalite Faktörü
h	Mikroşerit Anten Taban Kalınlığı
t	Mikroşerit Anten Yama ve Toprak Düzlemi Kalınlığı
$\mathcal{E}_r$	Dielektrik Sabiti
λ	Dalga Boyu
λ_0	Boşluk Dalga Boyu
c	Işık Hızı
L	Dikdörtgen Mikroşerit Anten Eni
W	Dikdörtgen Mikroşerit Anten Boyu
S_{11}	Geri Dönüş Kaybı
$\%BW$	Yüzde Bant Genişliği
Z_A	Giriş Empedansı
Z_0	Karakteristik Empedans
a_{eff}	Yamanın Etkin Yarıçapı
ε_{eff}	Efektif Dielektrik Sabiti
s	Eşkenar Üçgen Kenar Uzunluğu
s_{eff}	Eşkenar Üçgen etkin Kenar Uzunluğu
R_A	Anten Gerçel Direnç
X_A	Anten Reaktif Empedansı
R_L	Anten Yük Direnci
R_r	Anten Işıma Direnci
Γ	Yansıma Katsayısı
f_0	Merkezi Frekans
f_1	Frekans Bandının Alt Sınırı
f_2	Frekans Bandının Üst Sınırı
ρ	Yansıma Katsayısını
f_r	Çalışma Frekansı
$f_{rö}$	Ölçülen Çalışma Frekansı

Kısaltmalar

EYA	Eşit Yama Alanı
4G	Dördüncü Nesil Mobil İletişim Sistemleri
MŞA	Mikroşerit Antenler
LCP	Sıvı Kristal Polimer
CST MWS	Computer Simulation Technology Microwave Studio
WLAN	Kablosuz Yerel Alan Ağ
EBG	Elektromanyetik Bant Aralığı
NMPA	Düzgün Olmayan Yivli Anten
GSM	Mobil İletişim İçin Küresel Sistem
DCS	Sayısal Haberleşme Sistemi
FDTD	Sonlu Fark Zaman Domeni
MPIE	Karışık-Potansiyel İntegral Denklemi
MNM	Multiport Network Model (Çok Noktalı Ağ Modeli)
HFSS	High Frequency Structural Simulator (Yüksek Frekans Yapısal Simulatörü)
EBG	Elektromanyetik Bant Aralığı
SAR	Spesific Absorption Rate (Özgül Emilim Oranı**)**
NMPA	Düzgün Olmayan Yivli Anten
PCPTF	Saf Bakır Polyster Tafetta Kumaş
ISM	Endüstriyel, Bilimsel ve Tıbbi Bandı
BCWC	Gövde-Merkezli Kablosuz İletişim
PPD	Parafenil Daimin
VSWR	Gerilim Duran Dalga Oranı (S)

1. GİRİŞ

Elektronik teknolojisinde devrelerin küçülmeye başlaması, amaca yönelik elastiki uygulamaların gerekliliği, boyutların nano boyutlara indirgenebilmesi gibi uygulamalar giyilebilir teknolojiyi günümüzün en popüler konularından biri haline getirmiştir. Günlük hayatta kullanılan aksesuar ve kıyafetler sensör ve gerekli donanımlar eklenerek akıllı cihaza dönüşebilmekte ve kendi aralarında haberleşebilmektedir. Bu yüzden kullanıcı, veri alışverişi ve hesaplama gibi işlemleri, daha büyük bilgisayarlara ihtiyaç duymadan vücuduna monte edilebilen elektronik devreler veya giydiği kıyafetlerin hesaplama ve haberleşme yeteneği sayesinde kolayca sağlayabilmektedir. Sağlık, eğitim, spor, eğlence ve daha birçok alanda karşımıza çıkan bu tür donanımlar, kullanım yöntemlerine göre giyilebilir teknoloji sektörünü oluşturmuşlardır. Ortak özellikleri arasında yüksek kapasitede kablosuz iletişim yapabilme ve dahili ölçüm yapabilen sensörleri barındırma gibi özellikler yer almaktadır (Sultan, 2015) ve (Teng, Zhang, Poon, & Bonato, 2008).

Fakat giyilebilir teknolojilerde her yeni teknoloji gibi başlangıçta lüks sayılabilecek uygulamalar iken artık özellikle tıp alanı başta olmak üzere birçok alanda ihtiyaç durumuna gelmiştir. Tez çalışmasının da amacı olan bu ihtiyacı daha basit, daha kullanılabilir, daha ucuz ve daha kaliteli hale getirebilecek ve kablosuz iletimin ayrılmaz parçası olan antenler üzerinedir.

Bir kablosuz iletişimde kullanılan antenin performansı, üzerine takılı cihazın kalitesini, kullanılabilirliğini ve basitliğini ortaya çıkarmaktadır. Giyilebilir sistemlerde oldukça popüler hele gelen bu sistemlerde kullanılan antenlerin dielektrik malzemesi, giyildiği tekstil ürünü malzemesi ile aynı olmasıdır. Teknolojinin gelişimi ile bazı uygulamalarda artık bu ürünler “giyilebilir anten” adını almıştır.

Giyilebilir antenlerin mikroşerit anten olması ise yaygın bir durumdur. Çünkü çalışılan frekanslar yüksek frekanslardır. Yüksek frekanslarda bilindiği gibi anten boyutları küçülebilmektedir. Dolayısıyla giyilebilir antenler genellikle mikro şerittir. Mikroşerit antenlerin (MŞA) oldukça fazla avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Bunların başında bandgenişliği ve verim gelmektedir. Genellikle de giyilebilir uygulamalarda her yöne ışıma istenir. Sorun her yöne ışıma yapabilen, bandgenişliği iyi olan, verimi yüksek olan ve diğer elektriksel parametrelerinin iyi performans sağlayabilecek antenlerin tasarlanabilmesidir. Bunu sağlayabilmenin yolu ise doğru tekstil ürününün seçilebilmesidir. Çünkü giyilebilir antenler insan vücudu ile yakın

mesafededir. İnsan vücudunun yüksek dielektrik sabiti ve bu yakınlık sebebiyle antenin giriş empedansı ve verimliliği üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Yani beden, iletim hatlarının karakteristik empedansını etkileyerek uyuşmazlığa sebep olur. Bu ise antenin elektriksel uzunluğunda değişikliklere sebep olur ve kayıpları önemli ölçüde arttırır. Böylece potansiyel olarak ışımayı bozar.

MŞA'ler, en basit şekli ile toprak düzlemi üzerinde aynı taban alanına sahip bir dielektrik taban ve onun üzerinde bulunan ışıma alanından (yama) meydana gelir. MŞA'ler son yıllarda, uzay araçlarında, uçaklarda, doppler ve navigasyon radarlarında, uydu haberleşmesinde, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda, adaptif anten dizilerinde, mobil radyo ve telsiz haberleşmesinde, radyo altimetrelerinde ve biomedikal uygulamalarda (Özen, Dilek, Rabia, & Seyfettin S, 2017) geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

MŞA'lerin bu özellikleri kullanılarak tez konusu tekstil malzemelerinin performansı farklı malzemeler için denenmiştir. Antenlerin yama şekilleri, boyut ve rezonans frekansları gibi parametrelerinin öneminin yanında dielektrik değerlerinin de önemi oldukça büyüktür. Özellikle yüksek frekanslarda kullanılan malzemelerin dielektrik özellikleri mikroşerit antenlerin parametrelerini değiştirebilmektedir. Dolayısıyla antenlerin performanslarını etkileyebilmektedir. Bu etkilerin araştırılması ve en uygun malzemenin tespiti üzerine bu çalışma ile farklı tekstil malzemelerin fiziksel yapısının ve dielektrik özelliklerinin etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kot, keçe ve kadife gibi farklı tekstil ürünleri ile yaygın olarak kullanılan üç farklı rezonans frekansı bandı üzerinde tekstil tabanlı mikroşerit anten tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımları yapılan antenler, literatürde oldukça yaygın uygulamaları olan dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen yama şekilli antenlerdir. Bu yama şekilli yapıların dikdörtgen yapı temel alınarak, alanları ile tabanları eşitlenerek eşit yama alanlı (EYA) giyilebilir antenler için tasarımları yapılmış ve üretimleri gerçekleştirilmiştir. Uygun fiziksel yapının ve dielektrik malzemenin belirlenebilmesi hedefi ile ve literatürde ilk olarak gerçekleştirilmiş olan bu yöntem, kot, keçe ve kadife tekstil malzemeleri için geliştirilmiş ve önerilmiştir. Antenlerin performansları ise, en önemli elektriksel parametreler olan Yüzde Bant Genişlikleri (%BW), Geri Dönüş Kayıpları (S_{11}), Giriş Empedansları (Z) ve Gerilim Duran Dalga Oranları (VSWR) 2.4, 3 ve 5.8 GHz frekansları için incelenerek değerlendirilmiştir.

Ölçümler Vektör Network Analizör (VNA) cihazı ile yapılmış ve elde edilen sonuçlar hesaplanan teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Teorik ve ölçüm sonuçlarına bakıldığında, antenlerin giyilebilir uygulamalarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

1.1. Kaynak Araştırması

"Kablosuz Uygulamaları için Dairesel Polarizeli Frekansı Yeniden Yapılandırılabilir Giyilebilir Mikroşerit Yama Anten Tasarımı" isimli makalede; Dairesel Polarizeli frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin bir yapısı 1.9 GHz, 2.4 GHz ve 5.5 GHz frekanslar için önerildiği, tasarımda taban malzemesi olarak sıvı kristal polimer (LCP) kullanıldığı, anten yapısı "Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS)" programı kullanılarak modellendiği ve simüle edildiği ifade edilmiştir. Makale ile önerilen antenin söz konusu üç frekansta da yüksek kazanç sağladığı ve böylece WLAN uygulamaları için iyi sonuçların alındığı özellikle S_{11} geri dönüş kaybı yaklaşık -10 dB olarak elde edildiği belirtilmiştir (Jegan, Juliet, & Silvia, 2016).

"2.45 GHz'de İnsan Vücudu Çevresinde Elektro-Tekstil Giyilebilir Dairesel Yama Antenlerin Performansı" isimli yayında; 2.45 GHz'lik giyilebilir antenlerin insan vücuduna çok yakın olan empedans ve radyasyon özellikleri tartışılmıştır. Çalışmada Flectron anteni, Zelt anteni ve Shieldit anteni gibi üç dairesel mikroşerit anten kullanılmış ve her birinin gövde ve anten arasında 1 mm hava boşluğu ile insan gövdesinin yakınına yerleştirildiği varsayılmıştır. İnsan vücudu, 2,45 GHz'de insan gövdesine yakın olan, geçirgenlik ve iletkenliğe sahip, kayıplı bir sıvı ortamı olarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar, giyilebilir antenin insan vücudunun yakınına yerleştirildiğinde bile gerekli empedans ve radyasyon karakteristikleri sağlayabileceğini göstermiştir (Sankaralingam et al., 2013).

"Tele Tıp Uygulamaları için Giyilebilir Anten Simülasyonu ve Tasarımı" isimli bu çalışmada, uzaktan interaktif sesli görsel tıbbi hizmetler sağlamak ve daha iyi bir çözüm için giyilebilir bir anten tasarlanmıştır. Anten mikroşerit yagi yama şeklinde ve yapısı HFSS (High Frequency Structural Simulator) ile simüle edilmiştir. Bu simülasyon ile iyi bir geri dönüş kaybı, düşük ön-arka oranı sağlanmıştır. Antende dielektrik sabiti olarak FR4 epoksi ve piyasada kolaylıkla bulunur (Survase & Deshmukh, 2013).

“Giyilebilir Antenlerin Tasarımı” isimli makale ile tabanın tekstil yapılı olduğu giyilebilir ve kıvrım tasarımlı bir mikro şerit yama anten tasarımı sunulmuştur. Antenin beslemesi koaksiyal bir beslemedir ve ışıma paterni, dönüş kaybı, kazancı gibi performansı ile ilgili parametreleri ve analizi CAD FEKO yazılımı kullanılarak yapılmıştır. U-yarıklı, eliptik, dikdörtgen, parabol, E ve H şeklindeki dikdörtgen yama antenleri gibi farklı şekiller çeşitli kumaşlar kullanılarak analizler yapılmıştır. Sonuçta yıkanmış pamuğun geri dönüş kaybının düşük olduğu ve vücuda giyildiğinde daha az ışınım gösterdiği sonucuna varılmıştır (Singh, Singh, & Singh, 2015).

“WLAN Uygulamaları için Elektromanyetik Bant Aralığında (EBG) Giyilebilir Tekstil Anteni”, isimli çalışmada 2.4 GHz ve 5.2 GHz frekanslarda çift bantlı giyilebilir tekstil anteni sunulmuştur. Anten ve elektromanyetik bant aralıklı (EBG) yapısı, 1,2 mm kalınlığa ve 0,025 kaybı teğetine sahip 1,7 dielektrik sabitine sahip bir kot malzeme ile üretilmiştir. İletken bileşen 0.02 mm kalınlığa sahip bakır bir banttır. EBG dizisi, anten parçasını çevreleyen dairesel desen şeklinde düzenlenmiş 6 elemandan oluşmuştur. EBG'yi konvansiyonel antenin altına yerleştirmenin etkisi araştırılmış ve tek başına antenin performansıyla karşılaştırılmıştır. EBG yapısını entegre ettikten sonra, antenin kazancı sırasıyla 2.4 GHz ve 5.2 GHz'de % 63.7 ve % 121.4 arttırılmıştır. EBG yapısının varlığı ile en az 10 dB geri ışıma azaltılmıştır. Bu sayede EBG'nin konvansiyonel antenle entegrasyonu anten performansını geliştirmiştir. Genel olarak tasarım, mümkün olduğunca geriye doğru ışımayla vücuda yerleştirilecek bir giyilebilir anten üretmenin mümkün olduğunu göstermiştir (Isa et al., 2014).

“Jeotekstil Temelli Meta Malzeme Yüklenmiş Giyilebilir Mikroşerit Yama Anten” isimli yayında, polipropilen esaslı metametaryal yüklü bir jeo-tekstil malzemesi halka açık emniyet bandı uygulamaları için giyilebilir T şeklindeki mikroşerit yama anteni sunulmuştur. Tasarlanan anten, 50 MHz bant genişlikli, 6.40 dBi kazançlı ve 4.97 GHz rezonansındadır. Önerilen giyilebilir antenin elektriksel boyutu 0.369 $\lambda \times 0.369$ λ'dir. Anten imal edilip test edilmiş ve ölçümleri alınmıştır (Joshi, Pattnaik, & Devi, 2013).

“Düşük İletkenli Malzemeli Giyilebilir Mikroşerit Antenlerin Performans Analizi” isimli bu çalışmada, Tüm iletkenler için düşük iletkenlikli malzemeler kullanılması durumunda, antenin rezonant, eşleşme ve kazanım özelliklerinde bozulmanın araştırılması ile birlikte 2,4-GHz WLAN dikdörtgen mikro şerit tekstil anten tasarımını sunmuştur. Sonuçlar, rezonant frekansın düşük iletkenliklerde hemen hemen aynı kaldığını ve anten portundan gelen yansımanın bakır iletkenlerden 105 S/m

düzeyindeki iletkenliklerde daha küçük olduğunu göstermektedir (Yilmaz, Kasilingam, & Notaros, 2008).

"Giyilebilir Uygulamalar için Vucut Üzeri Yapışan Microstrip Anten", isimli yayında, RT Duroid 5880 dielektrik taban üzerinde tasarlanmış yapışkan bir bandaja benzeyen, yeni planar, baskılı bir anten sunulmuştur. Daha sonra esnek bir anten tasarlamak adına anten, giyilebilir uygulamalar için kumaşlar gibi esnek alt tabakalar üzerine dizayn edilmiştir. Önerilen anten performansı, dönüş kayıpları, VSWR, radyasyon paterni, kazanç, yönlülük açısından modifiye edilmiş koaksiyel besleme yapısıyla geliştirilmiş ve SAR (Spesific Absorption Rate - Özgül Emilim Oranı) değerleri, dielektrik kontrastlar arasındaki farktan dolayı her frekansta oluştuğu tespit edilmiştir. Farklı cilt, yağ, kas ve kemikler için penetran (içe nüfus eden) ışımada farklı dağılımlara neden olduğu belirlenmiştir (Akalya & Nandalal, 2017).

"Çift Bantlı Kot Kumaş Üzerine Dikdörtgen yama Anten" isimli makalede, 0.9 GHz ve 2.4 GHz'de çalışan çift bantlı bir dikdörtgen anten, Jeans bezine dayalı olarak tasarlanmış, simüle edilmiş ve üretilmiştir. İki dikdörtgen kesit arasındaki bağlantı birkaç kolla yapılmış ve ve çeşitli genişlikteki bu kolların sayısı ve karşılık gelen etkileri incelenmiştir. Tasarlanan anten IE3D ortamında simüle edilmiş ve elde edilen sonuçlar tatmin edici olduğu belirlenmiştir. Ancak, 0.9 GHz'de rezonansa sokan dış yama için gerçek rezonans frekansı 1.2 GHz'e kaymıştır ve dönüş kaybı - 7 dB'de belirlenmiştir. Optimum sonuçlar, kolların genişliğini ve sayısını değiştirerek denenmiştir (Kannan & Palanisamy, 2012).

"Giyilebilir Tekstil Tabanlı Yama Antenler" isimli yayın ile çeşitli tipteki en son teknoloji ürünü giyilebilir antenlerin seçimi yazarlar tarafından incelenmiştir. Sonuçta birçoğu çok yönlü radyasyon modeli içerdiği gösterilmiştir. İncelemeyi takiben, çeşitli tekstil yüzeylerinde üretilen dikdörtgen mikro şerit antenin performansını inceleyen bir vaka çalışması yapılmıştır. Buna ek olarak, antenin boyutunu önemli ölçüde azaltmak için, kısa devre pimleri metodu kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarakta anten boyutu yaklaşık % 68 azalmıştır (Lim, Wang, Wang, et al., 2014).

"Kompakt Boyut Giyilebilir Tekstil Anten" isimli yayında, dikdörtgen mikroşerit antenin farklı alt tabakalar / tekstiller ile performansı incelenmiştir. Buna ek olarak, antenin boyutunu önemli ölçüde azaltmak için, kısa devre pimleri yöntemi, anten tasarımının bir parçası olarak önerildi. Önerilen yöntemle anten boyutu 47,4 mm x 54,06 mm'den 20 mm x 41 mm'ye düşürülmüştür. Bu yazıda sadece dört tekstil malzemesi incelenmiş ve antenler sadece boş alanlarda modellenmiştir. Gelecekte, daha

fazla malzeme incelenecek ve bu antenler vücuda takıldığında durum, insan vücudunun anteni nasıl etkilediğini görmek için de dikkate alınmalıdır (Lim, Wang, Leach, et al., 2014).

"İşlemeli Mikroşerit Antenler İçin Homojen Olmayan Ağ" isimli bu yayın ile giyilebilir mikro şerit yama antenleri için düzgün olmayan, örgülü nakışlı bir yapı sunulmaktadır. Düzgün olmayan yivli anten (NMPA), anten performansını önemli derecede düşürmeden klasik bir yama anteninden çok daha az iletken kapsama alanına sahiptir. Giyilebilir uygulamalar için, daha az iletken kapsama alanı, şu anda pahalı olan özel iletken malzemelerin kullanımını azaltır. Nakışlı NMPA imalat maliyetini düşürdü ve esnekliği artırdı. Bu makalede, yüzey akım dağılımı ve NMPA'ların birbirine geçen boyutunun etkisi simüle edilmiş ve analiz edilmiştir. Keçe yüzeyinde tamamen tekstil işlemeli NMPA imal edilmiş ve ölçülmüştür. Sonuçlar, NMPA'nın verimi % 60 olduğunu göstermiştir (Zhang, Whittow, Seager, Chauraya, & Vardaxoglou, 2017).

"Tıbbi Uygulamalar için Giyilebilir Ultra Geniş Bantlı Tekstil Anteninin Tasarımı ve Performansı" isimli yayında, tıbbi uygulamalar için 13 GHz ultra geniş bant sağlayan, yıkanabilir (iletken iplik kullanıldığında), esnek ve çok küçük boyutlu bir anten tasarlanmıştır. Önerilen tasarımın geçerliliğini doğrulamak için bant genişliği, ışıma deseni, geri dönüş kaybı, kazanç ve verimlilik açısından sonuçlar sunulmuştur (Singh et al., 2015).

"Mikroşerit Teknolojisinde Uygulanan Giyilebilir Anten" isimli makalede, vücut merkezli iletişimin ele alındığı ve 1.8 GHz frekansında çalışan, mikro şerit tekniğiyle hazırlanan giyilebilir bir anten tasarımı sunulmuştur. Makalede, antenlerin sayısal analizinin sonuçları ve deneysel ölçüm sonucu elde edildiği ifade edilmiştir (Wnuk, Bugaj, Przesmycki, Nowosielski, & Piwowarczyk, 2012).

"Vücut Odaklı Kablosuz İletişim için Giyilebilir Bir Tekli Monopole Anten Tasarımı ve Simülasyonu" Bu yazıda monopol antenin hafif ve basit bir yapısı sunulmaktadır. İletken tekstil. Saf Bakır Polyster Tafetta Kumaş (PCPTF) geleneksel mikro şerit monopole antenle karşılaştırıldığında iletken bir tekstil olarak kullanılır. Prototip, 2.40 GHz Endüstriyel, Bilimsel ve Tıbbi (ISM) bandında çalışan Gövde-Merkezli Kablosuz İletişim (BCWC) için 2 mm kalınlığında bir keçe kumaş ile aralıklı olarak 40 mm'lik 60 mm'lik toplam boyut ile tasarlanmıştır. Sonuç, Giyilebilir tekstil anteninin, konvansiyonel monopole antenden yaklaşık 4 dB daha yüksek tepki katsayısı ürettiği görülmektedir. Ayrıca, giyilebilir tekstil monopol ile konvansiyonel monopole antenle kıyaslandığında bir kazanım karakteristiği elde edilmiştir (Rahim et al., 2012).

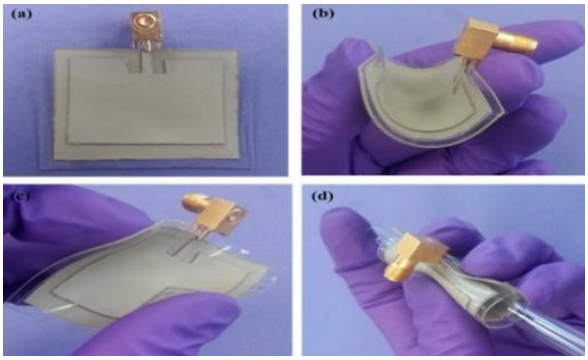
2. MİKROŞERİT ANTEN UYGULAMALARINDA DİELEKTRİK MALZEMESİ OLARAK TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN KULLANILMASI

2.1. GİRİŞ

Bir giyilebilir anten, vücuda giyilirken özel olarak tasarlanmış bir antendir. Giyilebilir kumaş/tekstil anteni, vücut merkezli iletişim için baskın araştırma konularından biridir. Şimdiye kadar pamuk, köpük, naylon, polyester, yalıtılmış tel, iletken boya, Sıvı Kristal Polimer (LCP) vb. tekstil üzerine entegre birçok giyilebilir anten önerilmiştir. Basit bir mikroşerit yama anteni, dielektrik tabanın bir yüzünde yayılan yama ve diğer yanda bir zemin düzleminden oluşur. Vücuda takılan uygulamalar için uygundur. Çünkü ışıma, düzlemsel yapıya dikey bir şekilde yayılır ve zemin düzlemi vücut dokularını etkin bir şekilde korur. Düşük hacimli, düşük profilli düzlemsel bir konfigürasyonda, düşük maliyet, hafiflik ve neredeyse bakım gerektirmeyen kurulumu ile ve çeşitli avantajları nedeniyle kıyafet içine entegrasyona en uygun, ancak dar bant genişliği sağlanabilen bir yapıdadır.

Giyilebilir anten için çok yönlü ışıma modeli istenir. Bu durum mobil cihazlar ve şık rahat giysiler için de uygundur. Çok yönlü modelde önemli olan, insan vücuduna zarar veren çok az veya hiç yan lob içermemesidir. Tekstil anten tasarımında ayrıca, tekstil malzemesinin geçirgenlik ve tanjant kaybı gibi elektromanyetik özelliklerle ilgili bilgi gerektirir. İletken tekstiller (Zelt, Flektron ve saf Bakır) ışıma elemanı olarak kullanılırken, iletken olmayan tekstiller (ipek, filo ve polar) alt tabaka olarak kullanılmaktadır. Bir giyilebilir anten uygulaması için rahat ve dayanıklı bir kumaş, kablosuz iletişim içinde iletişimi sağlamak için uygulanabileceği ve kolayca entegre edilebileceği araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (Şekil 2.1).

Şekil 2.1. İnsan vücudu üzerinde giyilebilir anten



Şekil 2.2. Uyumlu giyilebilir anten

Bir giyilebilir anten, vücuda giyilirken özel olarak tasarlanmış bir antendir (Şekil 2.2). Giyilebilir kumaş/tekstil anteni, vücut merkezli iletişim için günümüz oldukça yoğun araştırma konularından biridir.

Bilindiği gibi iletilmek istenen bir enerjinin maksimum biçimde iletilebilmesi için kullanılan iletim hattının empedans uyumluluğu önemlidir. Mikroşerit antenlerin beslemesi için de farklı besleme teknikleri kullanılarak, besleme hattı ile yama arasında uyumlu bir empedans eşleşmesi sağlanabilir. Üretimde en kolay besleme yöntemlerinden biri, mikroşerit hat besleme tekniğidir. Bu teknik, içe beslemeyi kontrol eden ve anteni eşleştirmenin kolay olduğu yama genişletme veya kenar besleme olarak ifade edilebilir. Empedans eşleştirmesinin performansını artırmak için normal olarak yamanın kenarında bir kesim yapılır. Bununla birlikte, daha kalın alt tabaka için, kenar beslemesi, antenin bant genişliğini etkileyecek radyasyona maruz kalır. Bu radyasyon, besleme hattından kaynaklanır ve antenin bant genişliğini artırır. Besleme hattının genişliği, 50 Ω empedans hesaba katılarak belirlenebilir. Bu yöntem simulasyon araçları kullanılarak veya etkin dielektrik sabitinin denklemi kullanılarak kullanılabilir.

Mikroşerit antenler hafif yapısı, küçük boyutta olmaları, istenilen geometrik şekillerde tasarlanabilmeleri ve istenilen ışıma desenini verebilmeleri gibi özelliklerinden dolayı günümüz kablosuz haberleşme cihazlarında sıklıkla tercih edilmektedir. Giyilebilir antenlerde ve cihazlarda aranan temel özellikler, küçük ve kompakt yapıda olması, estetik görünmesi, düşük güç tüketimi, yerleştirildiği yapıya elektromanyetik olarak zarar vermemesi ve maliyetinin nispeten düşük olmasıdır. Bu özellikleri karşılamak adına anten tasarımları esnek olan, giysilerin bir parçası gibi imalat aşamasında kompakt olarak eklenebilen ve gizlenebilen tasarımların yine giyilebilir, kumaş malzemeler üzerine tasarlanması tercih edilmektedir. Taban

malzemesi olarak kullanılacak kumaşların seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli bir parametre de kumaşın dielektrik sabiti değeridir.

2.2. Dokuma Kumaşlar ve Kot, Kadife, Keçe Gibi Kumaşların Yapısal Özellikleri

Dokuma kumaşlar çok değişik özelliklerde ve çok çeşitli kullanım alanları vardır. Bu kadar farklı özelliğe ve kullanım alanına hitap eden dokuma kumaşların yapıları da birbirinden farklıdır. Kumaş yapısı, hem kumaşın özelliklerini etkilemesi açısından hem de kumaşın yüzey görünümünü belirlemesi açısından son derece önemlidir (Özden, 1989). Buna göre kumaş tasarımı, kompleks bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemi çözebilmek için kumaş yapısını ve bu yapıyı oluşturan elemanlar arasındaki ilişkileri çok iyi bilmek gerekir.

Şekil 2.3. Dokuma Kumaşlar

Bir dokuma kumaşın temel yapısal özellikleri, kullanılan hammadde cinsi, iplik özellikleri, örgüsü, kalınlığı, gramajı, sıklığı ve kumaş boyutlarıdır. Bu temel özellikler kumaşın kullanım (performans) özelliklerini belirler. Kumaştaki ısı geçirgenliği, nem tutma, sağlamlık ve yumuşaklık gibi performans özellikleri kullanılan hammadde türü tarafından etkilenir. İpliğin lif özelliklerinden etkilenen yapısal ve mekanik özellikleri de kumaşın fiziksel ve performans özelliklerinden çoğunu ve kullanım yerini belirler. Kumaş örgüsü dokunan kumaşın yüzey görünümünü, dokusunu ve içyapısını, dolayısıyla mekanik özelliklerini belirler. Kumaşın fiziksel tasarımında etkili olabilecek parametreler; hammadde, iplik, özellikler, sıklık, örgü ve kumaş örtme faktörü arasındaki ilişkiler, kumaşın yüzey özelliği, kumaşın yüzey özelliği, dokuma kumaşların estetik tasarımı, tekrar, uygunluk, zıtlık, koram, egemenlik, denge, birlik, yön, biçim, doku, ve renktir (Meriç, 1988; Yakartepe & Yakartepe, 1995).

2.2.1. Dielektrik taban olarak kullanılabilen kot

Yüzyıllar önce kullanılmaya başlanan fakat hala güncelliğini kaybetmeyen denimin en belirgin özelliği; çözgü ipliğinin indigo boyar madde ile boyanmış, atkı ipliklerinin ise boyanmamış yani beyaz olmasıdır Denim kumaş, blue jeans olarak da anılmaktadır. Fakat blue jeans, denim kumaşlardan üretilmiş, özellikle pantolon, olan tüm giysilere verilen addır. Denim ise, spor giyim ve blue jeans yapımında kullanılan kaba, dayanıklı ve kullanışlı bir kumaş olup genellikle tek kat % 100 pamuk ipliğinden üretilenleri tercih edilmektedir. İndigo boyar maddesi ile boyanmış iplikler değişik dokuma kumaş örgüleri ile dokunsa da klasik denim kumaşları örgüsü gabardin olarak adlandırılan D 2/1 Z (sağ yollu) veya D 3/1 Z (sağ yollu) dimi örgüsü ile üretilmektedir. Sol (S) yollu dimi örgülü kumaşlar, sağ yollu (Z) dimi kumaşlara göre daha yumuşak olur. Genellikle denim kumaşlarda kullanılan iplikler Z bükümlüdür. Tercih edilen örgü sol (S) yollu dimi örgü olur ise iplik üzerindeki büküm ile örgü ters yönlü olacağından iplikteki büküm kaynaklı gerilim azalır ve büküm açılır. Bu durum da dokunan kumaşın yumuşak olmasına yol açar. Sağ (Z) yollu dimi örgüsünün tercih edilmesinin nedeni ise daha az esneme yapmasıdır.

Şekil 2.4. Dokuma Kot Kumaş

Kumaşın yüzeyinde hem örgü gereği hem de sıklık açısından çözgü ipliklerinin yoğun olmasından dolayı, kumaş görünümüne çözgü ipliğinin rengi hâkimdir. Denim kumaşlar indigo boyar maddesi nedeniyle diğer klasik dokuma kumaş üretimlerinden farklı bir proses izlenerek üretilirler. Bu farklılık genelde dokuma hazırlık dairesinde kendini gösterir. İplikler halat halinde veya çözgü halinde indigo

boyar maddesi ile boyanır, haşıllanır ve dokumaya gönderilir. “Yaşayan renk” olarak anılan indigo boyar maddesi günümüzde sentetik olarak üretilmekte ve bu boyar madde ile boyanmış mamulün zamanla ve yıkamayla renk değiştirip beyazlamasını sağlamaktadır.

Denim dokumacılığında büyük oranda rotor ipliği az oranda da ring karde ipliği tercih edilir. Bunların dışında fantezi ve özel ipliklerin kullanıldığı denim kumaşları da bulunmaktadır.

Piyasada farklı adlar verilerek anılan birçok denim çeşidi mevcuttur. Bunların bazıları şunlardır;

1. Natürel Denim: Çözgü ve atkı iplikleri boyanmamış olan kumaştır.
2. Antik Denim: 19.y.y. sonlarında atkı ve çözgü iplikleri ring ipliği olan mekikli tezgâhlarda dokunan denim kumaştır. Günümüzde aynı etkiye sahip kumaş oldukça zor bulunmaktadır.
3. Fish Net Denim : Çözgüsü ve atkısı şantuklu Ring iplikten dokunan kumaştır.
4. Stretch / Lycralı Denim : Pamukla, elastik karakterli lycra ipliklerinin bükümünden oluşan atkı iplikleri ve %100 pamuk ipliğinden üretilen çözgü ipliklerinden dokunan kumaştır.

Denim kumaşların tanımlanmasında ağırlık birimi olarak ounce/yrd^2 kullanılmaktadır. Metrik sisteme göre karşılığı 1 oz/yrd^2 = 33,91 g/m^2’dir. Denim kumaşlarının birim ağırlıkları kullanım yerlerine göre 3,5 - 16,5 oz/yd^2 (118 – 560 g/m^2) arasındadır. Denim kumaşlarda kullanılan ağırlık birimi oz, kumaşların gruplanmasında ve kullanım alanının belirlenmesinde de yardımcı olur.

Denim kumaşlar dünyada “jeans”, “blue-jeans”, “jeans wear” ve “sports wear” gibi isimlerle ifade edilmektedir. Türkiye’de ise farklı bir şekilde, denim kumaşa “kot” kumaş ve denim kumaştan dikilmiş pantolona da “kot pantolon” denilmektedir.

Denim ile ilgili tanımlardaki bu kavram karışıklığını giderebilmek için hepsinin ayrı ayrı tanımları ve açıklamaları yapılmıştır. Jeans terimi; Genoa limanı gemicilerinin ve diğer sanayi işçilerinin gündelik olarak giydiği yıpranmış mavi pantolonlardan türemiştir. Jeans yüzeyde çözgü veya atkı ipliklerinin egemen olduğu D 2/1 Z veya D 3/1 Z dimi örgülü, sağlam iplikler ile dokunan ve değişik renklerde boyanan, ağır pamuklu kumaşlara denir. Blue-jeans ise çözgü ipliklerinin indigo boyar maddesi ile mavi renge boyandığı, atkı ipliklerinin boyasız, D 2/1 Z veya D 3/1 Z dimi örgü ile dokunmuş, sağlam, ağır pamuklu kumaşlara ve bu kumaşlardan yapılmış pantolonlara denir. Jeans-wear ise; jeans tipi kumaşlardan yapılmış pantolon, gömlek, etek, yelek ve

ceket gibi giysilere denilmektedir (http://www.tekstildershanesi.com.tr/bilgi-deposu/denim-kumasin-tanimi.html, 2015).

2.2.2. Dielektrik taban olarak kullanılabilen Kadife

Kadife kumaşlar hav yüksekliğinin farklılığına göre isimlendirilirler. Kısa havlı (2 mm) olanlarına "Kadife" daha uzun havlılarına (2 mm den fazla) "Pelüş" adı verilir. Kadifeler dokuma tekniğine göre çözgü kadifeler ve atkı kadifeler olmak üzere 2 gruba ayrılırlar. Çözgü kadifelerdeki ilmekler (hav tabakası) 2 çözgü 1 atkı sistemi ile çözgü ipliği tarafından oluşturulurken; atkı kadifelerde ilmeler (hav tabakası) 1 çözgü ve 2 atkı sistemi ile atkı ipliği tarafından oluşturulurlar (İmer, 1989).

Kadife Dokunurken ham madde liflerinin dokuma yüzeyini belirli uzunlukta kaplayacak şekilde bırakılması ile yumuşak kumaş bir kumaştır. Kumaş naylon, yün, pamuk rayon veya ipekle dokunur.

Şekil 2.5. Dielektrik taban olarak kullanılabilen Kadife

Kadife: Temel dokumadaki atkı veya çözgü ipliklerine, gevşek durumda ilave bir atkı ya da çözgü eklenip daha sonra kesilerek havlı (tüylü) bir yüzey kazandırılan dokumalardır

Havlı Dokumalar: Kadife, havlı ve halı gibi tüylü kumaşlardaki havlar özel çözgü iplikleri ile oluşturulur. Gerilmiş bir temel çözgünün üzerine gevşek duran bir hav ya da ilmek çözgüsü gelir. Dokuma işlemi sırasında hav çözgüsü temel çözgünün üzerine kayar ve böylece ilave çözgü ipliklerinin ilmekleri kumaş yüzeyinde kalır.

Düz Kadife: Temel dokuma ipliklerine, düzenli bir şekilde bağlanan ilave ipliklerin, dokuma işleminden sonra kesilerek kumaş yüzüne düzgün bir havlı (tüylü) görünümün sağlandığı tekstil yüzeylerdir.

Fitilli Kadife: Hav atkılarının sürekli olarak aynı çözgü ipliklerine grup halinde bağlanması ve daha sonra bunların kesilmesi ile elde edilen kadifelerdir. Kumaş yüzünde, çizgiler halinde havlı bir görünüm vardır.

(Meriç, 1988; Sevilay, 2005)

2.2.3. Dielektrik taban olarak kullanılabilen keçe

Keçe bir çeşit yündür. Yün ısı basınç ve nem altında keçeleşir. Aslında koyunların yünleri de kesilmeseydi keçeleşirdi. Sıcak sabunlu su yünü kaygan hale getirir ve lifin üzerinde ince ipliklerin açılmasına neden olur. Bu ince iplikler karıştırılarak lifin tekrar eski haline gelmesi engellenir. Bu haldeki lifler soğutulup, kurutulup preslenince iplikler birbirlerine geçerek keçe denilen dayanıklı ve uzun ömürlü ürünü oluştururlar.

Doğal olarak farklı tür ve ebatlarda keçe üretebilmek daha karmaşıktır. Farklı ısı ve basınçlar ve liflerle beraber farklı malzemeler, kimyasallar kullanılarak farklı tip ve kullanım amaçları olan keçeler oluşturulur. Çok ince, Çok kalın kadife gibi yumuşak yada taş gibi sert keçeler bu şekilde üretilirler. Yün keçelerin sayılmayacak kadar fazla çeşidi bulunur (https://www.tekstilbilgi.net/yun-kece-hazirlama.html, 2017).

Şekil 2.6. Dielektrik taban olarak kullanılabilen Kadife

Temel olarak bütün iğneli keçe ürünleri ısıya dayanıklıdır. Hava geçirgenliği, enine boyuna çekme, kopma mukavemeti, sıcaklık dayanımı, kalınlık, gramaj ve keçe

imalatında kullanılan elyafın kimyasal içeriği bir keçenin temel özelliklerini oluşturur. Keçe kimyasal içeriğinin uygun kalitede olması zorunludur.

Keçe üretiminde çeşitli lif tipleri kullanılmaktadır. Örneğin Nomex gibi yüksek sıcaklık ve kimyasallara dayanıklı lifler veya hidrolize dayanıklı polyester lifler kullanılmaktadır. Özel aplikasyonlar için farklı keçe tipleri de üretilebilmektedir. Nomex (m-AR) ana hammaddesi 1,3 parafenil daimin (PPD) ve izoftalik asit olan elementlerdir. Nomex Keçe, yükseltilmiş sıcaklıklarda (140 ºC > 200 ºC sıcaklık ve aşırı nem koşullarında %10 oranında) diğer keçe tiplerine oranla daha üstün performans gösterir. Bu üstün performansından dolayı tüm ithal ve yerli silindir ütü makinelerinde güvenle kullanılır. Polyester keçe ana hammaddesi glikol ve tereftalat'tır. Verici-taşıyıcı ve çıkış bandı olarak kullanılır (http://www.termotekkece.com/nomexpolyesteryun_1_27.htm., 2017).

3. MİKROŞERİT ANTENLER

3.1. Mikroşerit Antenlerin Genel Yapısı

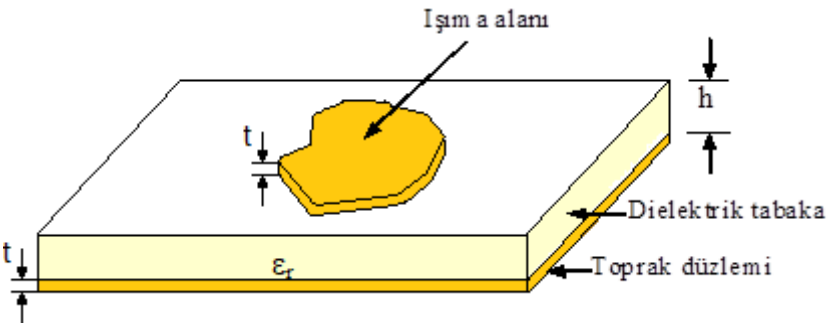
Radyo frekanslı malzemelerin kompleks dielektrik özelliklerinin ölçümü, özellikle malzeme bilimi, mikrodalga devre tasarımı, emici geliştirme, biyolojik araştırma gibi araştırma alanlarında gittikçe önem kazanmaktadır. Dielektrik ölçüm önemlidir, çünkü elektriksel veya manyetik birçok araştırma ve geliştirme alanlarında kullanışlı olduklarını kanıtlayan materyallerin özellikleri, test edilen materyalin özelliklerine göre seçilmelidir. Literatürdeki en yaygın dielektrik ölçüm yöntemleri; İletim/yansıma hattı yöntemi, açık uçlu koaksiyel prob yöntemi, serbest alan yöntemi ve rezonant yöntemidir.

İlk defa 1953'de Deschamps, mikroşerit ışımayı tespit etmiştir (Deschamps & Sichak, 1953) Uzun yıllar sonra mikroşerit antenler üzerinde çalışmalar artmış, füze ve uzay mekikleri üzerine mikroşerit antenler yapılmıştır (Gutton & Baissinot, 1955).

Uyumlu yüzeylerde üretilen antenler muazzam darbe ve titreşim ortamlarına dayanıklıdırlar. Mobil iletişim baz istasyonları üreticileri, çoğunlukla bu antenleri doğrudan imal ederler ve alt tabakaların ve aşındırmanın maliyetini ortadan kaldırmak için dielektrik direklere veya köpük üzerine çeşitli şekillerde monte ederler. Bu aynı zamanda, bant genişliğini arttırmak için kullanılan kalın bir dielektrik tabanı uyaran yüzey dalgalarından gelen radyasyon problemini ortadan kaldırır.

Düşük verimlilik, düşük güç, zayıf kutuplanma saflığı, zayıf tarama performansı, parazit besleme ışıması ve dar bantlı olması mikroşerit antenlerin başlıca dezavantajlarındandır. Bu dezavantajları en aza indirmek adına çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Dar bant genişliği sorunu yama üzerine veya toprak düzlemi üzerine yapılan farklı slot şekilleri ve parazitik elemanlar sayesinde büyük ölçüde çözülmüştür. Farklı taban malzemeleri kullanarak yüksek kazanç elde edilmeye çalışılmış, matris formunda dizi antenler, elektromanyetik etkileşimli kümelenmiş antenler gibi tasarımı ve üretimi oldukça karmaşık olan antenler tasarlanmıştır (Mak, Wong, & Luk, 2005).

Mikroşerit antenler, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi dielektrik üzerinde yerleştirilen iletken ışıma elemanının ve dielektrik altındaki metal katmandan meydana gelir. Genellikle ışıma, düşük kayıplı bir metal (bakır) malzemedir. Yama boyutları (Işıma alanı), taban kalınlığı (h), yama ve toprak düzlemi kalınlığı (t) ve dielektrik sabiti (ε_r) anten performansını etkileyen temel özelliklerdir.



Şekil 3.1. Mikroşerit anten geometrisi

Işımanın gerçekleştiği yama "0 < t < 0,1 mm" aralığında değerler alırken, toprak düzlemi bakır, alüminyum gibi malzemelerden, yalıtkan tabaka ise seramik, teflon, hava, epoksi tekstil gibi farklı dielektrik sabiti ve tanjant kayıplarına sahip malzemelerden seçilebilir. Yalıtkan malzeme kalınlığı (h) "$0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$" aralığında, dielektrik sabit $2.2 \leq \varepsilon_r \leq 12$ aralığında seçilebilmektedir (Balanis, 2005). Dielektriğin malzemesi anten performansı, band genişliği, geri dönüş kaybı ve kazanç gibi birçok parametre için önemlidir. Yalıtkan malzemenin dielektrik değerinin küçük olması ve yüksekliğinin fazla olması, antende ideal ışımanın sağlanmasıyla beraber band genişliğini de arttırmaktadır. Malzeme kalınlığının artması ile yüzey dalgalarının meydana gelmesi anten veriminde azalmaya ve ışıma deseninde bozulmaya sebep olabilir (D. M. Pozar & Schaubert, 1995).

Besleme noktalarında yapılan değişikler polarizasyon şekillerini çeşitlendirmede kullanılabilmektedir. Günümüzde biyomedikal sistemler, WLAN, GSM ve DCS içinde mikroşerit anten dizi yapıları da geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Mikroşerit antenlerin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Düşük üretim maliyetine sahip olması ve seri üretiminin kolay olması,
- Hafifliği ve küçük hacimli olması,
- Besleme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanma yapabilmeleri,
- Çok ince yapılabilmelerinden dolayı uzay araçlarının aerodinamik yapısını bozmamaları,

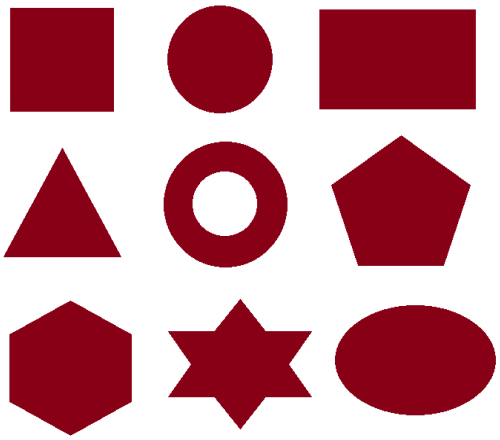
- Düzlemsel biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması,
- Güdümlü mermiler, roketler ve uydular üzerinde önemli değişikliklere sebep olmaksızın yerleştirilebilmeleri
- Osilatörler, yükselteçler, anahtarlar, modülatörler, karıştırıcılar vb. katı hal devrelerin antenin tabanına ilave edilerek bileşik sistemlerin geliştirilebilmesi,
- Besleyici hatları ve uyumlandırma devrelerinin antenler ile birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimde olmasıdır.

Mikroşerit antenlerin avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Düşük güç kapasitesi,
- Çoğunluğunun yarı düzlem içinde ışıması,
- Çeşitli kayıplar sonucu düşük kazanç,
- Bant genişliğinin dar olması,
- Besleme ve ışıma elemanı arasında zayıf yalıtım,
- Beslemelerden ve bağlantılardan istenmeyen ışıma,
- Yüzey dalgalarının uyarımının mümkün olması olarak sıralanmaktadırlar.

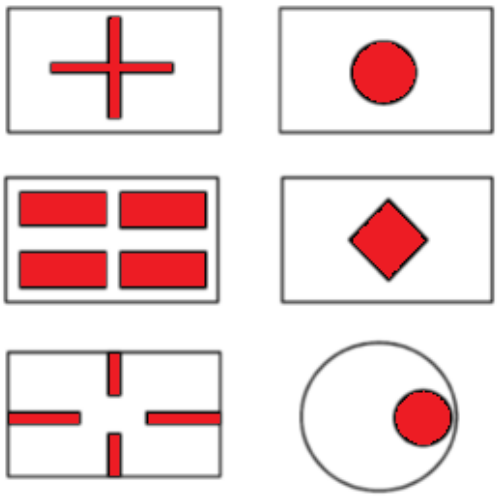
Mikroşerit antenler yüksek kalite faktörüne (Q) sahiptirler. Kalite faktörü kayıpları temsil eder ve yüksek Q değeri, bant genişliğinin darlığına ve düşük verime karşılık gelmektedir. Kalite faktörü yalıtkan tabakanın kalınlığının artırılması ile düşürülür. Yalnız kalınlığın artması aynı zamanda istenmeyen güç kayıplarına neden olacağından anten karakteristikliklerinin bozulmasına sebep olur (Garg, 2001).

Mikroşerit yama antenler belirlenen yama şekillerinin yalıtkan düzlem üzerine yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Işımayı sağlayan yama geometrileri düzlemsel veya düzlemsel olmayan geometriler olabilmektedir. Sıklıkla kullanılan geometriler arasında dikdörtgen, üçgen ve daire bulunmaktadır. Ayrıca, H ve E şekilli farklı geometrik yapılarda bulunmaktadır. Yama boyutları ile çalıştıkları frekans ters orantılıdır. Şekil 3.2'de kaynaklarda sıklıkla kullanılan bazı mikroşerit yama anten geometrileri verilmiştir.



Şekil 3.2. Mikroşerit anten yama geometrileri

Yama geometrilerinin ve analizlerinin kolay olmasından dolayı çoğunlukla dikdörtgen ve dairesel mikroşerit antenler üzerinde yoğunlaşılmıştır, ampirik formüllerinden yola çıkışarak rezonans frekansı, band genişliği ve kazançlar için anten yapıları tasarlanmaktadır. Bununla birlikle, geometrik yapılardaki yarık ve çentik gibi değişikliklerle tasarlanan anten yapılarının bant genişliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Şekil 3.3'de yayınlanmış bazı yarık modelleri gösterilmektedir. Antenlerde istenilen ışıma deseni ve kazançlar geliştirilebilmektedir.



Şekil 3.3. Mikroşerit antenler için bazı yarık modelleri

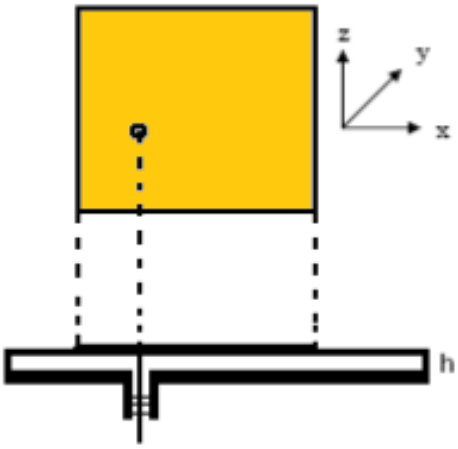
Mikroşerit antenlerde ışıma deseni sıklıkla iletim hattı, boşluk ve moment metodu olarak bilinen integral denklemlerini içeren tam dalga metodları kullanılarak elde edilir (K. Carver & Mink, 1981; J. R. James, 1989). İletim hattı modeli bu yöntemler içerisinde en çok tercih edilenidir. Bu metodun dezavantajı ise diğer yöntemlere göre daha az doğrulukla analiz gerçekleştirmesidir. Boşluk yönteminde ise iletim hattı modeline göre daha fazla doğruluk sağlamasına karşın karmaşık bir analiz sunmaktadır (Malkomes, 1982; Penard & Daniel, 1982).

Saçaklanma oranı yamanın boyutlarına ve yalıtkan tabakanın kalınlığına bağlıdır. L/h>>1 veya W/h>>1 durumunda saçaklanma etkisi azalırken rezonans frekansında değişmelere sebep olabilmektedir. Mikroşerit iletim hattında oluşan elektrik ve manyetik alan dağılımları gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi elektrik alanın büyük bir çoğunluğu yalıtkan malzeme içinde oluşmaktadır. $W/h >> 1$ ve $\varepsilon_r >> 1$ şartı sağlandığında elektrik alanların büyük çoğunluğu yalıtkan malzemede oluşmaktadır. Bununla birlikte, yalıtkan kaybı artınca ışıma verimliliği düşeceğinden anten kazancı da düşmektedir.

Mikroşerit anten yapılarında kullanılan besleme tekniklerindeki amaç uygun değer empedans uyumunu sağlamaktır. Empedans uyumunun sağlanması ile aktarılan gücün büyük bir bölümü besleme hattından metalik yamaya geçer. Ayrıca mikroşerit anten yapılarında kullanılan besleme tekniği oldukça önemlidir ve üzerinde durulması gereken bir husustur.

Metalik yamaya dielektrik tabakanın içinden geçirilen bir sondanın lehimlenmesiyle oluşturulan teknik prob ile besleme tekniğidir. Sonda herhangi bir iletken ya da koaksiyel kablo olabilmektedir. Fakat bu sonda yama üzerinde en iyi empedans uyumunun sağlandığı bir koordinata yerleştirilmelidir.

Prob besleme tekniğinde giriş empedans değeri Şekil 3.4'de gösterildiği gibi probun konumu değiştirilerek kolayca ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.4. Prob beslemeli mikroşerit antenin yandan ve üsten görünüşü

Bunun yanı sıra tasarımda sınırlamalar da vardır. Bunlar:

- Dizi mikroşerit anten tasarımında birden fazla lehim gerektirdiği için tercih edilmez.
- Prob beslemede lehimin ve iletkenin yüzeyleri delerek geçmesi, yüzey akımlarında kaçak oluşturarak ışıma verimini düşürür.
- Kalın yalıtkan malzemeye sahip mikroşerit antenler için, prob kablosunun uzun olması sebebiyle giriş empedansı indüktif olmasına ve yüzey dalga artışlarına neden olur.

Diğer bir besleme tekniği olan mikroşerit hat besleme tekniğinde güç yamaya oranla daha küçük ve ince bir iletken yol yardımıyla aktarılır. Mikroşerit hat besleme tekniğinin avantajı, besleme şeridinin yamayla aynı malzemeden olması ve düzlemsel bir yapı oluşturmasıdır. Böylece yüzey dalgalanmalarında azalma gözlenmektedir. Ayıca anten yamasına ilavesi de daha kolay olmaktadır.

Mikroşerit hat besleme tekniğinin tasarımı ve üretimi kolaydır ancak bazı sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. Bunları ise;

- Besleme ile yama arasında mesafe bırakıldığı takdirde, şerit hat ile yama arasında hava boşluğundan kaynaklanan harici radyasyondan dolayı oluşan kayıpların yüksek frekanslarda etkisi daha fazladır.

- Besleme hat metalik malzemeden yapıldığı için empedans değerindeki değişimler sebebiyle tekrardan hat uyumlaması yapılması gerekmektedir.

3.2. Mikroşerit Antenler İçin Analitik ve Sayısal Modeller

Anten analizinin amacı, hem kutuplanma, kazanç ve ışıma diyagramı gibi ışıma karakteristiklerini, hem de verim, ortak kuplaj, empedans bandgenişliği ve giriş empedansı gibi yakın alan karakteristiklerini tahmin etmektir. MŞA'in analizi ise dielektrik homojensizliği, homojen olmayan sınır şartları, dar frekans bandı karakteristikleri ile çok farklı besleme, yama şekli ve dielektrik taban konfigürasyonlarının varlığı sebebiyle oldukça karmaşıktır. Bu sebeple, seçilen yöntemin karmaşıklığı ile çözümün doğruluğu arasında bir denge sağlanmalıdır.

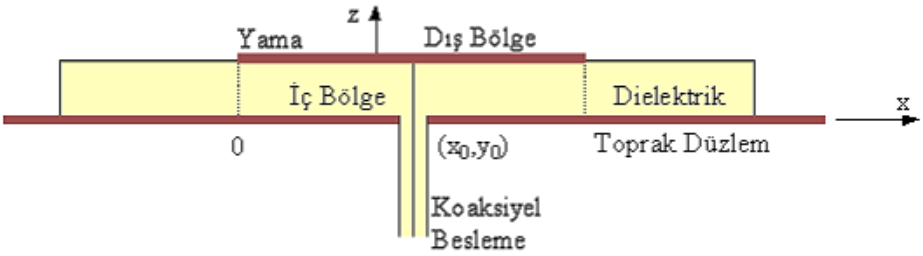
Eğer seçilen model aşağıdaki karakteristiklere sahipse, iyi bir model olduğu söylenebilir (D. M. Pozar, 1992).

- Tartışma altındaki antenin bütün empedans ve ışıma karakteristikleri hesaplamak için kullanılabilmelidir.
- İstenilen amaca yetecek ölçüde doğru sonuç vermelidir.
- Empedans ve ışıma özellikleri için gerekli doğruluk sağlanırken mümkün olduğu kadar basit olmalıdır.
- Bilinen fiziksel nicelikler cinsinden yorumlamaya açık olmalıdır.

Birçok model bu amaçla teklif edilmiş ve MŞA karakteristiklerini belirlemede kullanılmıştır. Analitik modeller, iletim hattı modeli, genelleştirilmiş iletim hattı modeli, rezonatör modeli ve çok kapılı ağ modellerini içerir. Bu modeller, basitliği doğruluktan taviz vermek pahasına sağlarlar. Tam dalga yöntemleri yüksek doğruluk ve kesinlikleri nedeniyle artan bir şekilde ilgi çekmektedirler. Bunlar genelde, Sommerfeld tipi integral denklemlerine ve Maxwell denklemlerinin zaman domeninde çözümüne dayanırlar. Spektral domende integral eşitliği analizi, uzay domeninde integral eşitliği analizi ve sonlu-fark zaman-domeni (finite-difference time-domain: FDTD) yaklaşımı başlıca sayısal yöntemlerdir. İntegral eşitliğine dayanan yöntemler önemli bir varsayım yapar: Dielektrik taban ve toprak düzlemi sonsuz uzunluktadır. Buna göre yapılan çözümler

taban ve toprak düzlemi birkaç dalga boyu uzunlukta olduğunda daha doğrudur. FDTD tekniği sonlu boyutlu antenlerde daha iyi sonuç verir. Sonlu boyutun empedans davranışına etkisi daha azdır. Çünkü MŞA aslında rezonans yapıları olup empedans karakteristikleri temelde yama ile belirlenir. Diğer taraftan ışıma davranışı, aslında yüzey dalgalarından ve tabanın kenarından bu dalgaların kırınımından dolayı tabanın sonlu boyutundan önemli derecede etkilenir. Bundan dolayı, kırınım teorisi, bazı durumlarda ışıma diyagramının tahminini daha iyi yapabilmek amacıyla diğer metotlarla beraber kullanılır.

Geliştirilecek MŞA için öncelikle analitik modeller kullanılır. Bu modeller basit varsayımlar yaparak basit ve analitik çözümler önerirler ve fiziksel olaylarının anlaşılması ve bilgisayar destekli anten tasarım yazılımları için elverişlidirler. Analitik yöntem veya modellerde antenle ilgili alanlar Şekil 3.5'de gösterildiği gibi iç bölge ve dış bölge olmak üzere ikiye ayrılırlar (K. R. Carver & Coffey, 1979). İç bölge yama iletkeni ile yamanın altındaki toprak düzlemi ve toprak düzlemi ile yamanın çevresinin iz düşümü tarafından belirlenen duvarlar tarafından oluşur.



Şekil 3.5. Antenin iç ve dış bölge alanları

Bu bölgedeki alanlar, iletim hattı parçası veya rezonatör olarak modellenebilir. Bu sebepten dolayı bu modeller iletim hattı modeli ve rezonatör modeli olarak bilinir. Dış bölge ise uzayın geri kalan kısmıdır. Bu da toprak düzleminin geri kalanı, dielektrik tabanın geri kalanı ve yama iletken yüzeyin üst kısmından oluşur. Dış bölgedeki alanlar ışıma alanı, yüzey dalgaları ve kenar alanından oluşur. Bunlar, bazı modellerde yük admittansı şeklinde karakterize edilirler. Daha basit modellerde, bu alanların etkisi artan dielektrik kayıp tanjantı ve antenin eşdeğer boyutları şeklinde tanımlanır.

3.2.1. İletim hattı modeli

Dikdörtgen ve kare yamalar mikroşerit iletim hatlarından türetilen bir fiziksel şekle sahiptirler. Bu nedenle, bu antenler iletim hatlarının bir parçası şeklinde modellenebilirler. Benzer olarak dairesel yamalar, dairesel halkalar ve bunların parçaları, radyal iletim hatlarının bir parçası olarak modellenebilir (A Bhattacharyya & Garg, 1985) ve (ARUNK Bhattacharyya & Garg, 1986). Bu sebeple, iletim hattı modeli bir MŞA için cazip modellerden biridir.

3.2.2. Rezonatör modeli

Mikroşerit yama antenler dar bantlı rezonans antenlerdir ve kayıplı rezonatörler olarak nitelenirler. Bu sebeple, rezonatör model yama antenleri analiz etmek için doğal bir tercih haline gelir. Rezonatör modeli Lo ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu modelde yamanın iç bölgesi, alttan ve üstten elektrik duvarlarla çevresi boyunca manyetik duvarla sınırlandırılmış bir rezonatör olarak modellenir (Özen, Dilek, & Seyfettin S, 2017). Bu yaklaşımın temelleri ince tabanlar ($h << \lambda_0$) için aşağıda verilen gözlemlere dayanır (Lo & Richards, 1981) (Lo, Solomon, & Richards, 1979).

- İç bölgedeki alanlar z ile değişmez (yani $\partial/\partial z \equiv 0$) çünkü taban çok incedir ($h << \lambda_0$).

- Elektrik alan sadece z yönünde olup, manyetik alan yama iletkeni ve toprak düzlemi tarafından sınırlanan bölgede sadece enine bileşenlere sahiptir. Bu gözlem altta ve üstte elektrik duvarlar için sağlanır.

- Yamadaki elektrik akımı, yama iletkeninin kenarına dik bileşene sahip değildir. Bu durum H manyetik alanın kenar boyunca olan teğetsel bileşeninin ihmal edilebileceğini gösterir. Böylece çevre boyunca bir manyetik duvar yerleştirilebilir. Matematiksel olarak $\partial E_z/\partial n = 0$ dır.

Rezonatör modeli, (dikdörtgen, dairesel ve üçgen dahil) hemen hemen bütün düzenli yama şekillerine uygundur. Bu model aynı zamanda, halka şeklindeki dairesel yamalara

başarılı bir şekilde uygulanmıştır (A Bhattacharyya & Garg, 1985; Kumar & Gupta, 1984).

Rezonatör modeli üzerinde taban etkilerini kapsayarak böylelikle onun uygulanabilirlik sahasını milimetre dalga frekanslarına kadar genişletecek düzenlemeler yapılmaya çalışılmış ve modelin keyfi yama şekillerine uygulanması da araştırılmıştır (A Bhattacharyya & Garg, 1985; ARUNK Bhattacharyya & Garg, 1986)

Rezonatör modeli baskılı dipoller için de uygundur. Fakat baskılı yarıkları modellemeye uygun değildir.

3.2.3. Genelleştirilmiş rezonatör modeli

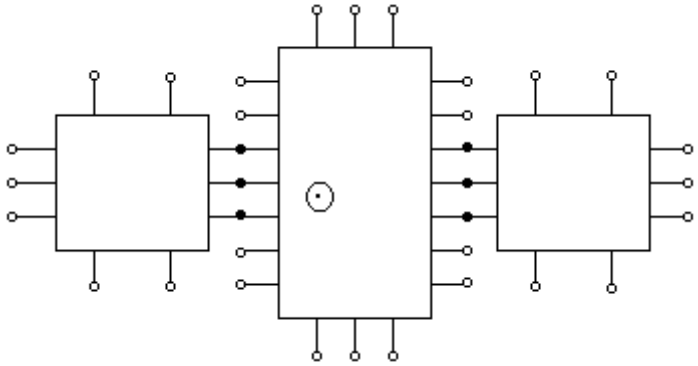
Genelleştirilmiş rezonatör modelinde yamadaki elektrik alan, verilen yama şekli Green fonksiyonları belirlenebilen düzenli şekillere parçalanarak belirlenebilir. Dikdörtgenler, daireler, üçgenler, daire parçaları, dairesel halkalar ve dairesel halka parçaları için Green fonksiyonları mevcuttur (Gupta, Garg, & Chadha, 1981).

3.2.4. Çok kapılı ağ modeli

Çok kapılı ağ modeli (Multiport Network Model : MNM) rezonatör modelinin genişletilmiş hali şeklinde düşünülebilir (J. James & Hall, 1989).

Bu modelde çevredeki empedans sınır şartı kesin olarak uygulanır. Bu model, ayrıca çeşitli kenarlar arasındaki ortak kuplajı hesaba katar. Bu model düzlemsel devre yaklaşımını (Okoshi, 1986) ve yamanın kenar admitanslarını kullanır.

MNM yönteminde, iç ve dış bölgedeki alanlar ayrı ayrı modellenir. İç bölge, çapraz şekilli yama anten için Şekil 3.6'da görüldüğü gibi bütün çevre boyunca kapılar yerleştirilmiş çok kapılı düzlemsel bir devre olarak modellenir. Kenar alanları, ışıma alanları ve yüzey dalga alanlarından oluşan dış bölgedeki alanlar yük admitansları tarafından temsil edilirler. İletim hattı modelinin aksine, ışıma yapan yada yapmayan bütün kenarlar MNM'de yük admitansları olarak temsil edilirler. Verilen bir kenara karşı gelen yük admitansı belli sayıda kapıya eşit olarak bölünür. Bu yükler daha sonra düzlemsel devre üzerinde karşı gelen kapılara bağlanırlar. Yani, verilen bir kenar için, çok kapılı ağdaki kapı sayısı ile yük ağındaki kapı sayısı aynıdır.



Şekil 3.6. Çok kapılı ağ modeli

3.2.5. Mikroşerit antenlerin tam dalga analizi

Daha önceki kısımlarda tanımlanan MŞA'in yaklaşım modelleri belli basitleştirici varsayımlar yapmaktadır. Bu varsayımlar,

1. Kapalı form öz fonksiyonlar şeklinde analitik basitliğe yol açar.

2. Duvar admitansları için kapalı form ifadeleri kullanırlar ve bu nedenle sayısal olarak daha az yoğun işlem gerektirirler.

3. Uzay dalga ışıması, yüzey dalga ışıması ve ortak kuplaj gibi farklı olayları birlikte hesaba katan bir yaklaşımı kullanırlar.

Sonuç olarak, aşağıda belirtilen çok sayıda sınırlamalar içerirler:

- $\partial/\partial_z \equiv 0$ kabulünden dolayı bu modeller sadece ince tabanlar ($h/\lambda_0 < 0.01$) için geçerlidir.
- Bu modeller küçük genişlikli mikroşerit dipollere uygulandığında doğru sonuç vermezler (J. James & Hall, 1989).
- Yaklaşım kuplajlı ve açıklık kuplajlı mikroşerit beslemeler gibi bazı besleme konfigürasyonlarını modellemek zordur.
- Modeller anizotropik tabanlar için test edilmemiştir.

- Bir yama antenden olan çapraz kutuplanmış ışıma, iletim hattı modeli veya çok kapılı ağ modeli kullanılarak kestirilemez, çünkü sadece tek modlu analiz yapılmıştır.

Burada bahsedilen sınırlamaların çoğu tam dalga tekniklerinde söz konusu değildir. Bu tekniklerin hesaplama maliyetleri yüksek ve zor tekniklerdir. İntegral denklemi tekniklerinin temel yaklaşımı taban ve toprak düzlemi yan boyutlarda sonsuz uzunlukta alınmıştır. Çözümün formülasyonu, hava-dielektrik ara yüzeyindeki sınır şartlarının tam anlamıyla uygulanmasına dayanır. Bu kompozit dielektrik için tam Green fonksiyonu kullanılarak yapılır.

Green fonksiyonu, dielektrik kayıplarının, iletken kayıplarının, yüzey dalga modlarının ve uzay dalga ışımasının etkisini içerir. Yama iletkenindeki sınır şartı bir integral denklemine yol açar. Diferansiyel formdaki Maxwell denklemleri sonlu-fark şeklinde ve FDTD yaklaşımı kullanılarak zaman domeninde çözülür. Bu teknik Green fonksiyonu kullanmaz ve bu nedenle küçük boyutlu toprak düzlemi ve tabanın etkisini hesaba katar. Antene monte edilmiş herhangi bir yarı iletken eleman, eleman-alan etkileşim seviyesinde analize katılabilir. Bu imkan, aktif MŞA'in doğru analizine neden olur. Tam dalga tekniklerinin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir (D. M. Pozar, 1992):

Doğruluk: Tam dalga teknikleri genelde empedans ve ışıma karakteristikleri için en doğru çözümü verirler.

Bütünlük: Tam dalga teknikleri, dielektrik kaybı, iletken kaybı, uzay dalga ışıması, yüzey dalgaları ve dış kuplaj etkileri dahil olmak üzere tümünü tam olarak çözer.

Çok yönlülük: Tam dalga teknikleri herhangi bir şekle sahip mikroşerit elemanlar ve diziler, farklı tipte besleme teknikleri, çok katmanlı geometriler, anizotropik tabanlar ve aktif antenler için kullanılabilir.

Hesaplama Maliyeti: Tam dalga teknikleri, sayısal olarak yoğun işlem gerektirir ve bu sebeple hesaplama maliyetini düşürmek için dikkatli programlama gerekir.

En popüler üç tam dalga tekniği şunlardır;

- Spektral domeni tam dalga çözümü (D. Pozar, 1987) (Deshpande & Bailey, 1982),
- karmaşık-potansiyel elektrik alan integral denklem yaklaşımı (D. M. Pozar, 1992) (Itoh, 1989), (Mosig & Gardiol, 1982) ve
- sonlu fark zaman domeni tekniği (Tavlove & Hagness, 1995) (Kunz & Luebbers, 1993).

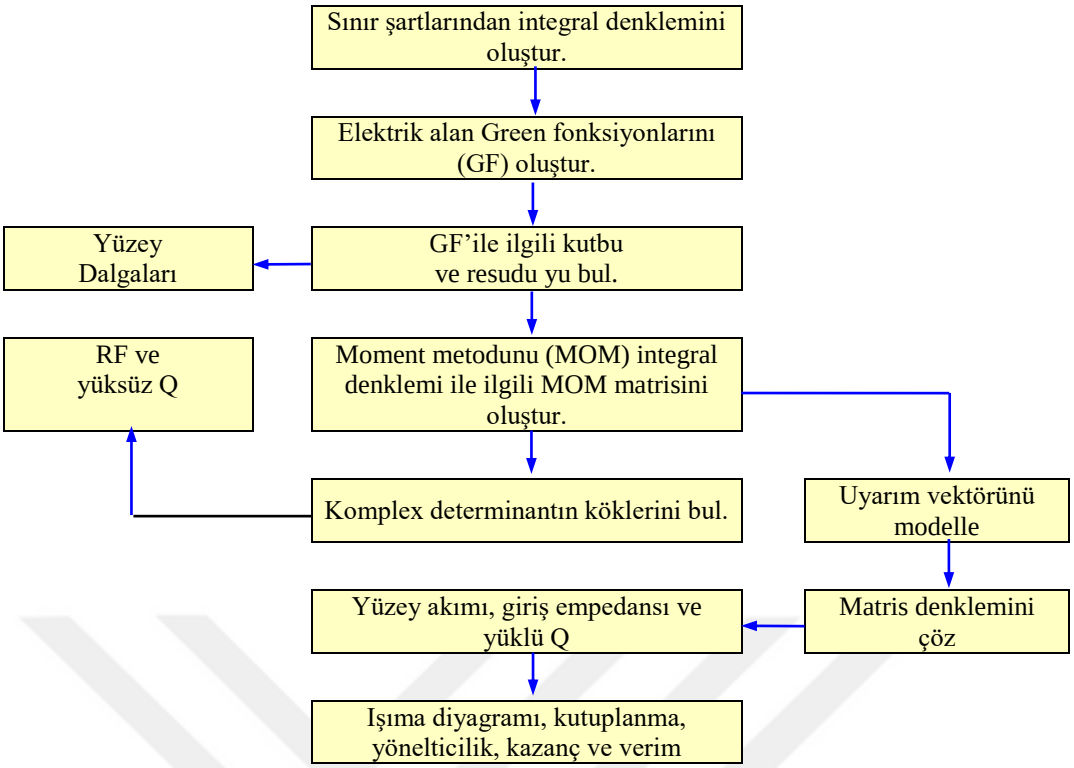
Çok katmanlı ortam içeren problemler için integral denklemi iki farklı yolla çözülebilir.

1. İntegral denklemi yazılır ve spektral domende çözülür. Bu yaklaşım genelde spektral domen yaklaşımı olarak nitelenir.

2. Diğer yaklaşımda, spektral domen Green fonksiyonunu hesaplamada kullanılır. Fakat bu aşamada ters dönüşüm alınarak integral denklemi uzay domeninde çözülür. Bu yaklaşım probleme daha iyi bir fiziksel kavrayış ve hesabı daha verimli yapmayı sağlar. Skaler potansiyel ve vektörel potansiyel analiz için seçildiğinde, teknik karmaşık-potansiyel integral denklem tekniği olarak bilinir.

3.2.6. Spektral domen tam dalga analizi

Bu yaklaşım MŞA'in karmaşık dielektrik yapısı için tam Green fonksiyonu kullanılır (D. Pozar, 1987) ve (Deshpande & Bailey, 1982).
Green fonksiyonu, yama iletkende sınır şartlarını sağlamak için elektrik alan integral denklemi formülasyonunda kullanılır. Sonuç integral denklemleri, bir matris denklemi oluşturmak üzere moment yöntemi vasıtasıyla bir dizi lineer denkleme ayrılırlar. Matris denkleminin çözümü yama iletkeni üzerindeki akım dağılımını verir. Daha sonra, antenin yakın alan ve uzak alan karakteristikleri akım dağılımından ve Green fonksiyonundan bulunur. Şekil 3.7 analizdeki ana işlemleri listeler.



Şekil 3.7. MŞA analizi basamakları

Spektral domende moment metodunda izlenen temel adımlar şunlardır.

1. Dielektrik dilime ait Green fonksiyonu ile bilinmeyen yama akımını içeren integral denkleminin formüle edilmesi.
2. Dielektrik dilim için, tam Green fonksiyonun çıkarılması.
3. Vektör mağnetik potansiyel ifadesinde geçen Sommerfield tipi integrallerin nümerik olarak hesaplanması.
4. Yama yüzey akımının formüle edilmesi ve hesaplanması için Galerkin prosedürünün kullanılması (kenardan beslemeli yama olması durumunda besleme yüzeyi akımı dahil).
5. Anten özelliklerinin belirlenmesi.

Bu teknikte Green fonksiyonunun elde edilişi elektromağnetik olarak tamdır. Diğer bir değişle, metotda yüzey-dalga etkileri ve (birden fazla eleman olması durumundaki) karşılıklı kuplaj etkileri anten dizileri için hesaba katılmaktadır. Bunlardan ikincisi hassas dizi tasarımında özel bir öneme sahiptir.

Spektral domende moment metodu potansiyel olarak herhangi bir keyfi yama şeklinin veya yama dizilerinin analizinde kullanılabilir. Bu metodun potansiyeli üzerindeki tek sınırlama, analiz için gereken analitik ve sayısal hesaplamanın uzun olmasıdır.

3.2.7. Karmaşık potansiyel integral denklemi analizi

Karmaşık potansiyel integral denklemi yaklaşımı (mixed-potential integral equation: MPIE), spektral domende tanımlanan integral denklem analizinden hesaplama olarak daha verimlidir. Çoğu ticari integral denklemi yazılımları bu tekniği kullanırlar.

Karmaşık potansiyelli integral denklemi metodu, keyfi şekilli yamaların analizi için (Mosig, 1988) tarafından önerilmiştir. Metod temelde (Harrington & Harrington, 1996) ince antenler için kullandığı metodun MŞA'e uyarlanmış halidir. İntegral denklemi hem bir skaler potansiyel hem de bir vektör potansiyel içerir, dolayısıyla diğer yazarlar tarafından incelenen integral denkleminin genelleştirilmiş bir biçimidir.

Karmaşık potansiyelli integral denklemi, moment metodu kullanarak uzay domeninde çözülür (Mosig, 1988). Pratik olarak ilgi duyulabilecek muhtelif yapılar (dikdörtgen bir yama ve L-şeklinde bir yama dahil) ele alınmasına rağmen, sunulan sonuçlar tasarımcı tarafından doğrudan kullanılmaya uygun bir biçimde değildir.

3.2.8. Sonlu-Fark zaman-domeni analizi

Daha önce tanımlanan integral yaklaşımına ek olarak sonlu-fark zaman-domeni (FDTD) yaklaşımı da yaygın olarak MŞA'in tasarım ve analizinde kullanılır. FDTD ile diğer sayısal yöntemler arasındaki temel fark, FDTD'de analitik önişlem ve modelleme hemen hemen yoktur. Bu nedenle karmaşık antenler FDTD kullanılarak analiz edilebilir. Bu analiz yaklaşımı sonlu boyutlu taban ve toprak düzleminin etkilerini içerecek şekilde kullanılabilir olup bu durum telsiz alıcılardaki MŞA gibi birçok MŞA'in tasarımında çok önemlidir. Alan seviyesinde cihaz ve devreler arasındaki etkileşim FDTD kullanılarak birleştirilebilir. Bu aktif mikrodalga devreleri ve antenlerin doğru analizi için mecburidir. Aktif MŞA, FDTD kullanarak analiz edilebilir.

FDTD ilk defa (Yee, 1966) tarafından teklif edilmiştir ve diğer tekniklere karşı aşağıdaki avantajları nedeniyle birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır;

1. Matematiksel bakış açısıyla FDTD Maxwell'in curl ifadelerinin doğrudan uygulanmasıdır. Bu sebeple, Maxwell denklemlerinin analitik işlemleri hemen hemen ihmal edilebilir.
2. Analiz zaman domeninde olduğundan genişband frekans tepkisi tahmin edilebilir.
3. İnsan vücudu ile dalga etkisini, uydu, lineer olmayan devre simulasyonları, kompleks antenler v.b. kompleks sistemlerin analizi yapılabilir.
4. Kayıplı dielektrik, mıknatıslanmış feritler ve anizotropik plazmalar gibi farklı tipteki malzemeler kullanılan yapılar analiz edilebilir.
5. Son olarak, elektromağnetik tasarımcılar için çok güçlü bir yardımcı olan gerçek zaman animasyon gösterimi sağlayabilir.

Bu listeye özellikle geniş bant tepkisinin tespitinde sonlu elemanlar yöntemi veya moment yöntemi gibi diğer tekniklerle karşılaştırıldığında büyük problemler için hesap verimi avantajı da eklenebilir.

Gerekli bilgisayarın özelliği, problem yapısının elektriksel boyutuna ve verilen doğruluk için gerekli parçalama boyutlarına bağlı olarak Pentium PC'den süper bilgisayarlara kadar olabilir. FDTD için bilgisayar ihtiyacı, integral denklemi, mod uyumlandırması ve hat metodu gibi analitik ön işlemler yaparak analiz edilebilir problemlerde daha büyüktür.

FDTD kullanılarak herhangi bir problemin analizi, analiz edilen yapıyı malzeme özelliklerine göre çeşitli bölgelere ayırarak başlar.

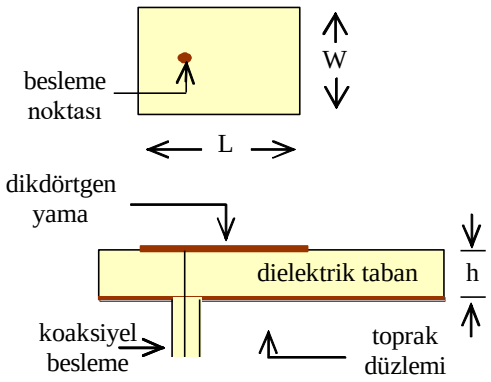
Eğer varsa sınırlanmamış bölge, bir soğuran bölge onu sonlandırarak veya yansıma olmayan bir sonlandırma ile sınırlanır. Sonra, problemin fiziksel uzayı $\Delta x \Delta y \Delta z$ boyutlu parçalara ayrılır. Zaman domeni de Δt büyüklüğünde aralıklara ayrılır. Daha sonra bu yapı bir elektromağnetik pals ile uyarılır. Yapıdaki darbe ile başlatılan dalga, onun yayılım davranışı için çalışılır. Kararlı haldeki zaman domeni dalga formu, bu yapının zaman domeni ve frekans domeni karakteristiklerini belirlemek üzere sayısal olarak işlenir. FDTD tekniği üzerine çok faydalı bir literatür derlemesi (Shlager & Schneider, 1995) mevcuttur.

4. TEKSTİL DİELEKTRİK MALZEME TABANLI DİKDÖRTGEN, DAİRE VE EŞKENAR ÜÇGEN YAMA ŞEKİLLİ MİKROŞERİT ANTENLERİN TASARIMI VE HESAPLAMALARI

Giyilebilir tekstil ürünlerinin mikroşerit anten özellikli olarak kullanılabilmesi, temel olarak antenin yama şeklinin geometrik özelliğini ve taban malzemesini gündeme getirir. Doğru antenin belirlenebilmesi ise bu özelliklere göre belirlenmiş antenin elektriksel parametrelerinin performanslarıdır. Antenin performansı, teorik hesaplamaların doğruluğuna ve üretimdeki hassasiyetlere bağlıdır. Bu çalışma ile dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen yamalı kot, kadife ve keçe dielektriğe sahip mikroşerit antenler, giyilebilir amaçlı hangi antenin daha iyi performansa sahip olabileceği üzerine 2.4, 3 ve 5.8 GHz frekanslarında tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar, aşağıda verilen tasarım denklemleri kullanılarak ve fiziksel boyutlar hesaplanarak yapılmıştır. Antenlerin kendi aralarında doğru bir şekilde karşılaştırabilmek için EYA yöntemi geliştirilmiş ve yama alanları her üç frekansta da bir birlerine eşitlenmiştir. Tasarımları yapılan antenler üretilmiş ve bölüm 4.4'de verilen bant genişliği, geri dönüş kaybı, giriş empedansı ve gerilim duran dalga oranı gibi parametrelerin deneysel ölçümleri yapılarak sonuçları incelenmiştir.

4.1. Dikdörtgen Şekilli Mikroşerit Anten

En basit haliyle ve şekil 4.1’ de gösterildiği gibi, anten elemanı, h kalınlığında, alt yüzü toprak ve ε_r dielektrik sabitine sahip bir taban üzerinde iletken bir şerittir. İletken şerit LxW boyutlarındadır. Yama bir besleme verildiğinde, toprak düzlemi ve yama iletkeninde bir akım dağılımı oluşur. Yamanın alt kısmı pozitif, toprak ise negatif yüklü hale gelir. Bu yükler arasındaki çekim yükün büyük bir kısmını iki yüzey arasında tutar. Yüklerin bir kısmı kenarlara doğru çekilir. Dolayısıyla kenarlarda büyük bir akım yoğunluğu oluşur. Bu yükler saçılma alanlarına bağlı ışımanın kaynağıdır. Saçılma alanı ve ışıyan güç, kalın bir dielektrik taban kullanılarak arttırılabilir.



Şekil 4.1. Dikdörtgen mikroşerit anten geometrisi

W, yama boyu aşağıdaki formülle bulunabilir (J. R. James, 1989).

$$W = \frac{c}{2f_r}\left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2}\right)^{-\frac{1}{2}} \tag{4.1}$$

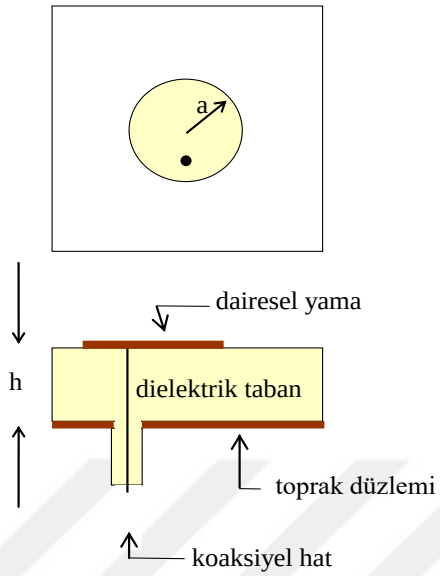
Denklemde c ışığın boşluktaki hızı, ε_r malzemenin dielektrik sabiti, f_r ise çalışılan frekansıdır. Etkin dielektrik sabiti ε_{eff} ;

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[1 + \frac{12h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}} \qquad \left[\left(\frac{W}{h}\right) > 1\right] \tag{4.2}$$

L, yama uzunluğu;

$$L = \frac{c}{2f_r\sqrt{\varepsilon_{reff}}} - 0.824h\left\{\frac{(\varepsilon_{reff} + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_{reff} - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)}\right\} \tag{4.3}$$

4.2. Daire Şekilli Mikroşerit Anten



Şekil 4.2. Dairesel mikroşerit anten geometrisi

Yamanın boyutu yuvarlak bir halka olarak işlendiğinden, yamanın gerçek yarıçapı (Balanis, 1999)

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi F \varepsilon_r}\left[ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726\right]\right\}^{1/2}} \tag{2.6}$$

$$F = \frac{8.791.10^9}{f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.7}$$

Eşitlik 2.6 da saçaklanma etkisi göz önüne alınmaz. Saçaklanma yamayı daha büyük hale getirdiği için, yamanın etkin yarıçapı kullanılır (Balanis, 1999). Buna göre etkin yarıçap,

$$a_{eff} = a\left\{1 + \frac{2h}{\pi a \varepsilon_r}\left[ln\left(\frac{\pi a}{2h}\right) + 1.7726\right]\right\}^{1/2} \quad (2.8)$$

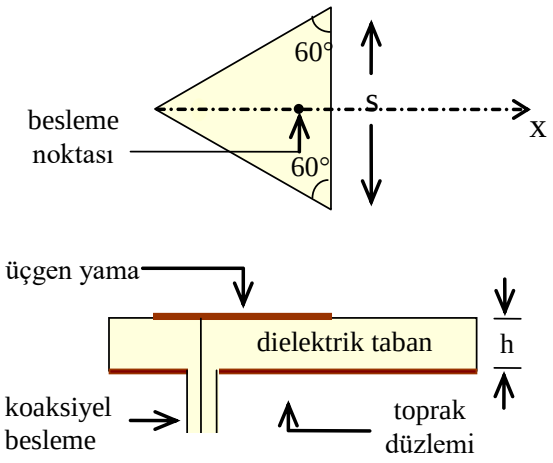
ile verilir. Etkin yarıçap kullanılarak rezonans frekansı %2.5 oranında daha yakın bulunabilir. Rezonans frekansı ise,

$$f_r = \frac{X_{np} c}{2\pi a_{eff}\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.9)$$

şeklinde bulunur. Burada X_{np} n. dereceden $J_n(x)$ Bessel fonksiyonundan türetilen sıfırlardır ve dairesel dalga kılavuzlarının TE modunda doğrulanır. En düşük dereceli mod TM_{11} X_{11}'e karşılık gelir ve değeri 1.84118'dir. a_{eff} ise yamanın etkin yarıçapıdır (Shen, Long, Allerding, & Walton, 1977).

4.3. Eşkenar Üçgen Şekilli Mikroşerit Anten

Eşkenar üçgen mikro şerit yama anten, ε_r dielektrik sabitine sahip olan h altlık kalınlığa sahip bir zemin düzlemi üzerinde s uzunluğunda bir yan uzunluktan oluşur.



Şekil 4.3. Eşkenar üçgen mikroşerit anten geometrisi

Üçgen yamalar küçük boyutlarda dikdörtgen yamalara benzeyen ışıma karakteristikleri verdikleri belirlenmiştir.

Şekil 10'da verilen kenar uzunluğu *s*, dielektrik taban kalınlığı *h* ve bağıl dielektrik sabiti ε_r olan bir eşkenar üçgen mikroşerit antenin rezonans frekansı aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir (Bahl & Bhartia, 1980)

$$s_{eff} = s + \frac{h}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2.10}$$

$$\varepsilon_{reff} = \frac{1}{2}(\varepsilon_r + 1) + \frac{1}{4}\frac{(\varepsilon_r - 1)}{\sqrt{1 + \frac{12h}{s}}} \tag{2.11}$$

$$f_r = \frac{2c}{3s_{eff}\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \tag{2.12}$$

Burada, s_{eff} etkin kenar uzunluğudur.

4.4. Bant Genişliği (BW), Geri Dönüş Kaybı (S_{11}), Giriş Empedansı (Z_A) ve Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)

4.4.1. Bant genişliği (BW)

Antenler bağımsız cihaz olarak kullanılamazlar. Bir sistemin bir parçası olarak düşünülür. Bu nedenle radyasyon karakteristiklerinin yanında empedans özelliklerini de bilinmesi gerekir. Antene bakıldığında, aşağıdaki ifade de verildiği gibi karmaşık bir Z_A empedansı görülür.

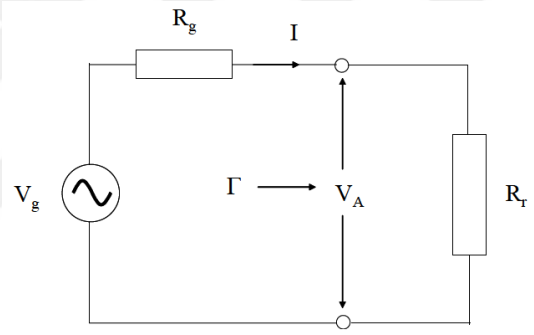
$$Z_A = R_A + jX_A \tag{2.13}$$

Burada R_A, anten empedansının gerçek veya dirençli kısmıdır. X_A, anten empedansının reaktif kısmıdır. Gerçel kısım, omik kayıplara karşılık gelir (küçük antenlerde önemli olabilir), R_L ise istenen ışıma kayıplarını verir,

$$R_A = R_L + R_r \tag{2.14}$$

Burada R_r, anten ışıma direncidir.

Anten empedansının reaktif kısmı, enerjinin depolandığı antenin reaktif yakın-alan bölgesini hesaplar. Anten empedansının reaktif ve omik kaybının önemsenmediği (Z_A = R_r) ve antenin (gerçek) empedans R_g olan bir kaynağa bağlandığı varsayılırsa (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kayıpsız anteni kaynağa eşleştiren eşdeğer devre.

Yansımanın olmaması için kaynak ve anten empedansı R_r = R_g olmalıdır. Buna göre yansıma katsayısı Γ,

$$\Gamma = \frac{R_r - R_g}{R_r + R_g} \tag{2.15}$$

Anten R_r = R_g olacak şekilde tasarlandığında, yansımanın sıfır olduğu görülür.

Bir antenin empedansı normal olarak frekansın fonksiyonuna göre değişir ve bu nedenle empedans frekansın fonksiyonuna göre değişir. Bu durum bir antenin sınırlı bir frekans bandında verimli bir şekilde çalışacağı anlamına da gelir. Bu frekans bandının genişliğine bant genişliği denir. Normalde, orta frekansta empedans uyumu en iyidir.

Daha düşük veya daha yüksek frekanslara geçerken, kabul edilemeyecek kadar zayıf hale geldiği bir seviyede empedans uyumu bozulur. Bu düzeyler, frekans bandının sınırlarını belirler. Empedans bant genişliğini belirlemek için genellikle,

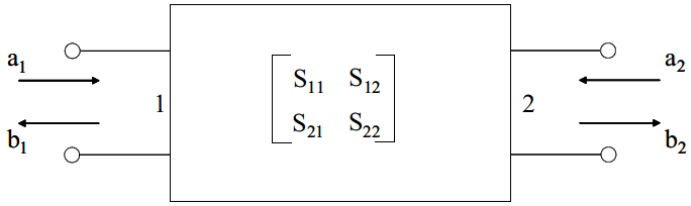
-10dB (| Γ | 2 ≤ 0.1) veya -15dB (| Γ | 2 ≤ 0.03) yansıma katsayısı seviyeleri kullanılır.

Nispeten küçük bant genişliği antenleri için bant genişliği merkez frekans yüzdeleri olarak ifade edilebilir (Constantine Balanies, 1982). f_0 merkezi frekans ise, f_1 frekans bandının üst sınırı ve f_2 frekans bandının üst sınırıdır, bant genişliği şu şekilde verilir:

$$BW = \frac{f_1 - f_2}{f_0} \tag{2.16}$$

4.4.2. Geri dönüş kaybı (S_{11}) ve giriş empedansı (Z_A)

Bir antenin giriş empedansı, bir analizör kullanılarak antenin yansıması ölçülerek kolayca elde edilebilir. Analizör, yansıyan ve gelen gerilim dalgası genliklerinin karmaşık (genlik ve faz) oranlarını belirleyebilen iki kapılı bir mikrodalga alıcısı gibidir. Bu durum Şekil 4.5'de gösterilen iki kapılı bir sistemdeki dağılım parametreleri ile tanımlanabilir.



Şekil 4.5. İki kapılı sistem

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \ , \qquad b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \tag{2.17}$$

Burada b_1, bağlantı noktası 1'deki yansıyan dalganın karmaşık gerilim dalgası genliği, b_2, bağlantı noktası 2'deki yansıyan dalganın karmaşık gerilim dalgası genliği,

a_1, bağlantı noktası 1'deki yük dalgasının karmaşık gerilim dalgası genliği ve a_2, bağlantı noktası 2'deki karmaşık yük dalgasının gerilim dalgasının genliğidir.

Bir antenin giriş empedansını belirlemek için, girişteki yansıma katsayısını ρ, belirlemek yeterli olacaktır. İletim hattı teorisinden, yansıma katsayısı ile giriş empedansı (Z_{in}) arasında,

$$S_{11} = \frac{(Z_{in} - Z_0)}{(Z_{in} + Z_0)} \tag{2.18}$$

bağıntı vardır. Burada Z_0, ölçüm sisteminin karakteristik empedansıdır ve genellikle 50 Ω olarak alınır. Denklem (2.18)'den, giriş empedansı ise,

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \tag{2.19}$$

şeklinde verilir. Burada Z_0 bilindiği takdirde S_{11} elde edilir.

4.4.3. Gerilim duran dalga oranı (VSWR)

Bir noktadan hareket eden dalganın tamamen veya kısmen yansıdığı zaman, duran bir dalga yaratılır. Maksimum ve minimum karmaşık gerilim dalga genliklerinin mutlak değerlerinin oranı, gerilim duran dalga oranı (VSWR), S olarak verilir.

$$S = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{|V^+| + |V^-|}{|V^+| - |V^-|} \tag{2.20}$$

Yansıma faktörü ρ,

$$\rho = \frac{V^-}{V^+} \tag{2.21}$$

ise,

$$S = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \tag{2.22}$$

$$|\rho| = \frac{S - 1}{S + 1} \tag{2.23}$$

olacaktır.

4.5. Tekstil Dielektrik Malzeme Tabanlı Mikroşerit Antenlerin 2.4, 3 ve 5.8 GHz Frekanslarındaki Performanslarının Eşit Alanlı Yama Yöntemiyle İncelenmesi

Yüksek frekanslarda kullanılan malzemelerin dielektrik özelliği, mikroşerit antenlerin parametrelerini değiştirmekte ve anten performansını büyük oranda etkilemektedir. Bu etkilerin araştırılması ve en uygun antenin elde edilmesi üzerine bu çalışma ile literatürde ilk olarak gerçekleştirilmiş olan bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem eşit alanlı yama yöntemidir. Yöntem, dielektrik malzeme olarak kullanılan kot, keçe ve kadife gibi üç farklı tekstil ürünü üzerinde denenmiştir. Çalışma 2.4, 3 ve 5.8 GHz rezonans frekans bandı üzerinde yapılmış ve tekstil tabanlı mikroşerit anten performansları incelenmiştir. Antenlerin performansları, antenlerin en önemli elektriksel parametreleri olan BW, S_{11}, Z_A ve VSWR gibi parametreleri için yapılmıştır. Antenlerin eşit alanlı olarak tasarlanmasında dikdörtgen anten temel alınmıştır.

4.5.1. Örnek anten hesaplaması

Örnek mikroşerit anten hesabı, 3 GHz rezonans frekansında kot dielektrik tekstil malzemesi için hesaplanmıştır. Kot dielektrik malzemenin kalınlığı (h) 0.078 cm, permitivitesi (ε_r) 1.55 dir. Buna göre dikdörtgen yama mikroşerit antenin boyu (W) Denklem 4.1 kullanılarak; 4.428 cm, genişliği (L) Denklem 4.3 kullanılarak; 3.924 cm bulunmuştur. Bu durumda dikdörtgenin alanı;

W*L = 4.428 * 3.924 = 17.377 cm^2 bulunur.

Dairesel yama alanı πa^2 olduğuna göre ve dikdörtgen yamaya eşit olacağından dairenin alanı da 17.377 cm^2 olacaktır. Buna göre dairenin yarıçapı (a),

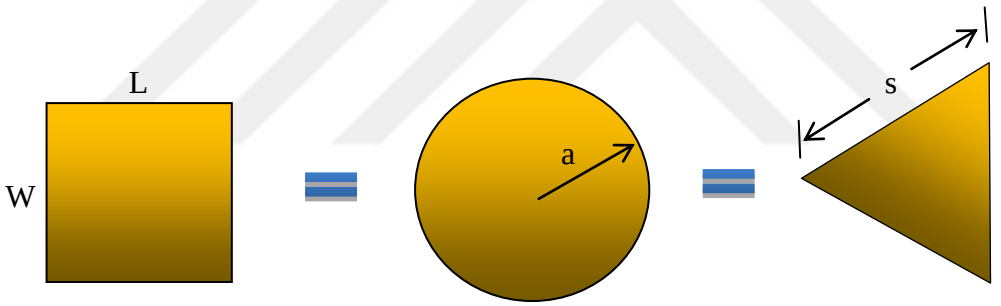
$A_{daire} = \pi a^2 = 17.377\ cm^2$ eşitliğinden, a = 2.352 cm olacaktır.

Benzer şekilde eşkenar üçgen yama mikroşerit anten alanı dikdörtgen yama alanına eşit olacağından, üçgen yamanın alanı da 17.377 cm^2 olacaktır. Buna göre eşkenar üçgenin kenar uzunluğu s,

$A_{üçgen} = \frac{\sqrt{3}}{4} s^2 = 17.377\ cm^2$ eşitliğinden, s = 6.335 cm bulunur.

Diğer tekstil ürünler olan kadife ve keçe dielektrik malzemeli mikroşerit antenlerin yama alanları aynı yolla hesaplanıp tasarımları yapılmıştır.

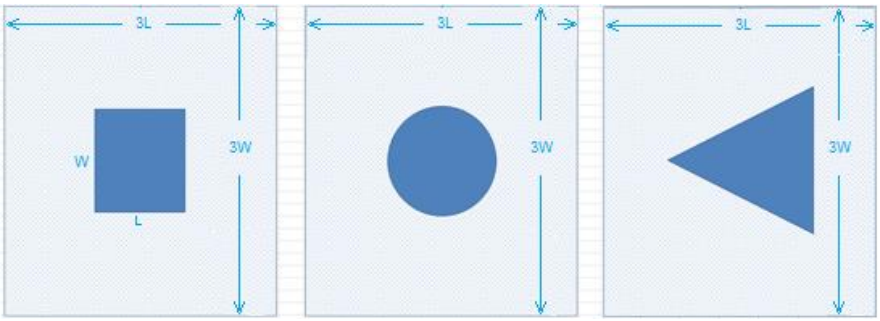
*Diğer anten çalışmalar tablo halinde EK-1 de verilmiştir.



$A_{dikd.} = WL$ $A_{daire} = \pi a^2$ $A_{üçgen} = \frac{\sqrt{3}}{4} s^2$

Şekil 4.6. Dairesel ve eşkenar üçgen mikroşerit antenlerin yama alanlarının dikdörtgen mikroşerit antenin yama alanına eşitlenmesi

Alanları eşitlenen antenlerin tabanları da birbirine eşitlenmiştir. Tabanlar, referans anten olarak ele alınan dikdörtgen yama mikroşerit antenin ebatlarının üç katı büyüklüğünde olacak şekilde hesaplanıpŞekil 4.2'de görüldüğü gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Alanları ve tabanları birbirine eşit dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen yama mikroşerit antenlerin gösterimi.

Tasarımları ve alan hesapları yapılarak gerçekleştirilen antenlerden örnek olarak Şekil 4.8'de 3 GHz frekansında gerçekleştirilmiş alanları ve tabanları birbirine eşit kot dielektrikli, dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen yama mikroşerit antenlerin önden çekilmiş resimleri verilmiştir.

Şekil 4.8. 3 GHz frekansında gerçekleştirilmiş Alanları ve tabanları birbirine eşit kot dielektrikli, dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen yama mikroşerit antenlerin ön ve arka görüntüleri

4.5.2. 2.4, 3 ve 5.8 GHz anten uygulamaları

Çalışmada dikdörtgen, daire ve eşkener üçgen yama mikroşerit antenler için kot, kadife ve keçe dielektrik tabanlı 27 adet anten tasarlanmıştır. Antenlerin uygulamalarının ardından S_{11}, yüzde BW, Z ve VSWR gibi elektriksel parametrelerin ölçümleri VNA kullanılarak deneysel ölçümleri yapılmıştır. Kot, kadife ve keçe'nin

kalınlık ve dielektrik değerleri Çizelge 1'de, elde edilen S_{11}, yüzde BW, Z ve VSWR sonuçları ise 2.4, 3 ve 5.8 GHz için, Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kot, kadife ve keçe tabanlı antenlerin dielektrik ve kalınlık değerleri

Dielektrik Kumaş	**ε_r**	**h (cm)**
Kot	1.55	0.078
Kadife	2	0.093
Keçe	1.45	0.33

Alt taban malzemesi ve yama olarak kullanılan bakırın kalınlığı, 0.02 cm'dir.

Çizelge 2. Kot dielektrik için 2.4, 3 ve 5.8 GHz'deki antenlerin S_{11}, BW, Z_A ve VSWR sonuçları (h = 0.078 cm, ε_r = 1.55)

		S_{11} (dB)	**%BW**	**Z_A (Ω)**	**VSWR**	**$f_{rö}$ (GHz)**	**f_r farkı (GHz)**
$f_{rç}$ 2.4 GHz	**Dikdörtgen**	-23.12	4.5	78	1.40	2.168	0.232
	Daire	-41.84	3.8	50.19	1.44	2.386	0.014
	Eşkenar üçgen	-39.96	5.7	46	1.19	2.100	0.3
$f_{rç}$ 3 GHz	**Dikdörtgen**	-13.87	2.6	66	1.53	2.458	0.542
	Daire	-23.66	1.95	48	1.17	2.619	0.381
	Eşkenar üçgen	-45.00	2.5	60.9	1.28	2.383	0.617
$f_{rç}$ 5.8 GHz	**Dikdörtgen**	-34.89	3.03	50.515	1.036	5.931	0.131
	Daire	-	-	56	1.15	-	-
	Eşkenar üçgen	-27.07	1.34	51.05	1.59	5.818	0.018

Not: Çizelgede boş olan kısımlar için her hangi bir değer alınamamıştır

Çizelge 3. Kadife dielektrik için 2.4, 3 ve 5.8 GHz'deki antenlerin S_{11}, BW, Z_A ve VSWR sonuçları (h = 0.093 cm, ε_r = 2)

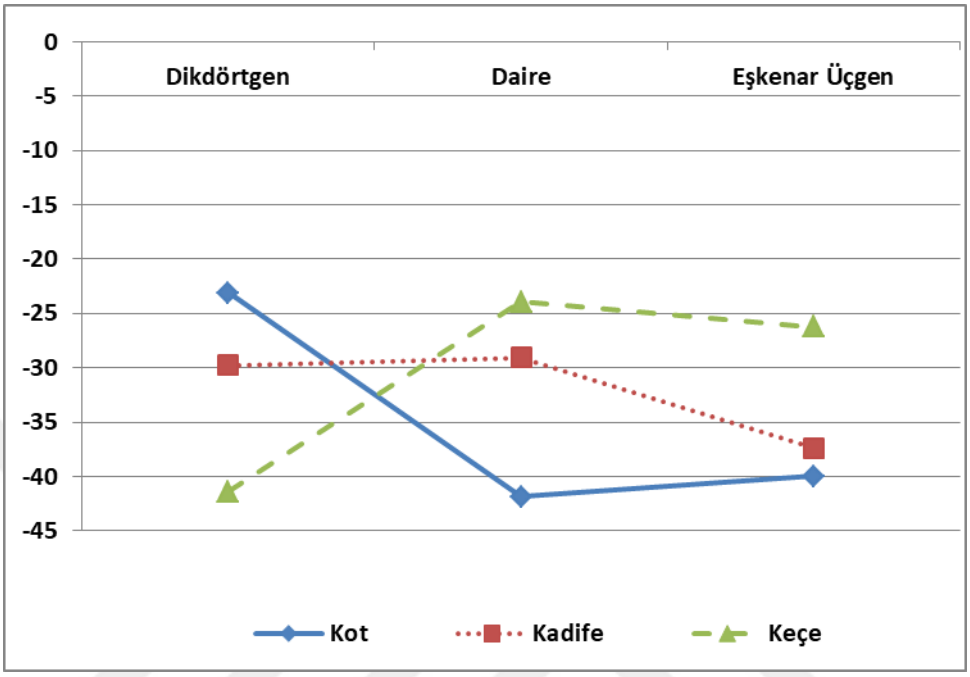
		S_{11} (dB)	%BW	Z_A (Ω)	VSWR	$f_{rö}$ (GHz)	f_r farkı (GHz)
$f_{rç}$ 2.4 GHz	**Dikdörtgen**	-29.78	3.76	58	1.40	2.084	0.316
	Daire	-29.073	3.86	53.81	1.24	2.386	0.014
	Eşkenar Üçgen	-37.38	3.58	52	1.21	2.286	0.114
$f_{rç}$ 3 GHz	**Dikdörtgen**	-12.62	0.13	31.9	1.9	3.01	0.01
	Daire	-22.98	1.53	49.78	1.19	2.932	0.068
	Eşkenar Üçgen	-35	1.9	48.52	1.06	3.641	0.641
$f_{rç}$ 5.8 GHz	**Dikdörtgen**	-32.48	4.96	47	1.054	5.845	0.045
	Daire	-34	0.52	52.78	1.039	5.77	0.03
	Eşkenar Üçgen	-21.55	0.25	54	1.108	5.84	0.04

Çizelge 4. Keçe dielektrik için 2.4, 3 ve 5.8 GHz'deki antenlerin S_{11}, BW, Z_A ve VSWR sonuçlar (h = 0.33 cm, ε_r = 1.45)

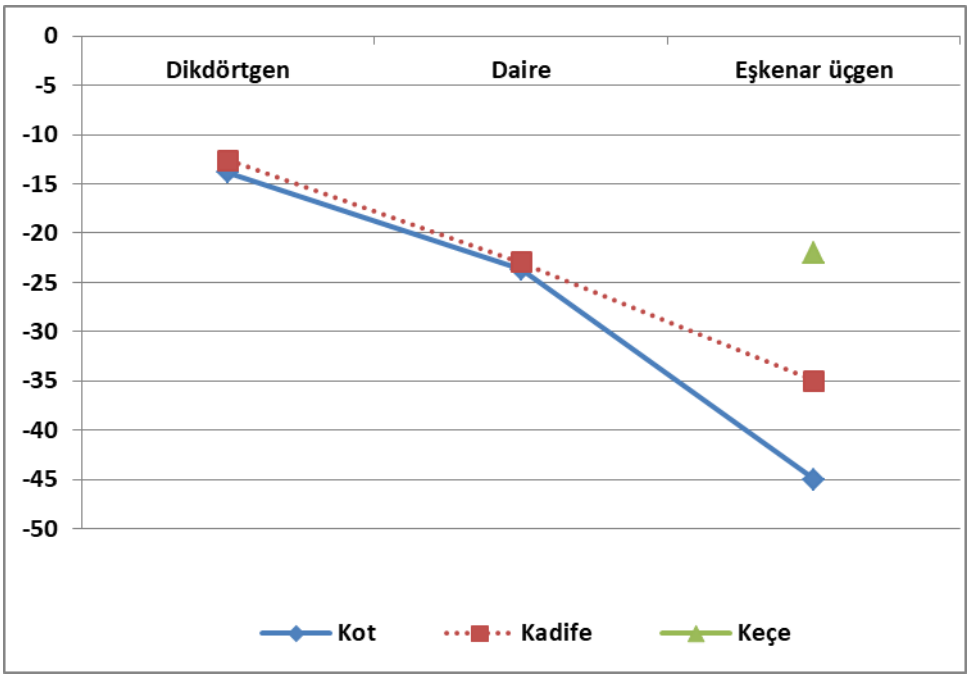
		S_{11} (dB)	%BW	Z_A (Ω)	VSWR	$f_{rö}$ (GHz)	f_r farkı (GHz)
$f_{rç}$ 2.4 GHz	**Dikdörtgen**	-41.41	10.03	45	1.18	2.40	0
	Daire	-23.93	2.48	48	1.9	2.41	0.01
	Eşkenar Üçgen	-26.22	3.17	57	1.188	2.11	0.29
$f_{rç}$ 3 GHz	**Dikdörtgen**	-	-	-	-	-	-
	Daire	-	-	-	-	-	-
	Eşkenar Üçgen	-21.99	3.68	59	1.35	2.55	0.45
$f_{rç}$ 5.8 GHz	**Dikdörtgen**	-47.45	8.17	50.02	1.024	5.768	0.032
	Daire	-21		33	1.76	6.019	0.219
	Eşkenar Üçgen	-	-	-	-	-	-

Not: Çizelgede boş olan kısımlar için her hangi bir değer alınamamıştır

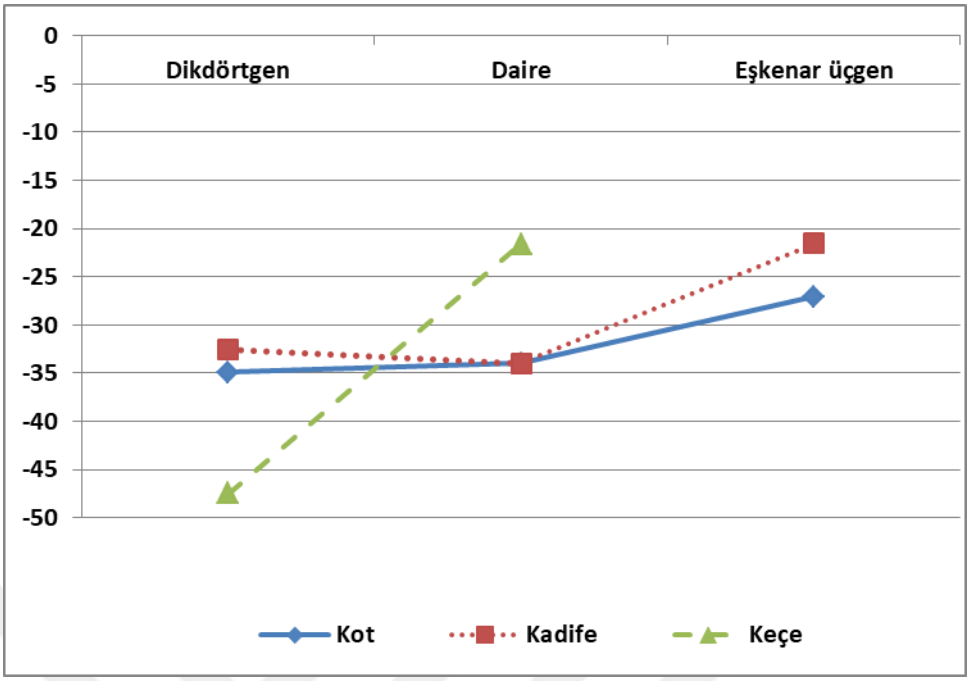
Şekil 4.9, 4.10, 4.11'de her üç frekans ve her üç anten için kumaşların S_{11} performansları, Şekil 4.12, 4.13, 4.14'de ise her üç frekans ve her üç anten için kumaşların %BW performansları verilmiştir.



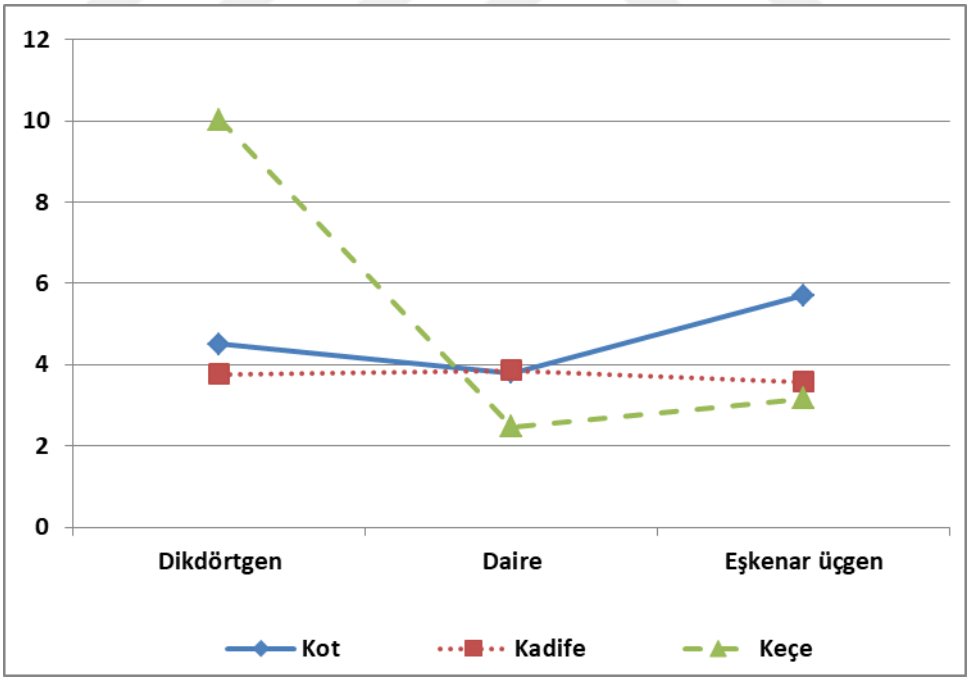
Şekil 4.9. 2.4 GHz S_{11} grafiği



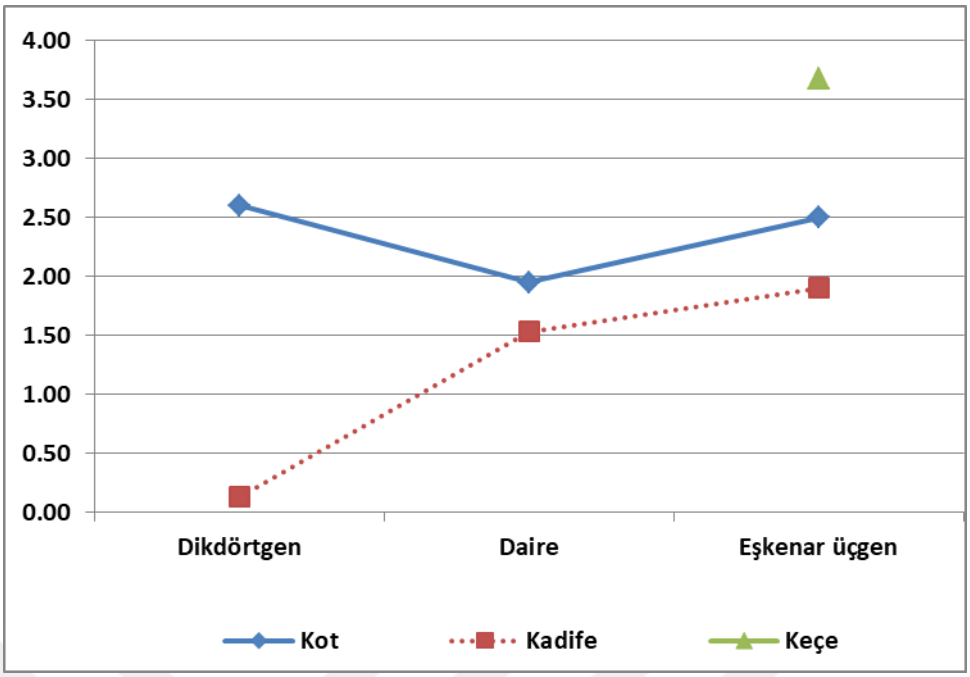
Şekil 4.10. 3 GHz S_{11} grafiği



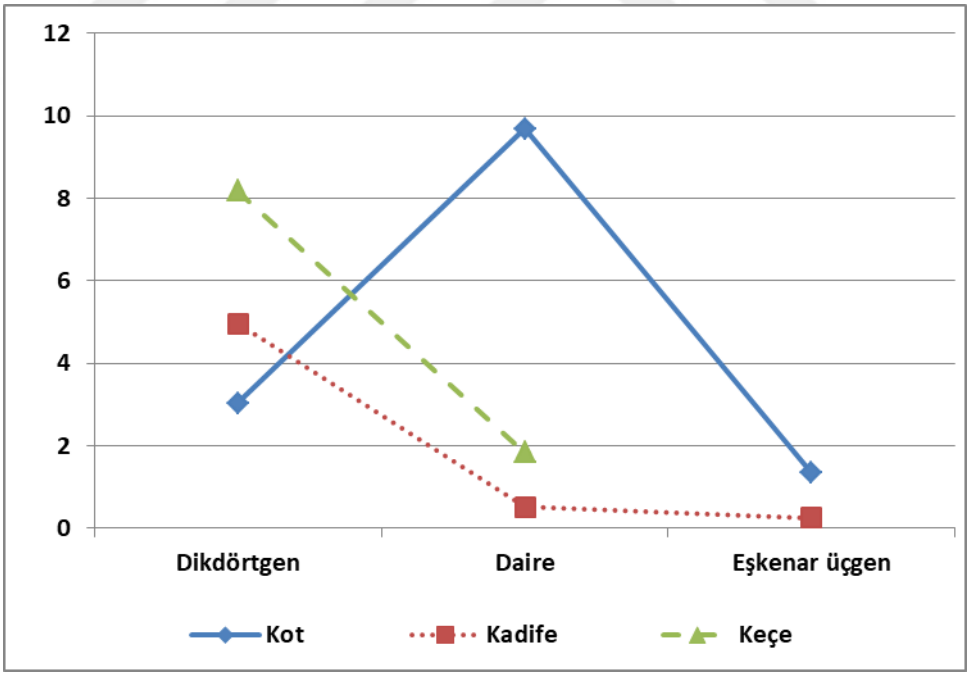
Şekil 4.11. 5.8 GHz S_{11} grafiği



Şekil 4.12. 2.4 GHz %BW grafiği



Şekil 4.13. 3 GHz %BW grafiği



Şekil 4.14. 5.8 GHz %BW grafiği

Şekil 4.15’de Her üç antenin ölçüm düzenekleri örnek olarak verilmiştir.

Şekil 4.15. Üç antenin ölçüm düzenekleri

*Diğer antenlerin ölçüm düzeneklerinin fotoğrafları eklerde verilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

"Giyilebilir Uygulamalar İçin Eşit Yama Alanına (EYA) Sahip Tekstil Dielektrik Malzeme Tabanlı Mikroşerit Antenlerin 2.4, 3 ve 5.8 GHz Frekanslarındaki Performansları" isimli tez çalışması ile üç farklı (kot, kadife, keçe) tekstil kumaş malzemesi üzerine 2.4, 3 ve 5.8 GHz frekans bandı üzerinde dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen gibi temel ve oldukça yaygın olan antenlerin giyilebilir olarak kullanılabilmesi amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Çalışma ile söz konusu frekanslarda yapılan tasarımlar, anten performanslarını belirleyebilmek amacıyla literatürde ilk defa uygulanmış olan "Eşit Yama Alanı" (EYA) yöntemi geliştirilmiş ve yönteme uygun teorik hesaplamaları ve tasarımları yapıldıktan sonra uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Ölçümler VNA ile alındıktan sonra performanslarının incelenmesi için çizelge ve grafikleri düzenlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ve Çizelge 2, 3 ve 4'den görüldüğü gibi en iyi değerler;

2.4 GHz frekansında,

S_{11} değeri -41.84 dB ile kot dielektriğine sahip daire yamadan,
%BW değeri 10.03 ile keçe dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan,
Z_A değeri 50.19 Ω ile kot dielektriğine sahip daire yamadan,
VSWR değeri 1.18 ile keçe dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan ve
$f_{rö}$ değeri 2.4 GHz ile keçe dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan alınmıştır.

3 GHz frekansında;

S_{11} değeri -45.00 dB ile kot dielektriğine sahip eşkenar üçgen yamadan,
%BW değeri 3.68 ile keçe dielektriğine sahip eşkenar üçgen yamadan,
Z_A değeri 49.78 Ω ile kadife dielektriğine sahip daire yamadan,
VSWR değeri 1.06 ile kadife dielektriğine sahip eşkenar üçgen yamadan,
$f_{rö}$ değeri 3.01 GHz ile kadife dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan alınmıştır.

5.8 GHz frekansında;

S_{11} değeri -47.45 dB ile keçe dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan,
%BW değeri 8.17 ile keçe dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan,
Z_A değeri 50.02 Ω ile keçe dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan,
VSWR değeri 1.024 ile keçe dielektriğine sahip dikdörtgen yamadan,
$f_{rö}$ değeri 5.818 GHz ile kot dielektriğine sahip eşkenar üçgen yamadan alınmıştır.

Bu sonuçlara göre, 2.4 GHz frekansında en iyi performanslı anten keçe dielektrikli ve dikdörtken yama anten, 3 GHz frekansında en iyi performanslı anten kadife dielektrikli ve eşkenar üçgen yama anten ve 5.8 GHz frekansında ise en iyi performanslı anten keçe dielektrikli ve dikdörtgen anten olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak önerilen EYA yönteminin performans belirlemede başarılı bir yöntem olduğu ve söz konusu frekanslarda, kot, kadife, keçe gibi malzemelerin giyilebilir uygulamalarda kullanılabileceği belirlenmiştir.

5.2 Öneriler

Çalışmada elde edilen S_{11}, %BW, Z_A ve VSWR gibi elektriksel parametreler, bir antenin performansı hakkında yeterli olabilecek parametrelerdir. Fakat antenin kazancı, verimi, yönlendiriciliği ve ışıma deseni gibi parametreler bu çalışmada ele alınmamıştır. Sonraki çalışmalarda bu tür parametrelere de bakılabilir. Özellikle ışıma deseni yansımasız odada deneyleri yapılarak sonuçları alınabilir.

Çalışmada sadece üç tekstil ürünü ele alınmıştır. Naylon, yün ve keten içerikli kumaşlar sonraki çalışmalarda önerilen EYA yöntemi de kullanılarak uygulamaları yapılabilir ve anten performansları incelenebilir. Bunlara ek olarak bilindiği gibi genellikle kumaşların içerikleri örgü biçimi, yün ve naylon oranı gibi özellikleri ile birlikte dokunurlar. Bu sebeple özellikle dielektrik değerleri değişebilir. Bunu yapabilmek için uygulaması yapılacak kumaşın ölçümü bir dielektrik ölçer cihazla ölçülüp tasarımları gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada kot ve keçe kumaşlarının dielektrik değerleri doğru olduğu kabulü ile literatürden alınmıştır. Kadifenin dielektrik değeri ise HFSS ile yapılan bir uygulamada daha önce belirlenmişti.

Çalışmada üç temel anten olan ve literatürde yaygın olarak tasarımları yapılan dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen yamalar ele alınmıştır. Bununla birlikte bir antenin genellikle en önemli parametresi bant genişliği kabul edilir. Bu çalışmada ise bant

genişliği değerleri düşük bulunmuştur. Bant genişliğini arttırmanın yolu ise yama üzerinde pin, yarık gibi benzeri yöntemler kullanmaktır. Eşit yama yöntemini kullanmak adına bu yöntemler tasarımı yapılan yamalar üzerinde denenmemiştir. Sonraki çalışmalarda bu yöntemler kullanılarak antenlerin performansları arttırılabilir.

Çalışmalarda antenlerin üretiminden önce HFSS simülasyon programı kullanılarak oldukça fazla tasarımlar yapılmıştır. Fakat simülasyonlardan sağlıklı sonuçlar alınamamıştır. Bunun üzerine antenler teorik hesaplamaları yapılarak tasarlanmış ve uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlardan vazgeçme kabulü çalışma şekli ile alakalıdır. Bu durum en iyi antenin belirlenmesinde simülasyonların kullanılmaması anlamına gelmemelidir. Sonraki çalışmalarda simülasyonların kullanılması ve en iyi antenin bu yolla belirlenmesi daha iyi sonuçların alınmasına sebep olabilir.

KAYNAKLAR

Akalya, C., & Nandalal, V. (2017). On-Body Adhesive Microstrip Antenna for Wearable Application. *International Journal of Communications, 2*.

Bahl, I. J., & Bhartia, P. (1980). *Microstrip antennas*: Artech house.

Balanis, C. A. (1999). *Advanced engineering electromagnetics*: John Wiley & Sons.

Balanis, C. A. (2005). Antenna Theory, Hoboken. *New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 8*, 21-31.

Bhattacharyya, A., & Garg, R. (1985). Spectral domain analysis of wall admittances for circular and annular microstrip patches and the effect of surface waves. *IEEE transactions on antennas and propagation, 33*(10), 1067-1073.

Bhattacharyya, A., & Garg, R. (1986). Effect of substrate on the efficiency of an arbitrarily shaped microstrip patch antenna. *IEEE transactions on antennas and propagation, 34*(10), 1181-1188.

Carver, K., & Mink, J. (1981). Microstrip antenna technology. *IEEE transactions on antennas and propagation, 29*(1), 2-24.

Carver, K. R., & Coffey, E. L. (1979). *Theoretical Investigation of the Microstrip Antenna*. Retrieved from

Constantine Balanies, A. (1982). Antenna theory analysis and design. In: John Wiley & Sons Inc., New York.

Deschamps, G. A., & Sichak, W. (1953). *Microstrip microwave antennas.* Paper presented at the 3rd USAF Symposium on Antennas.

Deshpande, M., & Bailey, M. (1982). Input impedance of microstrip antennas. *IEEE transactions on antennas and propagation, 30*(4), 645-650.

Garg, R. (2001). *Microstrip antenna design handbook*: Artech house.

Gupta, K. C., Garg, R., & Chadha, R. (1981). Computer aided design of microwave circuits. *NASA STI/Recon Technical Report A, 82*.

Gutton, H., & Baissinot, G. (1955). Flat aerial for ultra high frequencies. *French patent, 703113*.

Harrington, R. F., & Harrington, J. L. (1996). *Field computation by moment methods*: Oxford University Press.

İmer, Z. (1989). Dokuma Tekniği II. *Ankara: Sistem Ofset Ltd. Şti*.

Isa, M., Azmi, A., Isa, A., Zain, M. M., Saat, M., Abu, M., & Ahmad, A. (2014). Wearable Textile Antenna on Electromagnetic Band Gap (EBG) for WLAN Applications. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC), 6*(2), 51-58.

Itoh, T. (1989). *Numerical techniques for microwave and millimeter-wave passive structures*: Wiley-Interscience.

James, J., & Hall, P. (1989). Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus Ltd. *London) on behalf of the IEE, 1*.

James, J. R. (1989). *Handbook of microstrip antennas*: IET.

Jegan, G., Juliet, A. V., & Silvia, M. (2016). Design of Circularly Polarised Frequency Reconfigurable Wearable Microstrip Patch Antenna for Wireless Applications. *RESEARCH JOURNAL OF PHARMACEUTICAL BIOLOGICAL AND CHEMICAL SCIENCES, 7*(6), 1872-1877.

Joshi, J., Pattnaik, S. S., & Devi, S. (2013). Geo-textile based metamaterial loaded wearable microstrip patch antenna. *International Journal of Microwave and Optical Technology, 8*(1), 25-33.

Kannan, P. M., & Palanisamy, V. (2012). Dual band rectangular patch wearable antenna on jeans material. *International Journal of Engineering and Technology, 3*(6), 442-446.

Kumar, G., & Gupta, K. (1984). Broad-band microstrip antennas using additional resonators gap-coupled to the radiating edges. *IEEE transactions on antennas and propagation, 32*(12), 1375-1379.

Kunz, K. S., & Luebbers, R. J. (1993). *The finite difference time domain method for electromagnetics*: CRC press.

Lim, E. G., Wang, Z., Leach, M., Zhou, R., Man, K. L., & Zhang, N. (2014). *Compact size of textile wearable antenna.* Paper presented at the Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists.

Lim, E. G., Wang, Z., Wang, J. C., Leach, M., Zhou, R., Lei, C.-U., & Man, K. L. (2014). Wearable Textile Substrate Patch Antennas. *Engineering Letters, 22*(2).

Lo, Y., & Richards, W. (1981). Perturbation approach to design of circularly polarised microstrip antennas. *Electronics Letters, 17*, 383-385.

Lo, Y., Solomon, D., & Richards, W. (1979). Theory and experiment on microstrip antennas. *IEEE transactions on antennas and propagation, 27*(2), 137-145.

Mak, C.-L., Wong, H., & Luk, K.-M. (2005). High-gain and wide-band single-layer patch antenna for wireless communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 54*(1), 33-40.

Malkomes, M. (1982). Mutual coupling between microstrip patch antennas. *Electronics Letters, 18*(12), 520-522.

Meriç, B. (1988). Teknolojik Gelişme Sürecinde Fonksiyonel-Estetik İlişki Açısından Dokuma Kumaşların Tasarımı. *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 27-75* s.

Mosig, J. R. (1988). Arbitrarily shaped microstrip structures and their analysis with a mixed potential integral equation. *IEEE Transactions on Microwave theory and Techniques, 36*(2), 314-323.

Mosig, J. R., & Gardiol, F. E. (1982). A dynamical radiation model for microstrip structures. *Advances in electronics and electron physics, 59*, 139-237.

Okoshi, T. (1986). Planar circuits for microwaves and lightwaves. *Applied Optics, 25*, 164.

Özden, M. (1989). Dokuma Kumaşlarının Kullanım Amacına Uygun Tasarımında Kullanılacak Bir Bilgisayar Program Paketinin Geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi (Development of a Computer Package Program for the Design of Woven Fabrics According to Purpose of use, M. Sc. Thesis), Ege Üniversitesi, İzmir*.

Özen, B., Dilek, U., Rabia, T., & Seyfettin S, G. (2017). Elliptic Microstrip Antenna Design on Woolen Felt Material for Detection of Cardio-Vessel Occlusion. *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'17)*.

Özen, B., Dilek, U., & Seyfettin S, G. (2017). Usage of T-Resonator Method at Determination of Dielectric Constant of Fabric Materials for Wearable Antenna Designs. *International Congress On Semiconductor Materials And Devices ICSMD*.

Penard, E., & Daniel, J.-P. (1982). Mutual coupling between microstrip antennas. *Electronics Letters, 18*(14), 605-607.

Pozar, D. (1987). Radiation and scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate. *IEEE transactions on antennas and propagation, 35*(6), 613-621.

Pozar, D. M. (1992). Microstrip antennas. *Proceedings of the IEEE, 80*(1), 79-91.

Pozar, D. M., & Schaubert, D. H. (1995). *Microstrip antennas: the analysis and design of microstrip antennas and arrays*: John Wiley & Sons.

Rahim, H., Malek, F., Adam, I., Ahmad, S., Hashim, N., & Hall, P. (2012). *Design and simulation of a wearable textile monopole antenna for body centric wireless communications.* Paper presented at the PIERS Proceedings.

Sankaralingam, S., Dhar, S., Gupta, B., Osman, L., Zeouga, K., & Gharsallah, A. (2013). Performance of Electro-Textile Wearable Circular Patch Antennas in the Vicinity of Human Body at 2.45 GHz. *Procedia Engineering, 64*, 179-184.

Sevilay, S. (2005). Endüstriyel Olarak Üretilmekte Olan Çeşitli Atkı Fitilli Kadife Kumaş Özellikleri Üzerine Bir İnceleme. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Adana*.

Shen, L., Long, S., Allerding, M., & Walton, M. (1977). Resonant frequency of a circular disc, printed-circuit antenna. *IEEE transactions on antennas and propagation, 25*(4), 595-596.

Shlager, K. L., & Schneider, J. B. (1995). A selective survey of the finite-difference time-domain literature. *IEEE Antennas and Propagation Magazine, 37*(4), 39-57.

Singh, N., Singh, A. K., & Singh, V. K. (2015). Design and performance of wearable ultrawide band textile antenna for medical applications. *Microwave and optical technology Letters, 57*(7), 1553-1557.

Sultan, N. (2015). Reflective thoughts on the potential and challenges of wearable technology for healthcare provision and medical education. *International Journal of Information Management, 35*(5), 521-526.

Survase, S. C., & Deshmukh, V. V. (2013). Simulation and Design of Wearable Antenna for Telemedicine Application. *Simulation, 2*(5).

Tavlove, A., & Hagness, S. C. (1995). Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method Artech House. *Norwood, MA*.

Teng, X.-F., Zhang, Y.-T., Poon, C. C., & Bonato, P. (2008). Wearable medical systems for p-health. *IEEE reviews in Biomedical engineering, 1*, 62-74.

Wnuk, M., Bugaj, M., Przesmycki, R., Nowosielski, L., & Piwowarczyk, K. (2012). *Wearable antenna constructed in microstrip technology*. Paper presented at the PIERS Proceedings.

Yakartepe, M., & Yakartepe, Z. (1995). *Tekstil teknolojisi: elyaf'tan kumaş'a*: TKAM.

Yee, K. (1966). Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE transactions on antennas and propagation, 14*(3), 302-307.

Yilmaz, E., Kasilingam, D. P., & Notaros, B. M. (2008). *Performance analysis of wearable microstrip antennas with low-conductivity materials.* Paper presented at the Antennas and Propagation Society International Symposium, 2008. AP-S 2008. IEEE.

Zhang, S., Whittow, W., Seager, R., Chauraya, A., & Vardaxoglou, J. Y. C. (2017). Non-uniform mesh for embroidered microstrip antennas. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*.

EKLER

EK-1

Kot,kadife ve keçe dielektrik tabanlı dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen antenlerin hesaplanması

Çizelge Ek-1a. Kot dielektrik tabanlı dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen antenlerin hesaplanması

Er	H	Pi	C
1.55	0.078	3.141592654	3E+10

fr	A	aeff	S	seff
2400000000	2.94671014	3.0390640161	7.9371034	7.9997545
3000000000	2.35189485	2.4404184104	6.3349402	6.3975913
5800000000	1.20327089	1.2032709215	3.2410671	3.3037183

W(2.4)	5.53509303
W(3)	4.42807443
W(5.8)	2.29038332

L(2.4)	4.92833
L(3)	3.9243774
L(5.8)	1.985951

Dikdörtgen İçin	
Eeff(2.4)	1.52933512
Eeff(3)	1.52485771
Eeff(5.8)	1.50670147

Üçgen İçin	
Eeff(2.4)	1.4050457
Eeff(3)	1.4033449
Eeff(5.8)	1.5172373

Dikdörtgen	Daire	Üçgen	Fark Daire	Fark Üçgen
2.4	2.32346778	2.109153149	0.0765322	0.2908469
3	2.89342488	2.638950779	0.1065751	0.3610492
5.8	5.86831046	5.110280986	0.0683105	0.689719

Srf	2.4	27.27877
	3	17.37744
	5.8	4.548589

Scf	2.4	27.27877
	3	17.37744
	5.8	4.548589

Stf	2.4	27.27877
	3	17.37744
	5.8	4.548589

Çizelge Ek-1b. Kadife dielektrik tabanlı dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen antenlerin hesaplanması

Er	h	Pi	C
2	0.093	3.141592654	3E+10

Srf	2.4	**22.03794**
	3	14.02231
	5.8	3.649867

fr	a	aeff	S	seff
2400000000	2.64856478	2.7298121393	7.1340347	7.1997956
3000000000	2.11268511	2.1904031824	5.6906174	5.7563784
5800000000	1.07786305	1.0778630733	2.9032752	2.9690361

Scf	2.4	**22.03794**
	3	14.02231
	5.8	3.649867

W(2.4)	5.10310363
W(3)	4.0824829
W(5.8)	2.11162909

L(2.4)	4.3185374
L(3)	3.4347493
L(5.8)	1.7284603

Stf	2.4	**22.03794**
	3	14.02231
	5.8	3.649867

Dikdörtgen İçin	
Eeff(2.4)	1.95292188
Eeff(3)	1.94309197
Eeff(5.8)	1.90442409

Üçgen İçin	
Eeff(2.4)	1.7324769
Eeff(3)	1.7285883
Eeff(5.8)	1.9249523

Dikdörtgen	Daire	Üçgen	Fark Daire	Fark Üçgen
2.4	2.27716549	2.110455042	0.1228345	0.289545
3	2.83794055	2.642620964	0.1620595	0.357379
5.8	5.76718338	5.123523464	0.0328166	0.6764765

Çizelge Ek-1c. Keçe dielektrik tabanlı dikdörtgen, daire ve eşkenar üçgen antenlerin hesaplanması

Er	h	Pi	C
1.45	0.33	3.141592654	3E+10

fr	a	aeff	S	seff
2400000000	2.93652354	3.2402905982	7.9096653	8.1837154
3000000000	2.32563727	2.6107437854	6.2642142	6.5382642
5800000000	1.14615937	1.1461593734	3.0872345	3.3612846

W(2.4)	5.64692439
W(3)	4.51753951
W(5.8)	2.33665837

L(2.4)	4.7973883
L(3)	3.7612471
L(5.8)	1.7662195

Srf	2.4	27.09049
	3	16.99158
	5.8	4.127051

Scf	2.4	27.09049
	3	16.99158
	5.8	4.127051

Stf	2.4	27.09049
	3	16.99158
	5.8	4.127051

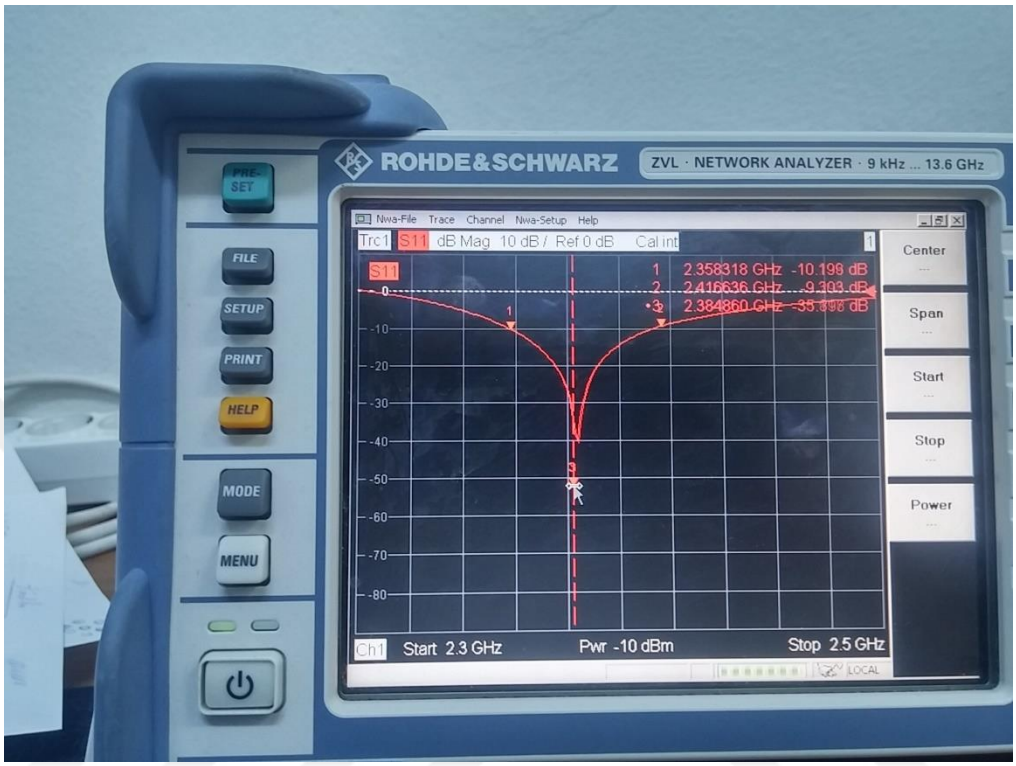
Dikdörtgen İçin	
Eeff(2.4)	1.39750287
Eeff(3)	1.38924743
Eeff(5.8)	1.36206452

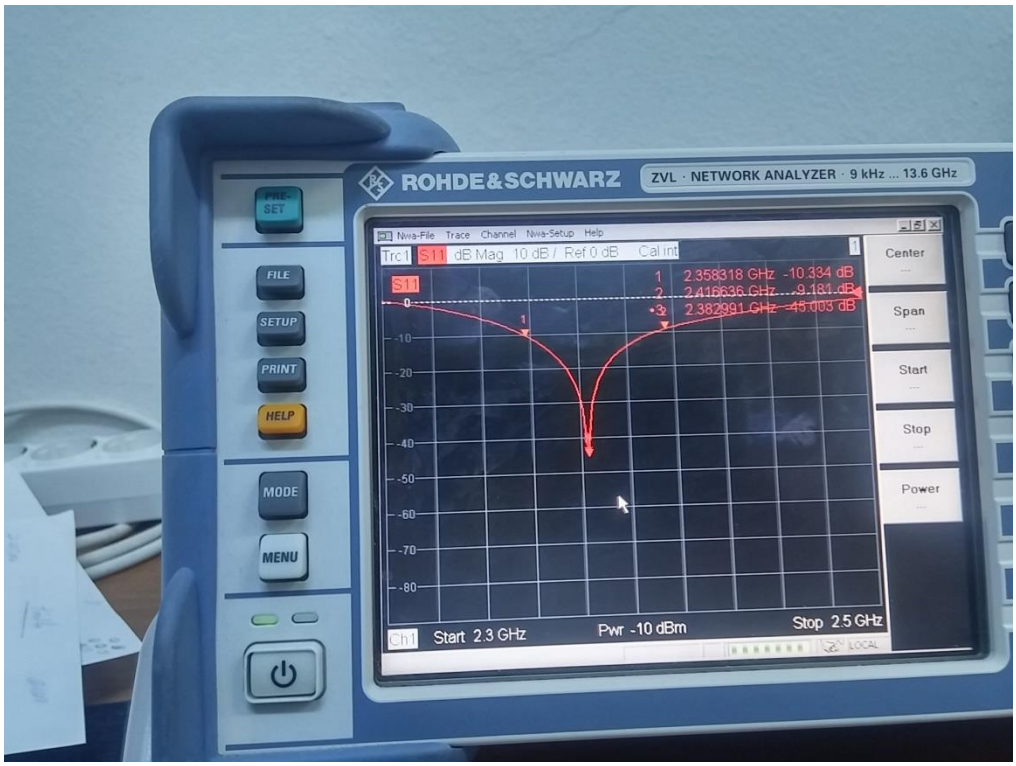
Üçgen İçin	
Eeff(2.4)	1.3168359
Eeff(3)	1.3130584
Eeff(5.8)	1.3739217

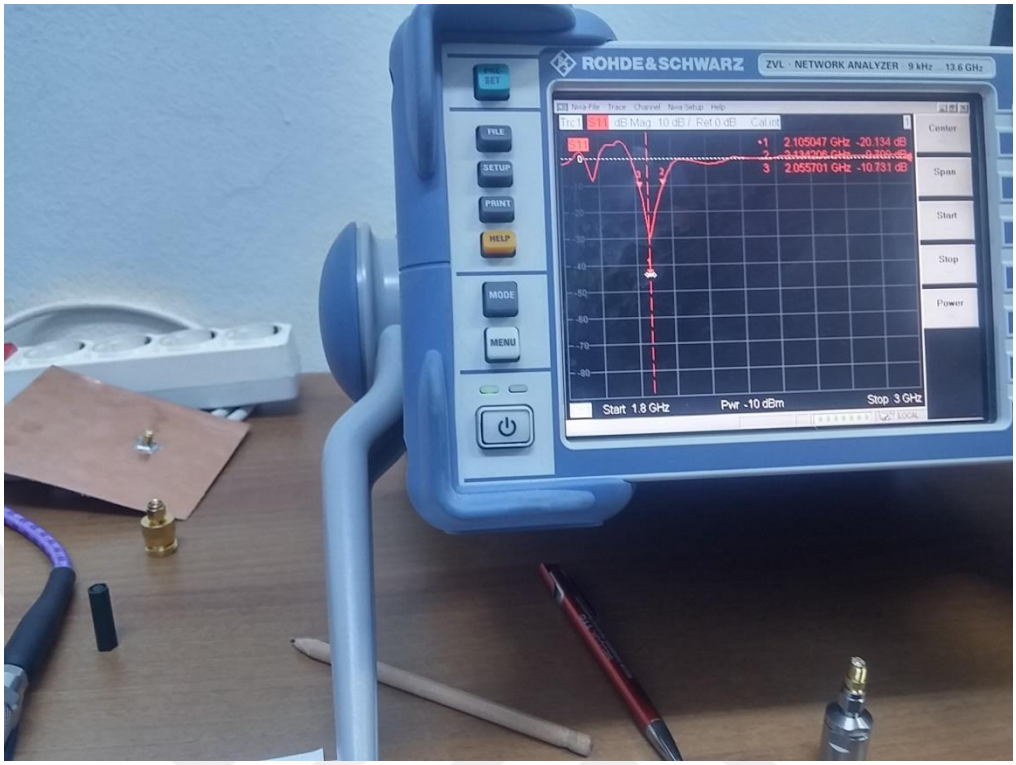
Dikdörtgen	Daire	Üçgen	Fark Daire	Fark Üçgen
2.4	2.25306847	2.129676584	0.1469315	0.2703234
3	2.79636655	2.669472822	0.2036334	0.3305272
5.8	6.36961732	5.192573856	0.5696173	0.6074261

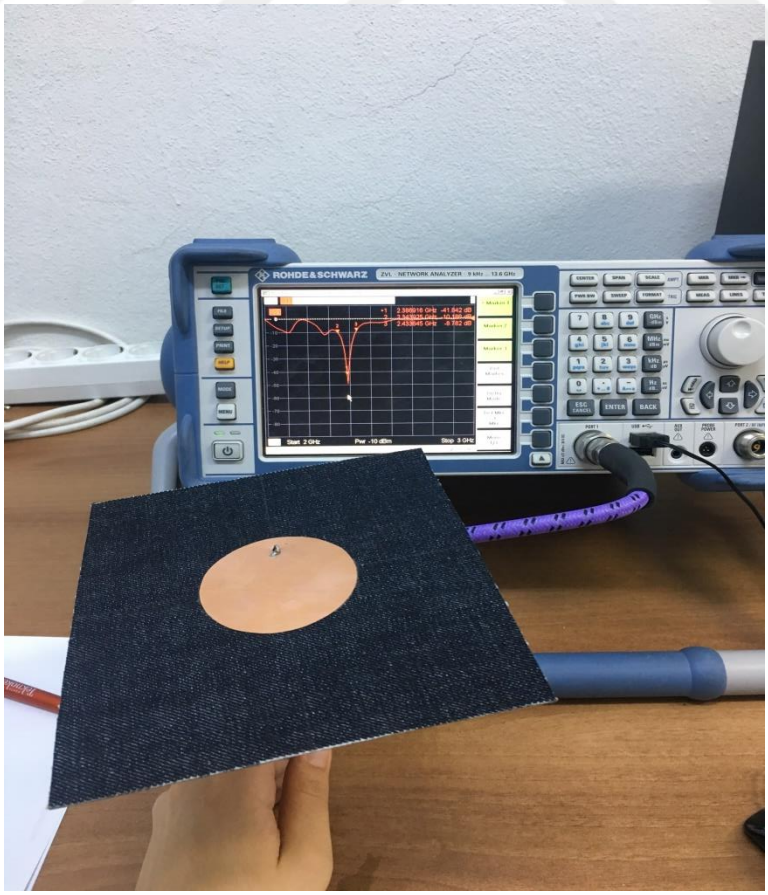
EK-2
Deneysel çalışma VNA görüntüleri

2.4 GHz ile çalışılan antenlerin S_{11} ve BW örnek görüntüleri

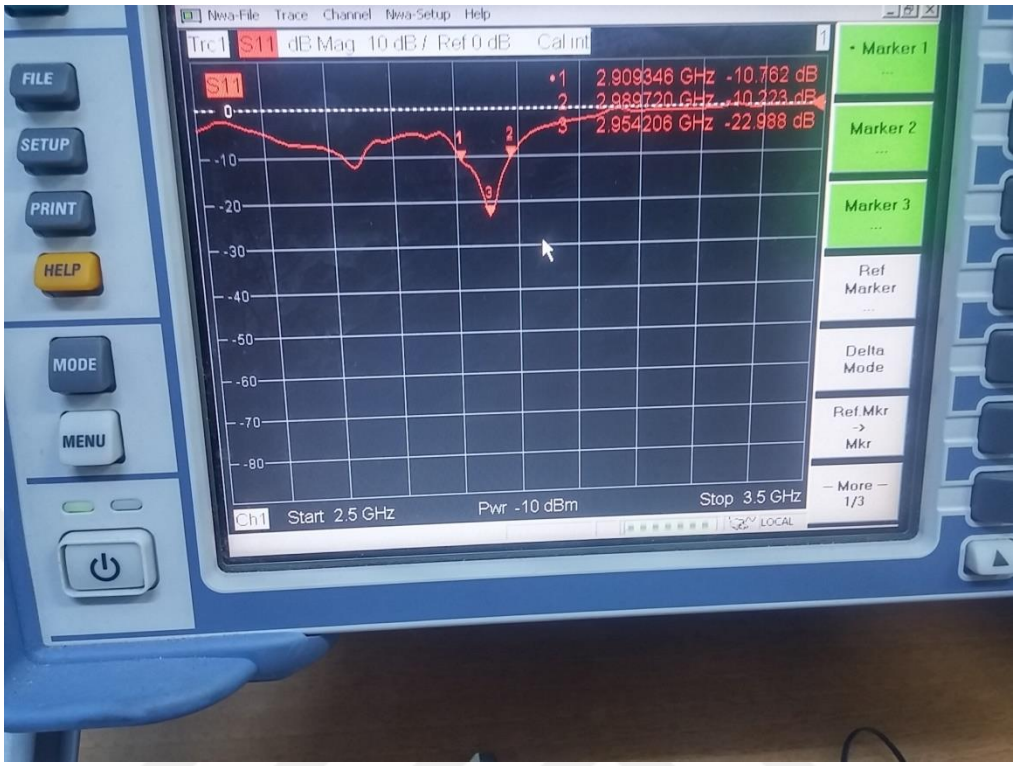




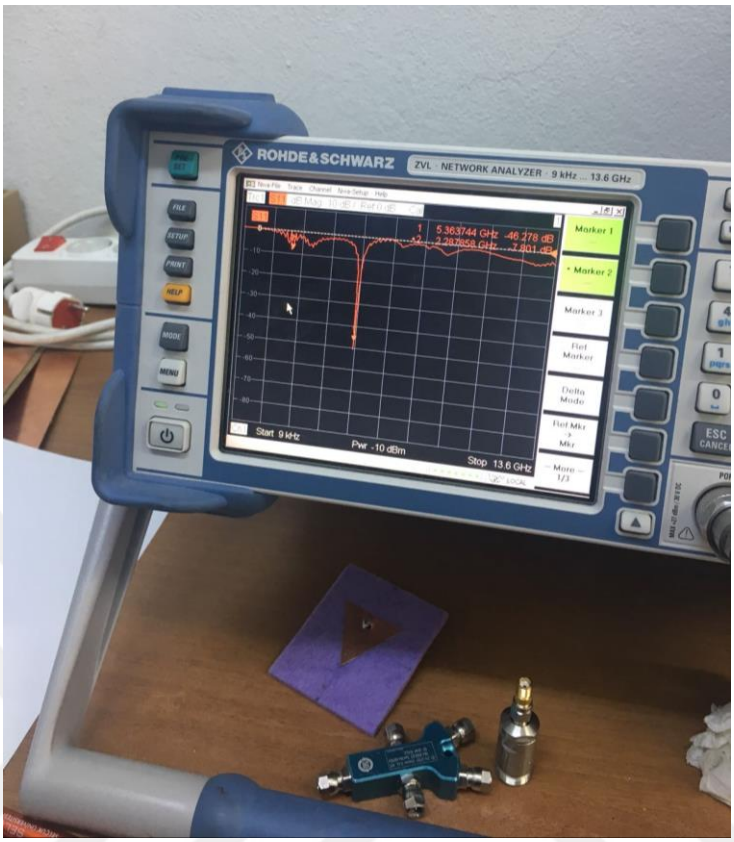

ROHDE&SCHWARZ
ZVL NETWORK ANALYZER 9 kHz 13.6 GHz
FILE
SETUP
PRINT
HELP
MODE
MENU
Center
Span
Start
Stop
Power
Start 1.8 GHz
Pwr -10 dBm
Stop 3 GHz

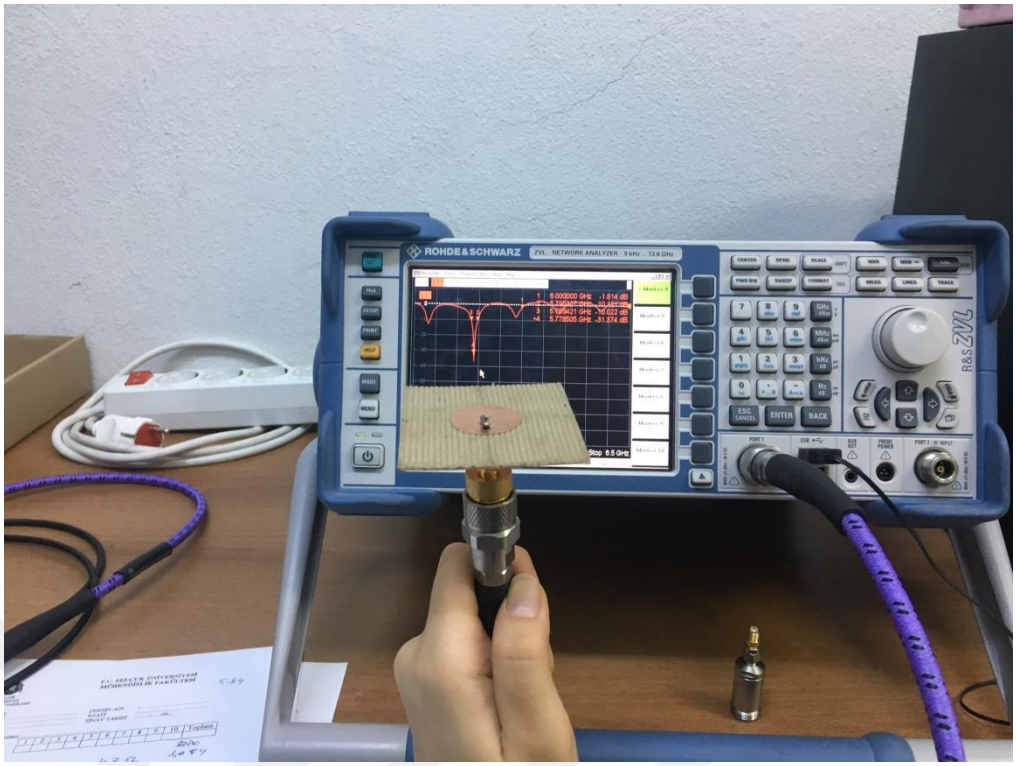

ROHDE&SCHWARZ

3 GHz ile çalışılan antenlerin S_{11} ve BW örnek görüntüleri



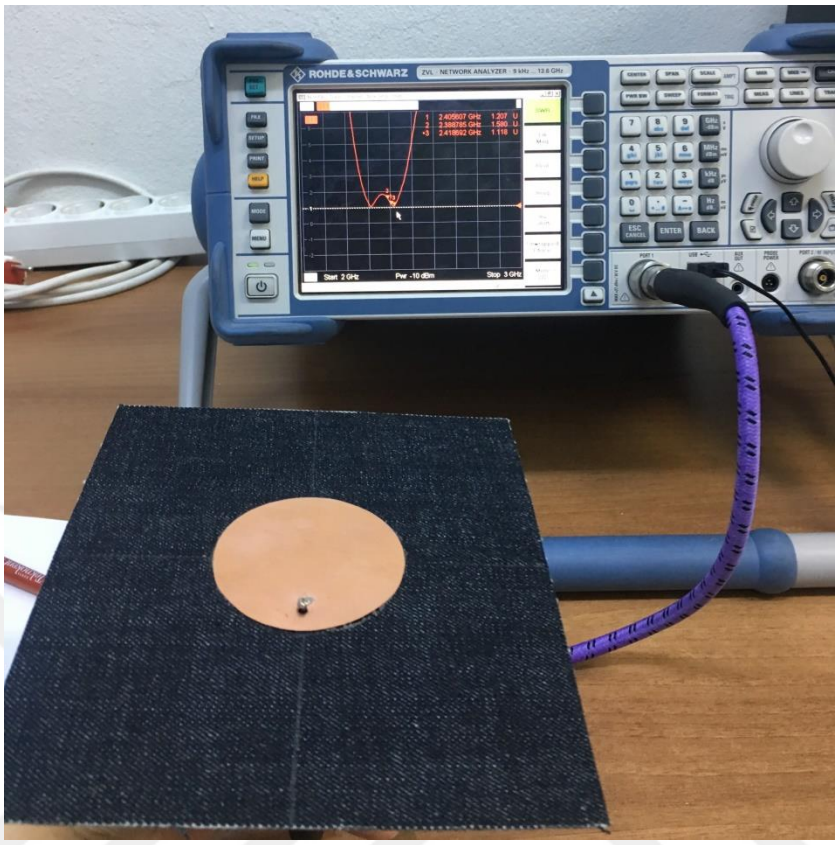
5.8 GHz ile çalışılan antenlerin S_{11} ve BW VNA örnek görüntüleri



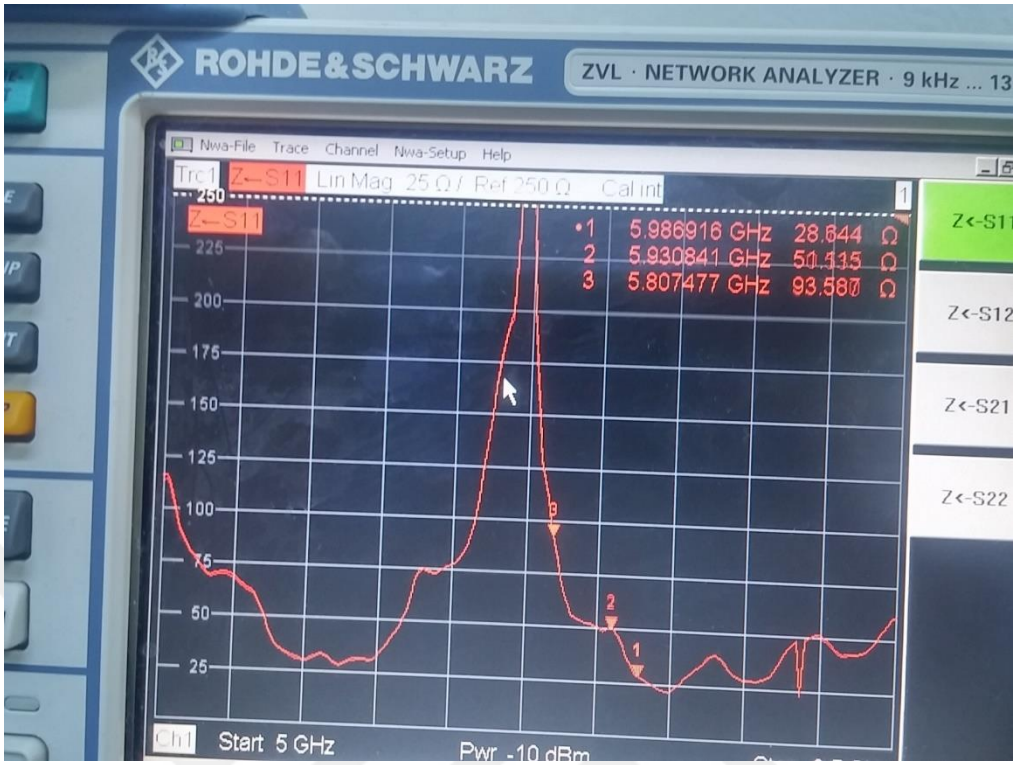

ROHDE&SCHWARZ
ZVL · NETWORK ANALYZER · 9 kHz ... 13.6 GHz
R&S ZVL
ENTER
BACK

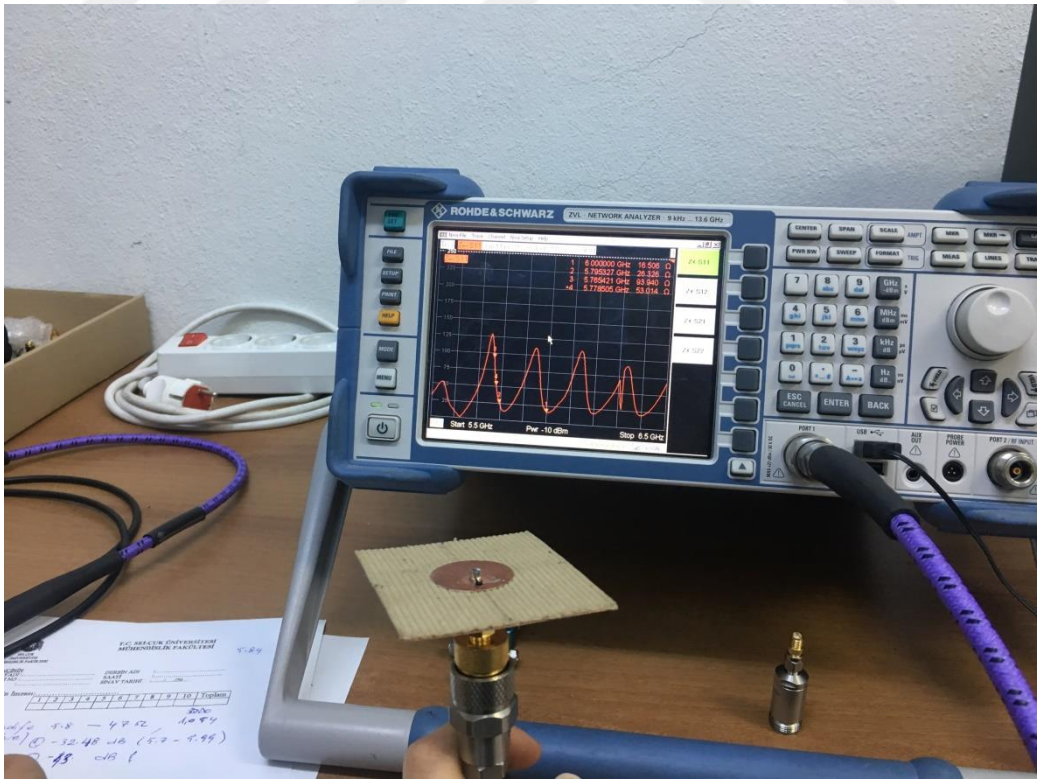
ROHDE&SCHWARZ
ZVL · NETWORK ANALYZER · 9 kHz ... 13.6 GHz
FILE
SETUP
PRINT
HELP
MODE
MENU
Trc1 S11 dB Mag 10 dB / Ref 0 dB Cal int
•1 5.818692 GHz -33.648 dB
2 5.765421 GHz -8.083 dB
3 5.841121 GHz -11.397 dB
Marker 1
Marker 2
Marker 3
Ref Marker
Delta Mode
Ref Mkr -> Mkr
More 1/3
Ch1 Start 5 GHz
Pwr -10 dBm
Stop 6.5 GHz

Antenlerin VSWR oranı ölçümü örnekleri

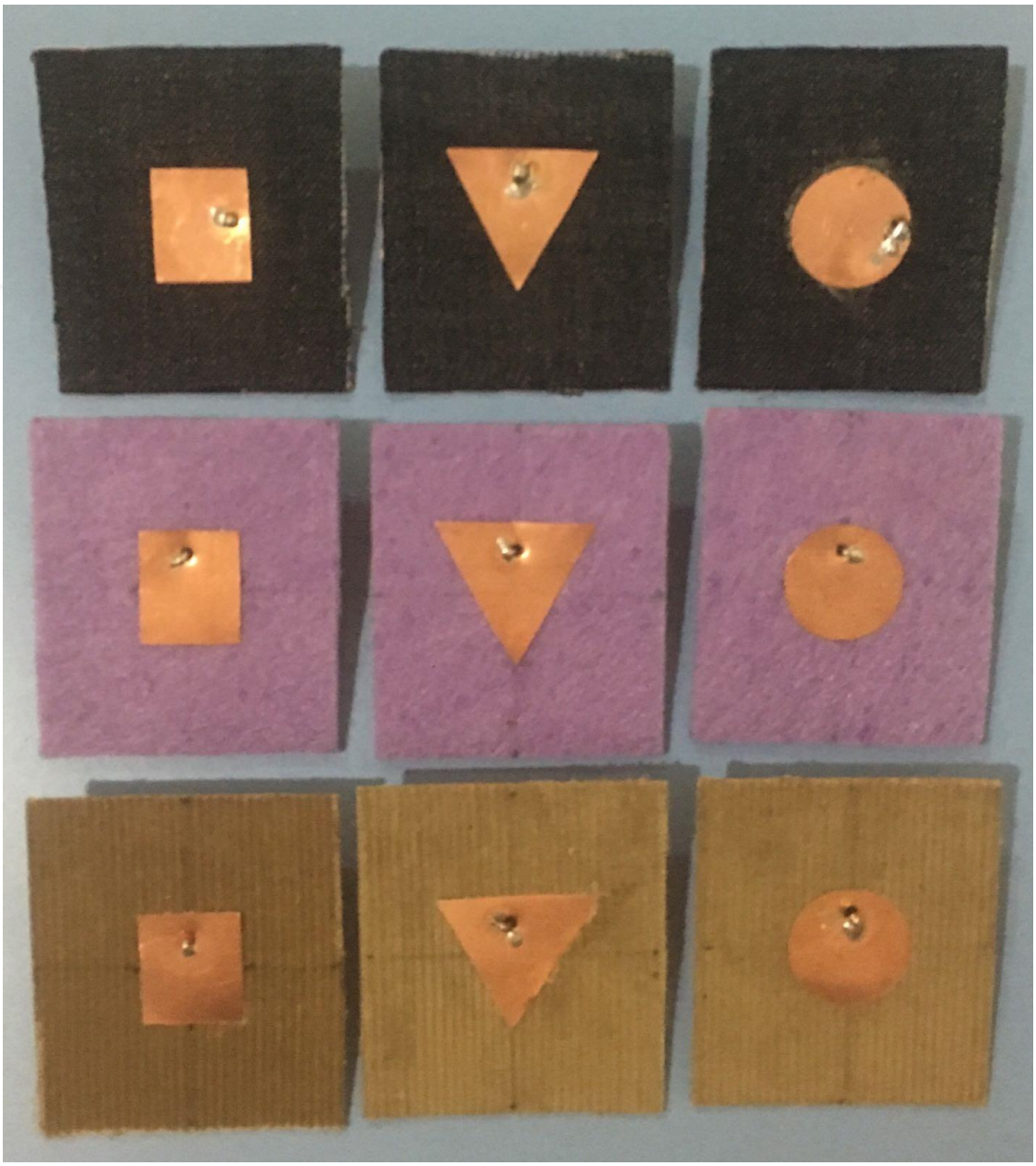


Antenlerin Z_A ölçümü örnekleri





Kot, Kadife ve Keçe Anten Örnekleri



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Ozen Husham Mustafa ALBAIRAQDAR
Uyruğu	**:**	IRAK
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kerkük 28.09.1990
Telefon	**:**	5362093609
Faks	**:**	
e-mail	**:**	ozen_bayraktar@yahoo.com.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Barış Kız Lisesi	2009
Üniversite	:	Kerkük Teknik Üniversitesi Elektronik and Kontrol Bölüm	2013
Yüksek Lisans	:	Selçuk Ünv. FBE Elk.Elt. Müh. ABD	Devam
Doktora	:		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2016	EEM Mühendislik Konsan Sanayi Konya, (1 yıl)	Mühendis

UZMANLIK ALANI

Telekomünikasyon, Elektromanyetik, Antenler

YABANCI DİLLER

İngilizce	Okuma: Çok iyi, Yazma: iyi, Konuşma: İyi
Türkçe	Okuma: Çok İyi, Yazma: Çok İyi, Konuşma: Çok iyi
Arapça	Okuma: Çok İyi, Yazma: Çok İyi, Konuşma: Çok iyi

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

HFSS, SPSS, MATLAB, CAD CAM, Proteus Eagale, Autocad,

SERTİFİKALAR

Diksiyon, Etkin iletişim, İşaret Dili, Hızlı okuma

IEEE'nin düzenlediği "stuff you didn't learn in engineering college" üzerine 3 aylık bir kursun ardından sertifika.

"International Academy of Personal Training and Leadership Development"nin düzenlediği "personal strategic planning" üzerine 3 aylık bir kursun ardından sertifika.

YAYINLAR

Özen Bayraktar, Dilek Uzer, Seyfettin Sinan Gültekin, “Usage of T-Resonator Method at Determination of Dielectric Constant of Fabric Materials for Wearable Antenna Designs”, International Congress On Semiconductor Materials And Devices, ICSMD-2017.

Özen Bayraktar, Rabia Top, Dilek Uzer, S. Sinan Gültekin, ¨Elliptic Microstrip Antenna Design on Woolen Felt Material for Detection of Cardio-Vessel Occlusion”, International Conference on Engineering Technologies (ICENTE’17), Dec 07-09, 2017, Konya, Turkey