

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

**UMTS VE WMTS BANTLARINDA ÇALIŞAN ÇİFT BANT
İMLANT EDİLEBİLİR ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ**

LİSANS TEZİ

Egehan SAYAN

Bölümü: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Bahattin TÜRETKEN

KOCAELİ, 2020

ÖNSÖZ

Başta bu tez çalışmasında tüm tecrübesi ve bilgisini bana aktararak danışmanlığını yapan, çalışmalarımı yönlendiren sayın Prof. Dr. Bahattin TÜRETKEN olmak üzere, bölümde geçirdiğim yıllarda üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma, beni bu günlere getiren ve hayatım boyunca her daim destekleyen aileme ve tez sürecinde çokça yardımları geçen arkadaşlarım Eren GÜVEN ve Aytekin ZEYBEK başta olmak üzere tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Haziran 2020

Egehan SAYAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER TABLOSU.....	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. ANTEN NEDİR?	2
1.1 Antenlerin Tarihsel Gelişimleri.....	2
2. ANTEN ÇEŞİTLERİ	4
2.1 Tel Antenler.....	4
2.2 Horn Antenler.....	4
2.1 Dizi antenler	5
2.2 Yansıtıcı antenler.....	6
2.5 Mikroşerit Antenler	7
2.5.1 Sekil ve Boyut Özellikleri	9
2.5.2 Empedans uyumu	10
2.5.3 Besleme Yöntemleri.....	10
2.5.4 Mikroşerit Besleme	10
2.5.5 Koaksiyel besleme.....	11
2.5.6 Açıklık Kuplajlı Besleme	11
2.5.8 Analiz Yöntemleri	12
3. ANTEN PARAMETRELERİ	14
3.1 Işıma Diyagramı.....	14
3.2 Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR).....	14
3.3 Geri Dönüş Kaybı (RL).....	15
3.4 Bant Genişliği.....	15
3.5 Demet Genişliği.....	15
3.6 Yönlülük.....	16
3.7 Güç Kazancı	16
3.8 Işıma Verimi.....	16
3.9 Polarizasyon	17

3.9.1 Doğrusal Kutuplanma	17
3.9.2 Eliptik Kutuplanma	17
3.10 Anten Etkin Yüzeyi	18
3.11 Yakın Alan ve Uzak Alan	19
3.12 Anten Giriş Empedansı	19
4. İmplant Edilebilir Antenler	21
5. WMTS(Kablosuz Tıbbi Telemetry Sistemi) Bandı	22
6. UMTS (Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi) Bandı	23
7. UMTS VE WMTS BANTLARINDA ÇALIŞAN ÇİFT BANT İMPLANT EDİLEBİLİR ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ	24
7.1 Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio 2019 Nedir?.....	24
7.2 Anten Tasarımı.....	25
7.3 Simülasyon	27
7.4 Simülasyon Sonuçları.....	28
SONUÇ VE ÖNERİLER	31
REFERANSLAR	32

KISALTMALAR

WMTS: Kablosuz Tıbbi Telemetry Sistemi

UMTS : Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi

SAR: Özgöl Soğurma Oranı

EKG : Eko Kardiyografi Cihazı

MMI: Entegre Mikrodalga Devreler

TLM: İletim Hattı Modeli

TMM3: Termoset Mikrodalga Laminatı Modeli

VSWR: Gerilim Duran Dalga Oranı

RL : Geri dönüş kaybı

BW: Bant genişliği

3GPP: 3. Nesil Mobil İletişim Ortaklığı Projesi (

TDD: Zaman Bölmeli Duplex

FDD: Frekans Bölmeli Duplex

CST: Computer Simulation Technology

MWS: Microwave Studio

PDE: Kısmi Türevli Diferansiyel

GUI: Grafiksel Kullanıcı Arayüzü

RF: Radyo Frekans

TSO: Test Sıvısı Modeli Olmayan

MMIC: Monolitik Mikrodalga Entegre Devre

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1 - Tel Anten Örnekleri	4
Şekil 2 - Horn Anten Tipleri	5
Şekil 3 - Örnek Bir Dizi Anten.....	6
Şekil 4 - Yansıtıcı Anten Tipleri	6
Şekil 5 - Dikdörtgen Yama Anten.....	8
Şekil 6 - Işıyan Yama Anten	8
Şekil 7 - Çesitli Mikroşerit Anten Şekilleri.....	9
Şekil 8 - Bağlantılı Besleme Yöntemleri: a) Mikroşerit Besleme b)Koaksiyel Besleme	11
Şekil 9 - Bağlantısız Besleme Yöntemleri: a) Açıklık Kuplajlı Besleme b) Yakınlık Kuplajlı Besleme	12
Şekil 10 - İmplant Edilebilir Antenlerin İletişimi	21
Şekil 11 - Bir Hastanede Hastaların WMTS İle Kontrol Edilebilecekleri Örnek Alanlar	22
Şekil 12 - UMTS Uyumlu Log Periyodik Antenli Baz İstasyonu.....	23
Şekil 13 - Rogers TMM3 Laminat	25
Şekil 14 - Antenin Toprak Tarafı Boyutları Şekil 15 - Yama Anten Boyutları	26
Şekil 16 - Kısa Devre Pini.....	26
Şekil 17 - Mikroşerit Besleme Şekil 18 - Port Bağlantısı.....	27
Şekil 19 - Test Sıvısı Modeli İçerisinde	28
Şekil 20 - Antenin Geri Dönüş Kaybını Gösteren S-Parametresi Grafiği.....	28
Şekil 21 – 2.1GHz Uzak Alan Grafiği (Theta=90)	29
Şekil 22 – 2.1 GHz Uzak Alan Grafiği (Phi=0)	29
Şekil 23 - 1.43GHz Uzak Alan Grafiği (Theta=90)	30
Şekil 24 - 1.4GHzUzak Alan Grafiği (Phi=0).....	30
Şekil 25 - 1.4GHz için 3B Işıma Durumu	30
Şekil 26 - 2.1GHz için 3B Işıma Durumu	30

SEMBOL LİSTESİ

GHz :GigaHertz

MHz: MegaHertz

ϵ : Dielektrik Katsayısı

W: Watt

dB: Desibel

mm: Milimetre

BW: Bant Genişliği

Q: Yüksek kalite faktörü

V_{max} : En Yüksek gerilim değeri

V_{min} : en düşük gerilim değeri

Γ : anten yansıma katsayısı

λ : Dalga Boyu

f_{max} : Maksimum frekans

f_{min} : Minimum frekans

$K(\theta, \phi)$: Işıma yoğunluğu,

K_{ort} : Ortalama ışıma yoğunluğu,

P_r : Toplam ışıyan güç

$p(\theta, \phi)$: Işıma güç yoğunluğu

P_d : Alınan toplam ışıma gücü

P_r : Toplam ışıyan güç

e_0 : Anten verimi

e_r : Yansıma verimi

e_c : İletim verimi

e_d : Dielektrik materyalin verimi

E_x : Elektrik Alan (X doğrultusunda)

E_y : Elektrik Alan (Y doğrultusunda)

$a_{x,y}$: Birim vektörler

P_t : Antenden yayılan Toplam güç

R: Mesafe

π : Pi sayısı

A_e : Etkin açıklık yüzeyi [m^2]

e_A : Açıklık verimi

Kg: Kilogram

Mbps : Megabit/saniye

S/m : İletkenlik Katsayısı

ÖZET

Bu tez çalışmasında, biyotelemetri sistemlerinde uygulanmak üzere yeni bir çift bant implant anten tasarımı amaçlanmaktadır. Tasarlanan anten insan derisinin dielektrik ve iletkenlik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Anten, çalışma frekansları uluslararası kuruluşlarca sınırları belirlenmiş olan Kablosuz Tıbbi Telemetry Sistemi (WMTS)(1.427-1.430 GHz) ve Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS) (2.1 GHz) bantlarında çift bantlı olarak çalışmaktadır. 14x17x0.466mm boyutlarında olan antenin geri dönüş kayıpları WMTS bandı için -17.8 dB, UMTS bandı için -33.5 dB değerlerindedir.

Anten tasarımının sayısal analizi, simülasyonu ve tasarımı CST Microwave Studio programında yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İmplant Anten, Çift-Bant Anten, Biyotelemetri, WMTS, UMTS

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design of a new dual-band implantable antenna involving Wireless Medical Telemetry System (WMTS)(1.427-1.430 GHz) and The Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)(2.1 GHz) bands. The purpose of designing implantable antennas is to obtain physiological information about to person. Human skin features were taken into account in the design stage of this antenna. The return losses of the antenna, which is 14x17x0.466mm, are -17.8 dB for WMTS band and -33.5 dB for UMTS band.

Key Words: Implantable Antenna, Dual-Band Antenna, Biotelemetry, WMTS, UMTS

GİRİŞ

Son yıllarda ortaya çıkan tıbbi cihaz teknolojisindeki gelişmeler, biyotelemetri sistemlerini de etkilemiş ve tıbbi cihazların bu alandaki kullanımını artırmıştır. Biyotelemetri sistemler, vücudun hayati değerlerinin uzaktan takibinin yapılmasına yardımcı olarak tıp doktorları ve personeline hastalık teşhis ve müdahalesinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Şimdilerde biyotelemetri uygulamalarında EKG, EEG, kan basıncı ölçümü, kan şekeri ölçümü ve vücut sıcaklığı gibi birçok değerin uzaktan da ölçülebilmesi gerekmektedir. Uygulama alanı bu kadar çeşitliliğe giderken, aynı zamanda medikal cihazların da tasarımları yeni ihtiyaçlar yönünde değişmektedir. Tıbbi cihazların son dönemlerde hastaya dokunmadan veya operasyona ihtiyaç duymadan kullanılabilmesi üzerine olan yönelimler biyotelemetri sistemlerinin önünü açmaktadır. Biyotelemetri sistemleri çoğunlukla sensör, anten, mikrodenetleyici ve güç kaynağı içermektedir

Biyotelemetri sistemlerinin en mühim bileşenlerinden olan antenler verilerin kablosuz bir şekilde iletilmesi ve ilgili sistemin minyatüre edilmesinde hayati rol oynamaktadır. Bu doğrultuda küçük boyutu, düşük kayıp oranı, düşük maliyetli ve üretiminin kolay olması sebebiyle mikroşerit antenler implant edilebilir sistemlerde tercih edilmektedir. Medikal amaçlar için kullanılan antenler için yapılan tasarımlar genel olarak 3'e ayrılır. Bunlar; implant edilebilir, giyilebilir ve yutulabilir antenlerdir.

Ayrıca biyotelemetri uygulamalarında kullanılacak olan implant antenlerin bahsi geçen özelliklere ek olarak düşük güç tüketme ve düşük özgül soğurma oranı(SAR)'a sahip olması da beklenmektedir. Buna ek olarak kullanılacak olan implant antenlerin yetkili kurumlarca belirlenmiş medikal iletişim bantlarında çalışacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, biyotelemetri sistemlerinde uygulanmak üzere yeni bir çift bant implant anten tasarımı amaçlanmaktadır. Tasarlanan anten insan derisinin dielektrik ve iletkenlik özellikleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Anten, çalışma frekansları uluslararası kuruluşlarca sınırları belirlenmiş olan Kablosuz Tıbbi Telemetry Sistemi (WMTS)(1.427-1.430 GHz) ve Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (UMTS) (2.1 GHz) bantlarında çift bantlı olarak çalışmaktadır. 14x17x0.466mm boyutlarında olan antenin geri dönüş kayıpları WMTS bandı için -17.8 dB, UMTS bandı için -33.5 dB değerlerindedir.

1. ANTEN NEDİR?

Elektromanyetik dalgaların yayılması veya yakalanması amacıyla kullanılan elektronik devre elemanına anten denir. Elektronik cihazların sahip olduğu veya ürettiği sinyalleri, başka cihazlara ulaştırmak ya da başka cihazlardan yayılan sinyalleri algılayıp almak için gereksinim duyulur. Alıcı, verici, hem alıcı hem verici olarak kullanılabilirler. Alıcı ve verici antenler çalışma prensipleri açısından birbirlerinin tam tersi olmalarına rağmen temel yapılarına bakılarak birlikte incelenebilirler. Fiziksel olarak bakıldığında birbirlerinin aynısıdır. Bir anten alıcı ve verici vazifesi görebilir. Boşlukta yayılan elektromanyetik dalgaları alıcı antenler toplar ve bunların transmisyon hatları içerisinde yayılmasını sağlarlar. Bu hatlardan alınan sinyallerin dalga şeklinde boşluğa yayılmasını ise verici antenler yaparlar.

Antenler genellikle metaldir. Televizyon ve radyo için kullanılan cihazlardan, uydu sinyallerini almak için kullanılan reflektörlere ve astronomik nesneler tarafından üretilen radyo dalgalarına kadar çeşitli konfigürasyonlara sahiptirler.

Uzun mesafeler arasında, kablo aracılığıyla yapıldığında bilginin taşınması kolay değildir ve maddi açıdan bakılacak olursa büyük masraflar gerektirir. Bunun yanında birçok teknik aksaklık meydana gelebilir. Bu bilgi taşıma uygulamalarında elektromanyetik dalgalar tercih edildiğinde ise bu dalgaları fazla enerji ile uzay boşluğuna ya da atmosfere gönderebilecek elemanlara ihtiyaç duyulur. İşte bu elemanlar antenlerdir. Antenlerden maksimum verim almak için karakteristik özellikleri iyice öğrenilmeli ve bunlara bakılarak koşullar çerçevesinde en uygun ve ideal anten yapısı tercih edilmelidir.

1.1 Antenlerin Tarihsel Gelişimleri

Anten tarihi 1800 lü yıllara kadar dayanmaktadır. J. C. Maxwell, elektrik ve manyetik teorilerini bir araya getirmiştir. Maxwell denklemleriyle de bu ikisi arasındaki ilişkiye açıklamıştır. 1886 yılında Profesör Heinrich Rudolph Hertz, ilk kablosuz elektromanyetik sistemi tanıttı [1]. Marconi 1901 senesinde uzak mesafelere sinyal iletimini gerçekleştiren çalışmalarda bulundu. İngiltere'den Kanada'ya okyanus üzerinden sinyal iletimini başardı. Verici anten 50 adet dikey telden meydana gelmekte olup Kanada'ya yerleştirilen anten ise dik olarak yerleştirilen 200 metre uzunluğundaki telden meydana gelmektedir. Böylelikle anten devrinin başladığı kabul edilir.

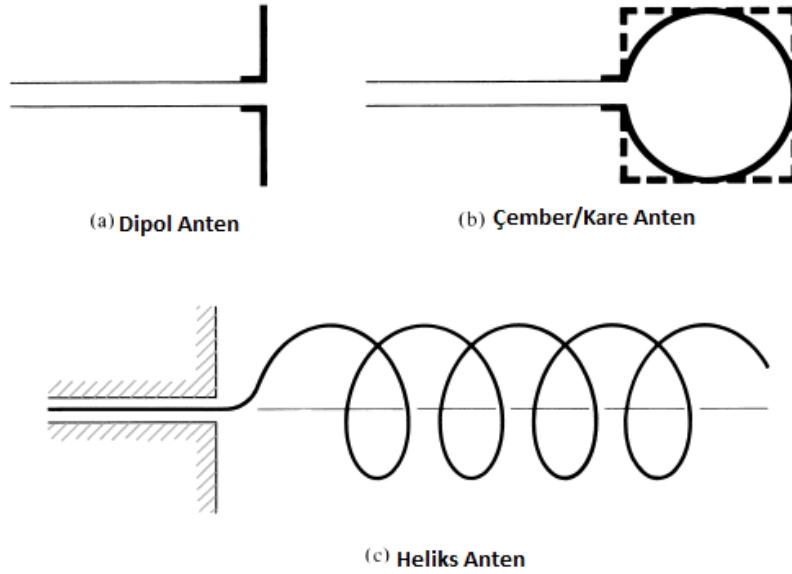
1960 yılından itibaren yeni teknolojik gelişmeler meydana gelmeye başlamıştır. Bu teknolojik gelişmeler bilgisayarların daha da gelişmesine sebep olmuştur. Bu durumun tabi ki antenlere de etkisi dokunmuştur. Bu yıllar aynı zamanda sayısal yöntemlerin kullanıma geçtiği yıllar olup böylelikle yapılan anten uygulamalarının düzgün bir şekilde tasarlanıp doğru bir şekilde analiz edilmesine başlanmıştır. Geçmiş dönemlerde anten tasarımına pek önem verilmeyip sıradan tasarımlar yapılmıştır. Günümüzde ise bu konuya verilen önemden dolayı analiz sonuçları güven açısından yüksek bir seviyeye ulaşmıştır.

2. ANTEN ÇEŞİTLERİ

2.1 Tel Antenler

Genel itibariyle çubuk şeklinde, esnek veya düz bir yapısı olan antenlere tel anten denir. Girişi olan alt kısmı alıcı ile bağlantıyı sağlar. Daha önceleri çok uzun bu antenler, yıllar içerisinde değişiklik göstererek aynı dalga boyu için daha kısa boyutlara evrilmiştir. Tel antenlerin kullanım alanlarına sivil ve askeri telsizler, radyolar, gemiler ve radar sistemleri örnek gösterilebilir. En yaygın örnekleri eski radyo ve tv antenleridir. Tel antenler genelde;

- Spiral,
- Halka,
- Monopol,
- Dipol
- Silindirik gibi şekillerde olabilir.



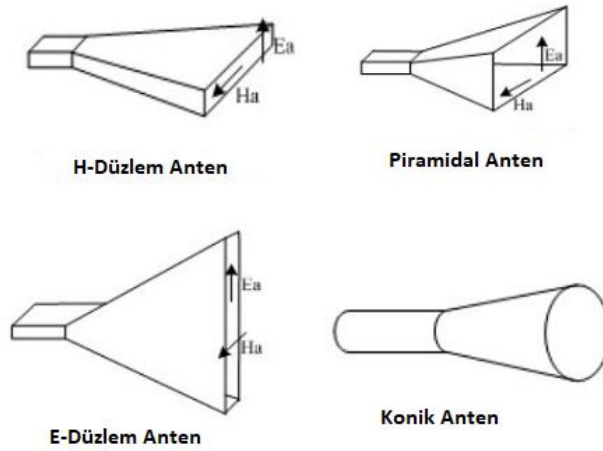
Şekil 1 - Tel Anten Örnekleri

2.2 Horn Antenler

Horn antenler çoğunlukla piramitsel ya da konik şekle sahip olup, kapalı kısımları dar, açık kısımları geniştir. Yapısı itibariyle bir dalga kılavuzu olarak da kabul edilebilir. Radyo dalgaları, dar ve kapalı kısmından giren bir koaksiyel kablo ile oluşturulur.

Oluşan dalga açıklık olan ağız kısmından ışıma yapar. Diğer antenler gibi tekil kullanımının yanı sıra, bir dalga kılavuzunun bitişi olarak da kullanılabilir. Büyük olanlarını nemden korumak önemlidir. Genel tabirde 3 farklı Horn Anten vardır. Bunlar;

- Düzlem Anten
- Piramidal Anten
- Konik Anten'dir.



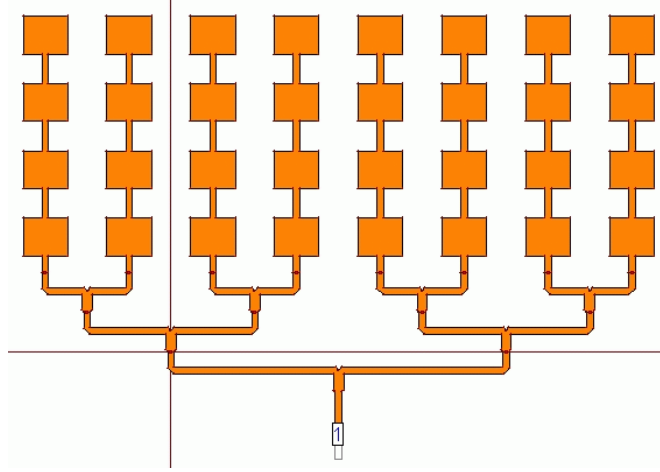
Şekil 2 - Horn Anten Tipleri

2.1. Dizi antenler

Benzer antenlerin yinelenmesiyle oluşan anten yapılarıdır. Tek anten gerekli ışıma özelliklerini sağlayamazsa dizi antenlere başvurulur. En az iki veya daha çok antenin ortak bir ışıma yapması beklenir. Bu tip antenler, yönelim kazancını, bant genişliğini ya da çıkış gücünü artırır. Örnek vermek gerekirse;

- Eş Doğrusal Anten,
- Yagi-Uda Anteni
- Log-periyodik Anten

sayılabilir. Bunlar tel dizi antenlerdir. Log-periyodik antenler yüksek bant genişliğini, Yagi-Uda antenler ise yüksek yönlendiricilik sağlar.



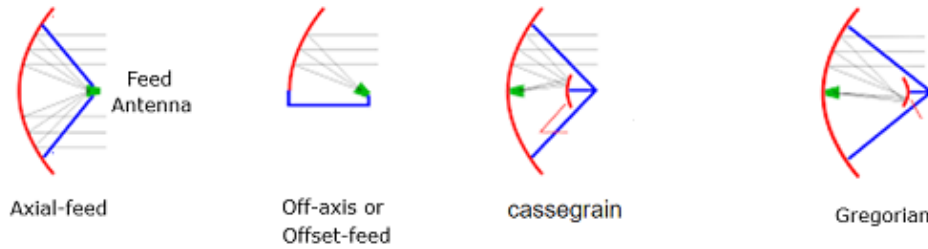
Şekil 3 - Örnek Bir Dizi Anten

2.2. Yansıtıcı antenler

Yansıtıcı antenler uydu alıcı vericileri gibi fazla kazancın gerektiği ya da güvenli haberleşme yapılabilmesi için yüksek yönelticilik değerlerinin gerektiği yerlerde çok kullanılır. Bu gereklilikler bazı sonuçları beraberinde getirir. Bunlardan biri anten boyutlarını büyütme. Boyutları bu şekilde olan yansıtıcı antenlerin simülasyonunun yapılması zordur. Dört farklı yansıtıcı anten cinsi bulunmaktadır.

Bunlar;

- Önden Beslemeli Parabolik Reflektör Anten
- Offset Beslemeli Reflektör Anten
- Gregoryen Reflektör Anten
- Cassegrain Reflektör Anten



Şekil 4 - Yansıtıcı Anten Tipleri

2.5 Mikroşerit Antenler

Genellikle mikrodalga frekansları için kullanılan ve devre kartı üzerine basılı olan antenlere mikroşerit denir. Mikroşerit antenin 3 katmanı vardır. Bu katmanlar üst taraftaki yama anten, ortada bir dielektrik alttaş(substrate) ve alt tarafında bulunan topraktır. Antenin ışıması için yama kısmından çıkan elektromanyetik dalga elektrik malzemedan sekmelidir. Bu özelliğe fringing efekti denir. Daha önceleri standart baskı devre yöntemleri ile yapılırken, günümüzde çoğunlukla hassasiyete olan ihtiyaçlar neticesinde fotolitografi yöntemi ile üretimi yapılmaktadır. Küçük ve dar yapıları sayesinde bulundukları yüzeyi bozmazlar. Buna füzeler ve uçaklar örnek verilebilir.

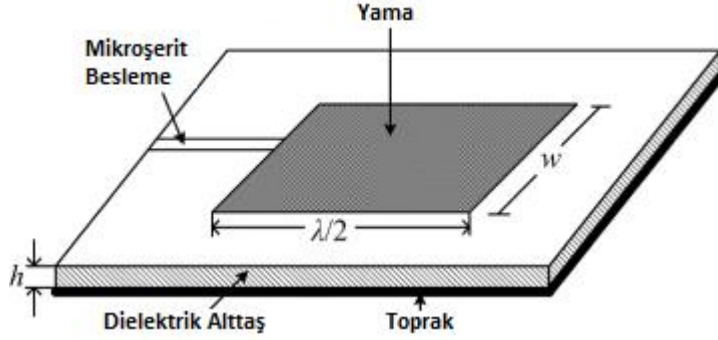
Mikroşerit antenlerin avantajlı yönlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Minik ve basit yapıdadırlar,
- Eğri veya düz pek çok yüzeye sorunsuzca uyum sağlar,
- Ekit antenler için en uygun antenlerdir,
- Fotolitografi ve yeni tür baskı devre teknolojileri ile üretilebilmeleri sayesinde üretim maliyetleri oldukça düşüktür,
- Fiziksel olarak dayanıklıdır ve sert yüzeylere de monte edilebilirler,
- Yekpare üretilen entegre mikrodalga devrelere (MMICs) sorunsuzca yerleştirilebilirler,
- Çift bant yapımı ve uygulaması için oldukça uygundur,
- İstenilen empedans özellikleri ve rezonans gibi anten parametreleri rahatlıkla elde edilebilir. [1]

Mikroşerit antenler birçok konuda kolaylık sağlasa da, aşağıda belirtilen özellikler gibi bazı eksiklikleri de beraberinde getirir:

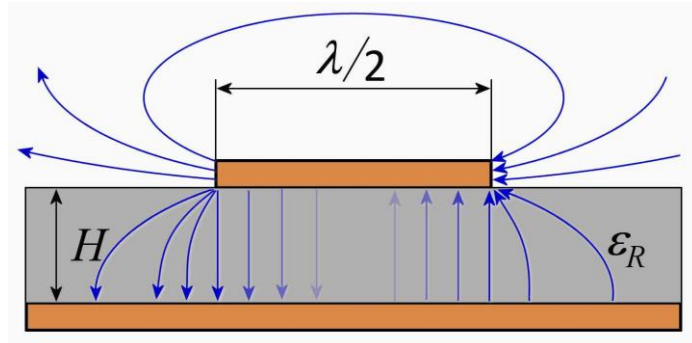
- Verimliliğin az olması,
- Düşük seviye kazanç,
- Yüksek kalite faktörü (Q),
- Polarizasyon saflığının az olması,
- Tarama frekansının düşük olması,
- Besleme noktasında beklenmeyen ışımalar,
- Daha dar bant genişliği sağlaması[1].

Mikroşerit antenlerin de boyutları doğrudan dalga boyu ile bağlantılı olduğundan ötürü rezonans antenler sınıfına girmektedirler. Ayrıca diğer rezonans antenlere benzer şekilde daha dar bantlı karaktere sahiplerdir.[6]



Şekil 5 - Dikdörtgen Yama Anten

Mikroşerit antenlerde yama parçası kenarlardan bir açıklık şeklinde davranır. Böylece yapı içerisindeki alan tarafından uyarılır. Gerçekleşen uyarım sonrasında yamanın kenarlarından, antenin altındaki toprak yüzeyi arasında şekil 6'daki gibi elektromanyetik dalgalar oluşur. Bunun sonucunda anten ışımasını yapar.[1]



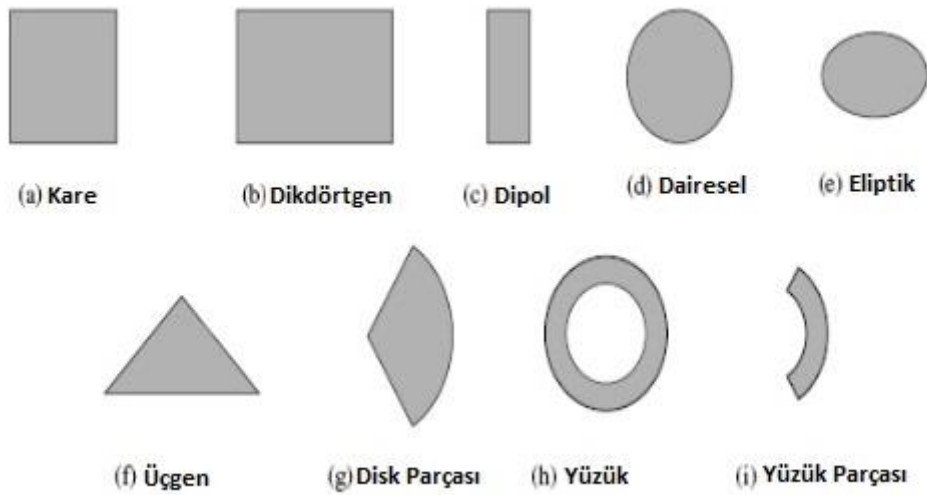
Şekil 6 - Işıyan Yama Anten

Standart iletim hatlarında ışıyan kenarlar birbirine çok yakın gerçekleşmektedir, bunun sonucunda ışıma etkileri karşılıklı olarak birbirini götürür. Sadece kenarlarda olduğu gibi süreksizlik bölgelerinden ışıma gerçekleşmektedir. Bu sebepten ötürü, mikroşerit anten tasarımlarında iletken yamanın boyutu, standart iletim hatlarının genişliğinden büyük seçilir. Yama yapısının köşelerinden yaptığı ışıma ile oluşan rezonans, sonrasında empedans uyumu da sağlamaktadır. Bu sayede tasarım en yüksek verimlilik seviyesine varmaktadır.[1] Mikroşerit antenler, genel olarak diğer pek çok anten tasarımına göre daha dar bant aralıklarında ve düşük verimle çalışmaktadırlar. Bu iki önemli özellik tüm mikroşerit antenler için geçerli olsa da, anten boyutlarında yapılabilecek bazı güncellemeler ile geliştirilebilmektedir. Örnek

vermek gerekirse, sadece kullanılan dielektrik laminatın kalınlığı ile oynayarak bant genişliğini %50, yüzey dalgaları oluşmazken verimliliği de %90'a kadar artırabiliriz. Yine de bu kalınlık artırımını, zamanda yüzey dalgalarının oluşmasına sebep olarak süreksizlik bölgeleri ve köşelerden ışıma gerçekleşmesine sebep olur. Işıma gerçekleştiği durumda ise güç kaybı, polarizasyon karakteristiklerinin bozulması ve verimliliğin azalması gözlemlenebilir. Bu nedenle verimliliği artıracak yöntem seçilirken pek çok diğer yöntem de göz önünde tutulmalıdır.[1]

2.5.1 Sekil ve Boyut Özellikleri

Mikroşerit anten tasarımları yapılırken çoğunlukla dikdörtgen veya döneel yapılar tercih edilse de. Şekil 7'deki gibi farklı şekiller de amaca göre tercih edilmektedir.



Şekil 7 - Çeşitli Mikroşerit Anten Şekilleri

Rezonans boyu antenin rezonans frekansındaki en önemli belirleyici etkindir. Bu değer dikdörtgensel şekle sahip yama antenler için genellikle dalga boyunun yarısı kadardır. Temelde antenin kenarlarından saçılan alan yüzünden elektriksel boyutu fiziksel boyutundan daha büyük olmaktadır. İki değer arasındaki fark, antenin yapımı esnasında kullanılan dielektrik maddelerin sabitine ve kalınlığına bağlıdır.

Ayrıca yukarıda belirtilen özelliklerle birlikte, rezonans frekansı üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak etkisi olan diğer parametreler aşağıdaki gibidir:

- Toprak yüzeyinin boyutu
- Yama iletkeninin kalınlığı
- Yama iletkeninin genişliği

2.5.2 Empedans uyumu

Bilindiği üzere, manyetik ve elektrik alan değerleri yama boyunca farklılıklar göstermektedirler. Antenin yama kısmının merkezinde akım değeri en yüksek değer olurken gerilim düzeyi en düşük değerine ulaşır. Bunun yanında yamanın kenarlarında ise akım değeri ve dolayısıyla manyetik alan en düşük değer olurken, gerilim düzeyi yani elektrik alan en yüksek değerini elde eder. Empedans değerinin büyüklüğü tipik olarak yamanın kenarlarında yaklaşık olarak 200W olurken, merkezinde 0W civarında olmaktadır. Bu nedenle rezonans boyu üzerinde empedans değerinin 50W olduğu bir nokta bulmak mümkündür.

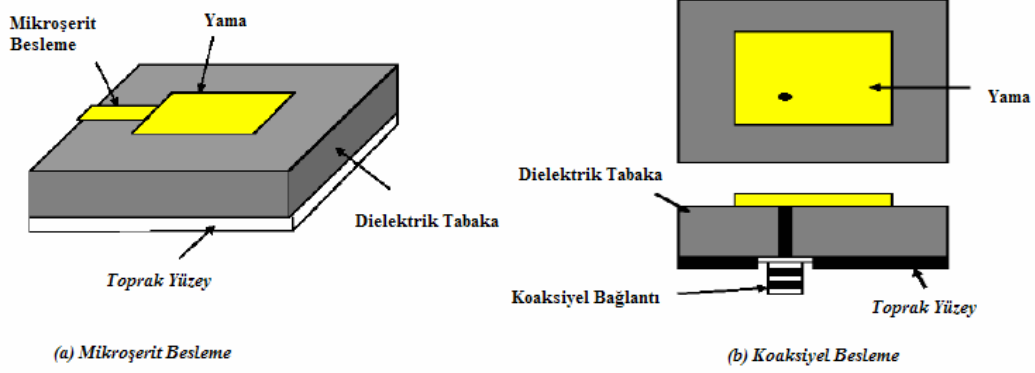
2.5.3 Besleme Yöntemleri

Mikroşerit antenlerde kullanılan besleme metotları antenin empedansı ve yönelimi üstünde oldukça önemli bir şekilde etki etmektedir. Besleme metotları basitçe bağlantılı ve bağlantısız olmak üzere ikiye ayrılır. Bağlantılı besleme yönteminde güç direk olarak ışıma yapacak olan yamaya iletilir. Bağlantısız beslemede ise, güç bağlantılı olmayan mikroşerit hat ve anten yaması arasında gerçekleşen elektromanyetik alan ile iletilir.[11] Bu iki ana başlığın altında ise, mikroşerit yama antenlerin beslenmesi için 4 farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar, bağlantılı yöntemlerden koaksiyel besleme ve mikroşerit besleme, bağlantısız besleme şekillerinden yakınlık kuplajlı ve açıklık kuplajlı besleme metotlarıdır.[5]

2.5.4 Mikroserit Besleme

Şekil 8’de de görüldüğü gibi bu besleme metodunda güç iletimi, yamaya kıyasla bir hayli küçük genişliğe sahip mikroşerit uzantının yamanın bir kenarına tam anlamıyla ulaştırılması ile gerçekleşir. Besleme yapımında kullanılan mikroşerit uzantı, hattın yama ile aynı tabaka üzerine yerleştirilebilmesi sayesinde üretimde kolaylık sağlarken, giriş uzantısının bulunduğu

konumun kolaylıkla değiştirilebilmesi sayesinde de empedans uygunlaştırma kolaylığı sağlar. Ancak kalın dielektrik alttaşı kullanılan yöntemlerde, istenmeyen ışımalara sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple bant genişliği 2-5% aralığında kalmaktadır [5]. Bu tezin yapımı sırasında kullanılacak olan besleme biçimi de mikroşerit beslemedir.



Şekil 8 - Bağlantılı Besleme Yöntemleri: a) Mikroşerit Besleme b) Koaksiyel Besleme

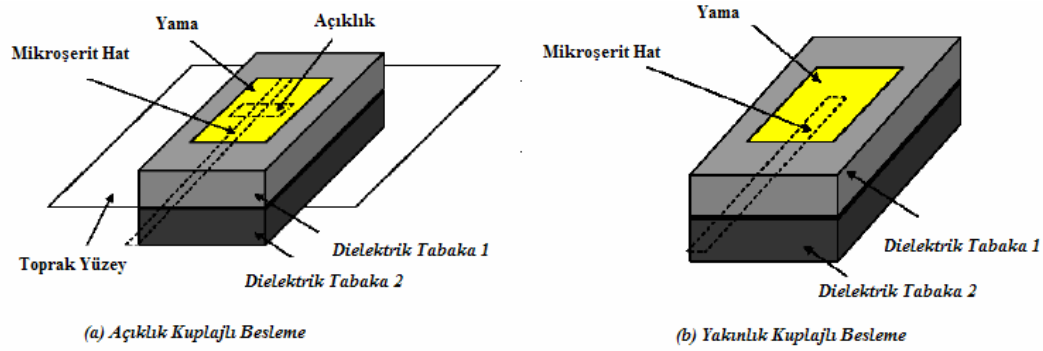
2.5.5 Koaksiyel besleme

Bu besleme metodunda koaksiyel yapı içindeki iletken, antenin yamasına dokunacak şekilde yerleştirilir. Yapının dışında kalan iletken kısmı ise bacaklar ile doğrudan toprak yüzeye bağlanır. Şekil 8 (b)'de gösterilen yapının en büyük avantajı empedans uyumunun olabilecek en optimum şekilde sağlanması için iletken yamanın rastgele bir noktasına dokundurulabiliyor olmasıdır. Ayrıca üretimi de çok kolaydır ve mikroşerit beslemelere göre istenmeyen ısıya düzeyi de düşüktür. Yine de, koaksiyel besleme kalın tabaka kullanıldığında modellenmesi oldukça güç bir yapı ortaya koyar.[5] Bağlantılı besleme çeşitlerinden her ikisi de yapıda asimetriye neden olur. Bu durum çapraz polarizasyonlu ışımaya olanak verirken, yüksek dereceden modların meydana gelmesini sağlar. Bu ve benzeri durumlardan ötürü çoğu zaman bağlantısız besleme yöntemleri kullanmak çok daha uygun olmaktadır.[5]

2.5.6 Açıklık Kuplajlı Besleme

Açıklık kuplajlı besleme metodu Şekil 9(a)'da görüldüğü gibi toprak yüzeyinin mikroşerit uzantı ile yama arasına yerleştirilmesiyle elde edilmektedir. Mikroşerit uzantı bu besleme

şeklinde altındaki dielektrik alttaşın üzerine yerleştirilmiş olup, toprak yüzeyinde meydana gelen yarıklar sayesinde enerji yamaya iletilmektedir. Altaş olarak kullanılan dielektrik laminat maddesinin sabiti genellikle bu durumdan ötürü büyük seçilmektedir. İstenmeyen ışımların azaltımı ve polarizasyon saflığına artırmak amacıyla toprak yüzeydeki besleme hattından izole edilmektedir. Bu tarz yapıların tasarımı ve modellenmesi nispeten daha kolay olmasının yanında, üretimi bağlantılı metotlara göre daha zordur. Çoğunlukla dar bant aralıklarında kullanılır. Empedans uyumunun iyileştirilmesi için hat genişliği ve yarık uzunluklarının değerleri kullanılır.[1]



Şekil 9 - Bağlantısız Besleme Yöntemleri: a) Açıklık Kuplajlı Besleme b) Yakınlık Kuplajlı Besleme

2.5.7 Yakınlık kuplajlı besleme

Yakınlık kuplajlı besleme, çok büyük oranda açıklık kuplajlı beslemeye benzese de Şekil 9(b)'de olduğu gibi besleme hattı toprak yüzeyin üzerindedir. Bu durum yakınlık kuplajlı besleme yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha geniş bant sunmasını sağlar.

2.5.8 Analiz Yöntemleri

Mikroşerit antenleri analiz etmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin en çok kullanılanı iletim hattı(TLM), tam dalga ve kavite yöntemleridir. İletim hattı yöntemi, bu modeller arasında en kolayı olmakla birlikte fiziki yapının analizinde en iyi sonucu vermektedir. Ancak genel olarak doğruluk oranı diğer yöntemlere oranla düşüktür ve küple modelleme konusunda pek de iyi olduğu söylenemez[1].

İletim hattı yöntemine göre kavite yöntemi daha karmaşıktır, ancak daha yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Bu özelliklerinin yanında, iletim hattı yöntemi gibi fiziki yapının analizi konusunda güçlüdür. Lakin kuple yapılarının modellenmesi esnasında çok da yeterli değildir[1].

Bu analiz yöntemleri içerisinde doğruluk oranı en fazla olanı tam dalga modeli yöntemidir. Bu model sonlu ve sonsuz sayıda antenin bulunduğu dizi antenlere uygulanabildiği gibi, tek parçalı, gelişmiş güzel antenlere de uygulanmaktadır. Ancak bu model diğerlerinden daha karmaşık olmasının yanı sıra, fiziki analiz yönteminde de kötü sonuç vermektedir[1].

3. ANTEN PARAMETRELERİ

3.1 Işıma Diyagramı

Kutupsal koordinatlar göz önünde bulundurularak antenin ışıması ile ilgili belirlenen eğri veya düzlemlere ışıma diyagramları denir. Bu diyagramlara bakarak, antenin hangi yönden ne seviyede ışıma aldığını veya hangi yöne ne miktarda ışıma yaydığı gözlemlenir. Genel olarak 3 boyutlu gösterimi yerine polar koordinat düzlemindeki gösterimi daha çok tercih edilir. Işıma diyagramlarında 3 ana kısım bulunmaktadır. Bu kısımlar ana lob, yan lob ve arka lob olarak adlandırılmaktadır.

3.2 Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)

Empedans uyumunun beklenen seviyede olmaması sonucunda antenden yansıyacak enerjinin ne kadar olacağına dair göstergeye Gerilim Duran Dalga Oranı(VSWR) denir. Empedans uyumu doğru yapılamamış antenlerde antenden yansıyan ve gelen dalgaların üst üste binmeleri sonucunda duran dalgalar oluşmaktadır. Bu gibi bir durumda oluşan duran dalga için en yüksek gerilim değeri V_{max} , en düşük gerilim değeri V_{min} ve anten yansıma katsayısı Γ olmak üzere;

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \left(\frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \right) \quad (2.1)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. VSWR değeri 1 ile ∞ arasında değişim göstermektedir. Empedans uyumu tam olduğu zaman bu değer 1 olmaktadır, ancak fiziksel olarak böyle bir durum söz konusu olamaz. VSWR oranının sonsuza doğru gittiği yerlerde ise empedans uyumundan katiyen söz edilemez. Yukarıdaki denklemden de çıkarılabileceği gibi, 0 ile 1 arasında değişim gösteren yansıma katsayısının en iyi durum için 0'a yakınsaması beklenmektedir.

3.3 Geri Dönüş Kaybı (RL)

Logaritmik olarak ölçeklendiği için desibel(dB) birimi ile gösterilir. Doğrudan VSWR ile alakalıdır. Gerilim duran dalga oranının 2'den küçük olması durumunda, geri dönüş kaybı - 9.5dB'den küçüktür denebilir.

Geri dönüş kaybının, antenin o frekansta çalıştığını göstermesi için bu değer temel olarak kabul edilebilir. Örnek vermek gerekirse, uydulardan alınan GPS sinyalleri genellikle zayıf olduğundan, geri dönüş kaybı (RL, return loss) oldukça önemlidir. Formülü ise şöyledir:

$$RL = -20\log\left(\frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}\right) \quad (2.2)$$

3.4 Bant Genişliği

Bant genişliği belirlenen sistemin en etkin çalışabileceği frekans aralığının, bu frekansın merkezi olan merkez frekansa oranlanması olarak yüzdesel biçimde tanımlanabilir. Özellikle özel amaçlarla olmayan anten modellerinde bant genişliği, duran dalga oranının 1:1.5 aralığını geçmediği aralık olarak da anılmaktadır. Duran dalga oranının -10dB'den aşağıda bulunduğu frekans aralığı için antenin en etkin çalıştığı bölge denebilir.

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \times 100 \quad (2.3)$$

3.5 Demet Genişliği

Demet genişliği doğrudan ışıma diyagramları ile alakalı bir parametredir. Işıma diyagramına göre en yüksek ışıma doğrultusundaki gücün azalıp yarıya(3 dB) düştüğü veya 0 olduğu açısız genişlik olarak da belirtilebilir. Bşr antenin demet genişliğinin fazla olması, daha çok yönde dalga gönderebilme ya da alabilme yeteneğini gösterir.

3.6 Yönlülük

Bir antenin tüm yönlere yapılan ışıma yoğunluğunun, sadece belli bir yöndeki ışıma yoğunluğuna oranına yönlülük denir. Antenden yapılan total ışıma gücünün 4π ile bölündüğünde ortalama ışıma yoğunluğu elde edilir. Eğer yön net olarak belli değilse, hesaplama yapılırken en yüksek ışıma yoğunluğuna sahip olan ana lob kullanılır. Anten için yönlülük kazancı şu şekilde hesaplanır:

$$D(\theta, \phi) = \frac{K(\theta, \phi)}{K_{ort}} \quad (2.4)$$

$$D(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4\pi r^2}} \quad (2.5)$$

3.7 Güç Kazancı

Anten güç kazancı, antenlerin belli bir yöndeki ışımasının yoğunluğu ile ilgilidir. Diğer yönlerin hepsinden alınan ışıma yoğunluklarının ortlaması ile bir yöndekinin oranı bize kazancı verir. Kazanç, ışımaların yönlülükleri ile bağıntılıdır. Bir antenin kazancı, temel olarak boşluktaki bir elektrik alandan incelenen antenin uçlarına ne seviyede güç aktarıldığının göstergesidir.

$$G(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{\frac{P_d}{4\pi r^2}} = \frac{P_r}{P_d} \times \frac{\rho(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4\pi r^2}} = \eta D(\theta, \phi) \quad (2.6)$$

3.8 Işıma Verimi

Antenler her zaman en optimal seviyede gelen gücü kullanamaz. Gelen gücün bir kısmı ısı kayıpları şeklinde harcanırken, bir kısmı da uyumsuz olan empedans sebebiyle tam olarak ışımanın gücünün katılmamasıyla istenmeyen yansımalarla mahal vermektedir. Bu nedenlerden ötürü, kaynaktan alınan gücün bir miktarı kayıp enerji meydana getirirken kalan kısımlar ışımanın gücünün büyüklüğünü yaratmaktadır. Bir antenin verimi ışıma esnasında saçılan gücün,

kaynaktan elde edilen giriş gücüne oranı olarak tanımlanabilir. Empedans uyumu değeri düşük ve ısı kayıpları az olan antenler ışıma açısından en verimli antenlerdir.

$$e_0 = e_0 \times e_r \times e_d \quad (2.7)$$

3.9 Polarizasyon

Elektromanyetik bir dalgaya ait olan elektrik alan vektörünün zamanla gerçekleştirdiği harekete polarizasyon denir. Polarizasyonun farklı türleri vardır ve dalga tarafından gerçekleştirilen harekete göre değişmektedir. En temel tabirle, eliptik ve doğrusal olmak üzere iki tür polarizasyon vardır.

3.9.1 Doğrusal Kutuplanma

Doğrusal kutuplanma, elektrik alana ait vektörünün yönünün hiçbir koşulda değişmediği kutuplanma tipine denir. Doğrusal kutuplanma gibi durumlarda, elektrik alan vektörünün genliği değişebilmektedir. Doğrusal kutuplanma için örnek verecek olursak;

$$E_x = |E_x|. \cos(wt) \cdot a_x \quad (2.8)$$

$$E_y = |E_y|. \cos(wt) \cdot a_y \quad (2.9)$$

vektör bileşenleri gösterilebilir. Yukarıdaki örnek olarak verilmiş elektrik alan denklemlerinden de anlaşılacağı üzere, doğrusal kutuplanmada elektrik alana ait bileşenler arasında faz farkı bulunmamaktadır. Zaman içerisinde iki bileşenin de genliklerinde aynı büyüklüklerde değişim meydana geleceğinden, elektrik alanın yönü değişmezken sadece genliğinde farklılaşma olmaktadır.

3.9.2 Eliptik Kutuplanma

Eliptik kutuplanma, elektrik alan vektörünün yönünün sürekli olarak değişim gösterdiği kutuplanma türüdür. Elektrik alan alana ait vektör bileşenlerinin arasında faz farkı meydana geldiğinde, zamana bağlı olarak değişen elektrik alan elemanlarından bir tanesi azalırken diğeri

artış göstermektedir. Böylece elektrik alanın vektörel yönü sürekli olarak değişmektedir. Eliptik kutuplanma için örnek verecek olursak;

$$E_x = |E_x|. \cos(wt) . a_x \quad (2.10)$$

$$E_y = |E_y|. \sin(wt) . a_y \quad (2.11)$$

vektör bileşenleri gösterilebilir. Yukarıda gösterilmiş elektrik alan denklemlerinden de görüldüğü üzere, eliptik kutuplanmada elektrik alana ait bileşenler arasında bir faz farkı vardır. Doğrusal kutuplanmanın aksine, zaman içerisinde bileşenlerden birinin genliği artarken diğerinin azalmaktadır. Böylece elektrik alan vektörünün yönü zaman içerisinde 360 derece dönüş hareketini yapmaktadır. Örneğin düzlem dalgalar için olduğunu varsayarsak, bu değişim esnasında manyetik alan vektörüne dik olan elektrik alan vektörü de onunla birlikte 360 derece dönmektedir. Ancak bu dönel hareketlere rağmen dalganın yayılım yönünde bir değişiklik olmayacaktır.

3.10 Anten Etkin Yüzeyi

Boşluktaki serbest elektromanyetik dalgalardan, tasarlanan antenin terminallerine güç aktarabilme durumuna anten etkin yüzeyi denilmektedir. Sitemin vericisi konumundaki antenden yayılan P_t büyüklüğündeki güç uzayda küresel bir şekilde yayılmaktadır. Bu sayede verici olan antenden belli bir mesafe (R) uzaklıktaki bir noktada ölçümlenebilecek güç, $P_t/(4\pi R^2)$ şeklinde hesaplanmaktadır. Bu değer, güç yoğunluğu şeklinde isimlendirilmektedir. Kayıpsız ortamlarda bulunan verici anten tarafından gönderilen gücün tamamı boşlukta yayılacağı için, alıcı tarafındaki anten boşlukta bulunmakta olan $P_t/(4\pi R^2)$ yoğunluğuna sahip gücü kendi üstünde toplamaya çalışır. Temel olarak bu durumda meydana gelen toplama kabiliyeti için antenin etkin yüzeyi denmektedir. Anten açıklık yüzeyi ' A ' ile gösterilirken etkin açıklık yüzeyi ' A_e ' ile gösterilmektedir. Ve bu durumda denklem;

$$A_e = A . e_A \quad (2.12)$$

olmaktadır.

Bir antenin açıklık yüzeyini ne derece etkin kullandığına değin parametre ise açıklık verimi şeklinde ifade edilmektedir. Son tahlilde, antenin etkin açıklığı değeri ile boşlukta bulunan

elektromanyetik güç yoğunluğunun çarpımı yöntemi kullanılarak alıcı antene ulaşan toplam güç hesaplanabilmektedir. Tüm bu durumların sonunda alıcı anten tarafından yakalanan gücün miktarı için, açıklık verimi ile anten açıklığı değerlerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Mikroşerit gibi anten kalınlığının ihmal edilebileceği durumlarda da bu denklem geçerlidir.

3.11 Yakın Alan ve Uzak Alan

Anten ya da herhangi bir ışıma elemanına yakın olan bölge yakın alan olarak tanımlanmaktadır. Yakın alan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin düzlem dalga karakteristiği göstermedikleri bölgedir. Bu alanda, ilişkiler karmaşık ve ölçümler oldukça zor olmaktadır. Yakın alanda daha çok reaktif enerji birikimi olmaktadır. Uzak alan ise, elektromanyetik dalgalar için düzlem dalga yaklaşımının yapılabildiği alan olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifade ile uzak alan, antenin oluşturduğu elektromanyetik dalgaların eş faz yüzeylerinin belli bir hata ile düzlem kabul edilebildiği uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Yakın ve uzak alan tanımları anten cinsine ve etkileşimlere göre frekans, anten boyutları gibi parametreler cinsinden belirlenmektedir. Basit ve düşük kazançlı antenler için uzak alan sınırı,

$$R \geq \lambda / (2. \pi) \quad (2.13)$$

olarak bulunabilmektedir.

Antenler üzerinde yapılan hesaplamalar genelde uzak alan için yapılan hesaplamalardır. Anten için bulunan elektrik alan ve manyetik alan değerleriyle buna bağlı olarak hesaplanan ışıma gücü ve diğer önemli büyüklükler, uzak alan sınırından sonraki herhangi bir mesafede değer olarak değişmezler. Fakat yakın alan içinde yapılan her hesaplama sadece o nokta için geçerli olup, yakın alan içindeki başka bir noktaya göre farklılık göstermektedir.

3.12 Anten Giriş Empedansı

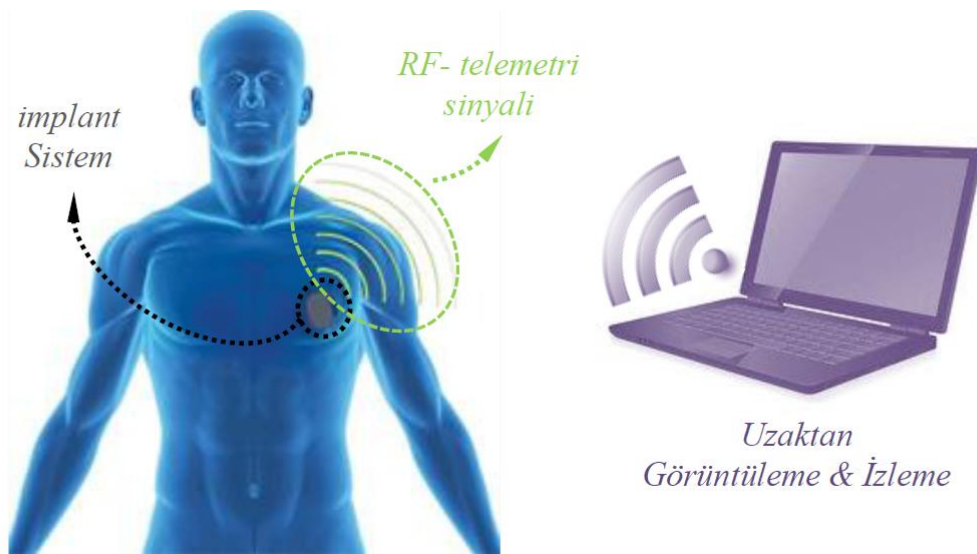
Bir antenin girişlerinde bulunan empedans, o terminalde bulunan akımın gerilime bölünmesi şeklinde veya iletim durumunda iken belirlenmiş bir noktada oluşan manyetik ve elektrik alanların birbirlerine olan oranı şeklinde tanımlanabilir. Anten ile bir iletim hattı arasında en yüksek seviyede enerji transferi sağlayabilmek için, iletim hattına ait karakteristik empedans ile anten giriş empedansı uyumlu olmalıdır. Eğer bu uygunluk sağlanamazsa, antenin girişinde

kaynak tarafına doğru ilerleyen yansıyan dalgalar gözlemlenir. Beklentinin aksine geriye doğru olan bu enerji aynı zamanda tüm sistemin ve antenin de veriminin düşmesine sebep olur.

.

4. İmplant Edilebilir Antenler

Çeşitli hastalıklarla mücadele eden insanlara ait hastalığın tanınması ve hastalıkların tedavisi kablosuz haberleşme sistemleri sayesinde mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda medikal uygulamalarda kullanılan ve biyotelemetri uygulamalarını temel alan implant sistemler gelişmektedir. İmplant antenler, biyomedikal antenlerin vücut içerisinde belirli bir konuma sabit olarak yerleştirilenlerine verilen isimdir. Mikrodalga görüntüleme, kalp ritim bozuklukları, kanser teşhis ve tedavilerinde veri iletiminin sağlanmasında kullanılmaktadırlar.[3] Ayrıca implantın vücuda yerleştirildiği bölgeyle biyolojik olarak uyumlu olması oldukça önemlidir çünkü iletken olan insan dokusuyla her iki yüzü metal kaplı olan anten kısa devre yapabilir. Mikroşerit implant antenlerin tasarımı yapılırken antenin yerleştirildiği ortama göre doku modeli kullanmak gerekmektedir. Bunun yanında üsttaş malzemesi ve kısa devre pin kullanılır. İmplant antenler vücut içerisine yerleştirileceğinden dolayı kullanılacak malzemelerin ve tasarlanacak antenlerin küçük boyutlu, düşük güç tüketimli ve vücuda uyumlu olması gerekmektedir.[7] Bu uyumluluktan birisi, antenden gerçekleşecek elektromanyetik ışımlar sonucunda vücut ya da doku ısısını 1 C'den daha fazla arttırmasıdır. İnsan vücudundaki 1 kg'lık bir dokunun sıcaklığının 1 C artması için 4 W'lık güç soğurması gerekmektedir. Bu değerin 1/50'si (0.08W/kg) genel yaşam alanları için limit değer olarak kabul edilmektedir. Vücut içerisine yerleştirilen implant anten yapısından kaynaklı olarak dokudaki aşırı ısınmayı engellemek amacıyla 1 gramlık vücut dokusu için ortalama özgül soğurma oranı (Specific Absorption Rate; SAR) 1.6 W/kg olarak öngörülmektedir [4].



Şekil 10 - İmplant Edilebilir Antenlerin İletişimi

5. WMTS(Kablosuz Tıbbi Telemetri Sistemi) Bandı

Kablosuz Tıbbi Telemetri Sistemi, hastaların önemli sağlık parametrelerini ve hayatsal belirtilerini ölçen cihazların elde ettikleri verileri radyo bağlantısı üzerinden uzak bir istasyona iletmesinde kullanılan bir haberleşme frekansdır. Belirlenmiş 3 bant aralığı bulunmaktadır. Bunlar 608-614Mhz, 1395-1400Mhz ve 1427-1432Mhz bantlarıdır. 1427-1432 bandı kullanım açısından WMTS olmayan bazı cihazlar tarafından da kullanılabilir. Bunu önlemek amaçlı olarak genelde 1427-1429.5 arası bant WMTS için daha çok kullanılmaktadır. Cihazdan cihaza değişebileceği gibi, WMTS frekansında yayın yapan tıbbi cihazlardan vücut içinde en az 20cm derinlikten çalışması ve en fazla 1.5 Watt beklenir. WMTS bant aralığı belirlenen bu standartlarca insan sağlığı açısından zararsız kabul edilmektedir. WMTS bandında çalışan cihazlar her zaman vücut içinde olmak zorunda değildir, hasta yatağı, harici cihazlar ve yaşam destek ünitelerinde de kullanılabilir.[8]



Şekil 11 - Bir Hastanede Hastaların WMTS İle Kontrol Edilebilecekleri Örnek Alanlar

6. UMTS (Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi) Bandı

3. Nesil Mobil İletişim Ortaklığı Projesi (3GPP) tarafından ortaya atılmış ve hali hazırda kullanılmakta olan bir haberleşme protokolleri çatısıdır. 1900–2200 MHz spektrumu dahilinde ve 5-60 MHz bant genişliğinde veri iletimine olanak veren UMTS teknolojisi için en yüksek hız sınırı 2Mbps'dir. UMTS teknolojisi, zaman bölmeli (TDD) ve frekans bölmeli (FDD) iki farklı çift iletim yönüne sahip moda sahiptir. Bunlardan frekans bölmeli olan, büyük çoğunlukla biri aşağı biri yukarı yönde olmak üzere iki farklı frekans bandını kullanmaktadır. Ancak zaman bölmeli olan, aşağı ve yukarı yönde iletim sağlamak için farklı zamanları kullanmaktadır. İletilen verilerdeki girişim seviyesinin uygun düzeyde olması durumunda aynı bant genişliği de kullanılabilir. Günümüzde pek çok ülkede 2100MHz bandı lisanssız olarak UMTS haberleşmek için kullanılabilir. UMTS servisi kullanan pek çok cihaz ve uygulama bulunmaktadır. Bunlar kabaca; mobil internet bağlantısı, görüntülü konuşma, çift yönlü video konferanslar, ev otomasyonu, cihazdan cihaza haberleşme, konum bilgilendirme gibi servislerdir.[10]



Şekil 12 - UMTS Uyumlu Log Periyodik Antenli Baz İstasyonu

7. UMTS VE WMTS BANTLARINDA ÇALIŞAN ÇİFT BANT İMPLANT EDİLEBİLİR ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ

Daha önceki bölümlerde sırasıyla anten nedir, anten tarihçesi, anten parametreleri, anten tipleri ve implant edilebilir antenleri incelemiş, sonrasında WMTS ile UMTS frekans bantlarına göz atılmıştır. Bu başlık altında ise yapılan çalışmanın gerçek amacını oluşturan, UMTS ve WMTS bantlarını tamamen kapsayacak nitelikte çift bant implant anten tasarımı yapılacaktır. Tasarıma yönelik olarak öncelikle bilgisayarda modelleme, hesaplama ve simülasyon yapmamızı sağlayan CST Microwave Studio 2019 programı tanıtılacak olup, sonrasında belirtilen özelliklere sahip anten tasarımına geçilecektir. Tasarım başlığında ise ortaya konulması planlanan mikroşerit antenin sahip olması gereken niteliklerden ve anten geometrisi ile tasarım aşamalarından bahsedilecektir. Son olarak da analiz sonuçları belirlenen frekanslar için paylaşılacaktır.

7.1 Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio 2019 Nedir?

CST Microwave Studio 2019 uygulaması yüksek ve düşük frekans elemanlarının 3 boyutlu düzlemde elektromanyetik benzetimlerinin çıkarılması amacıyla Dassault Systemes tarafından hazırlanmış bir yazılım aracıdır. Uzun yıllardır anten modelleme, tasarım ve analizi üzerine çalışan, çözümler oluşturan ve yenilikler geliştiren mühendislerin kullandıkları bir yazılımdır. CST MWS yazılımı özellikle yüksek frekanslarda olan başarımları ve çalışma hızı ile bilinmektedir. CST MWS gerek harici tasarım modülleri gerek dahili seçenekleri ile bir benzetim programından beklenen her şeyi tamamen sağlamaktadır.

Model yaratma içinde dahili olan fiziksel arayüz ile oldukça hızlı ve etkin çalışmaktadır. Farfield grafiğinden akım grafiğine, s parametresinden güç göstergesine kadar bir çok elektromanyetik simülasyonun da sürecini oldukça hızlı bir şekilde yapmaktadır. Kısmi Türevli Diferansiyel(PDE) özelliği sayesinde mevcut olan denklemleri değiştirebilir ya da ileri seviyeye taşınabilir. Zaman düzlemi ve frekans düzleminde yapılan seçimlere göre çıktı vermektedir. Grafiksel Kullanıcı Arayüzü(GUI) sayesinde oldukça anlaşılır ve rahat bir kullanımı vardır. Uygulamanın benzetim sağladığı ana başlıklar şunlardır:

- Mikrodalga ve RF/Optik
- EMC & EMI

- Düşük Frekans
- EDA/Elektronik
- Parçacık Dinamiği

Bu tezdeki çalışmalar “Mikrodalga ve RF/Optik” başlığının alt başlıklarından “Anten” başlığının “Düzlemsel(Yama, Yarık Anten vs.)” seçeneği üzerinden “Zaman Alanı”nda yürütülecektir.

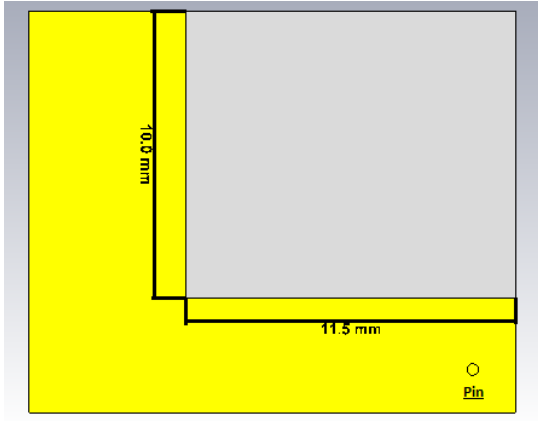
7.2 Anten Tasarımı

Bu tezde yapılan tüm modelleme, simülasyon ve analizler CST Microwave Studio 2019 programı ile yapılmış olup. UMTS ve WMTS bantlarında ışıma yapan bir çift bant ekli implant edilebilir anten tasarımı hedeflenmiştir. Modellenen tasarımda dielektrik alttaşı olarak dielektrik sabiti $\epsilon=3.45$, kalınlığı 0.381mm olan Rogers TMM3 Thermoset Laminate kullanılmıştır.[13] TMM3 model alttaşı laminatı termal genleşme katsayısı çok düşük olduğu için insan vücudu ısısında çalıştırılmak için oldukça uygundur.

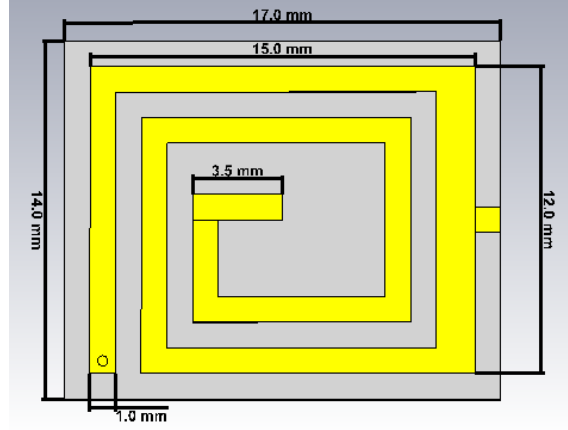


Şekil 13 - Rogers TMM3 Laminat

Tasarımda anten boyutunu implant edilebilir kılmak için küçültme yoluna gidilmiştir. Anten boyutunu küçültebilmek ve çift bant performansını artırabilmek için kısa devre pini eklenmiştir. En nihayetinde anten boyutu 14x17x0.466mm uzunluklarında olmuştur.

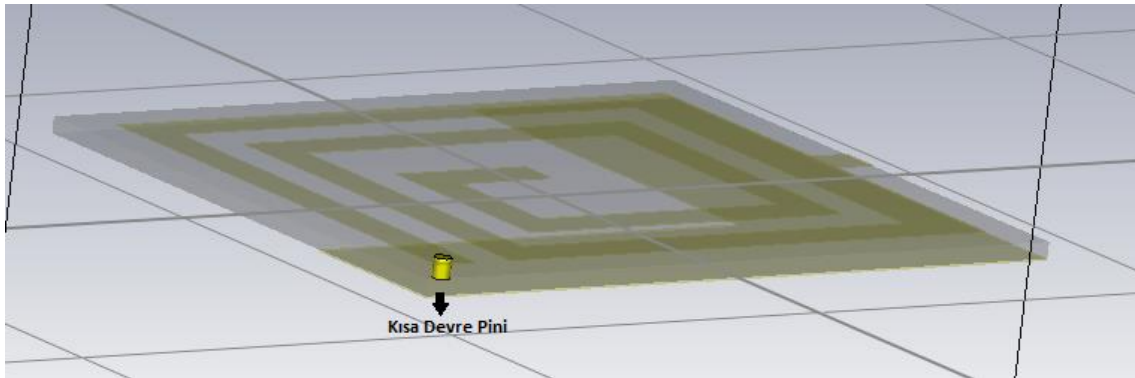


Şekil 14 - Antenin Toprak Tarafı Boyutları



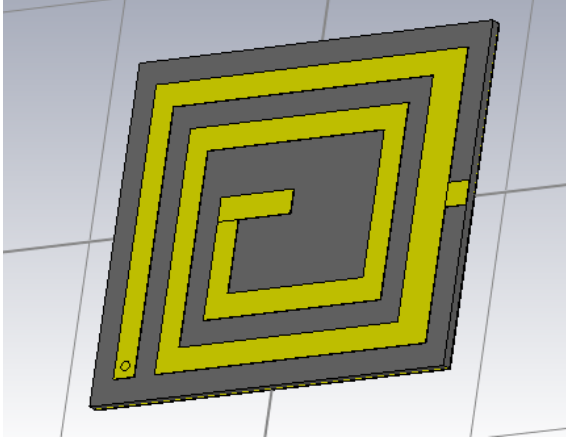
Şekil 15 - Yama Anten Boyutları

Aynı zamanda bu kısa devre pini antenin toprağı ile yaması arasındaki bağlantıyı da sağlamaktadır. Antenin tasarımında istenen bantlarla eşleşme sağlanabilmesi amacıyla toprak tarafını oluşturan parçada eksiltme yönünde düzenlemeler yapılmış olup sonuca etkisi gözlenmiştir.

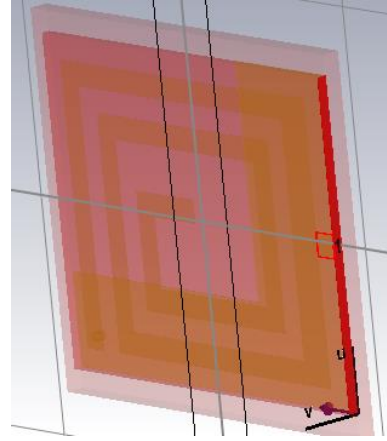


Şekil 16 - Kısa Devre Pini

Tasarım aşamasında dönel(spiral) yapının seçilmesi ise hem boyuttan hem hacimden kazandırmıştır. Hacimden kazanç elde etmenin birinci amaç olduğu implant edilebilir antenler için bu en uygun yöntemlerden biridir. Boyutun minyatürize edilmesi sonucu, anten vücut içine yerleştirilmesi planlanan bir çok tıbbi cihaz ile yüksek uygunluk içerisinde çalışacaktır.



Şekil 17 - Mikroşerit Besleme



Şekil 18 - Port Bağlantısı

Ayrıca anten tasarımı esnasında anten besleme portunun mikroşerit besleme olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Vücut içinde bulunan bir sensör ile koaksiyel bağlantı sağlamanın zorluğu ve boyut konusundaki endişeler bu seçimi etkilemiştir.

7.3 Simülasyon

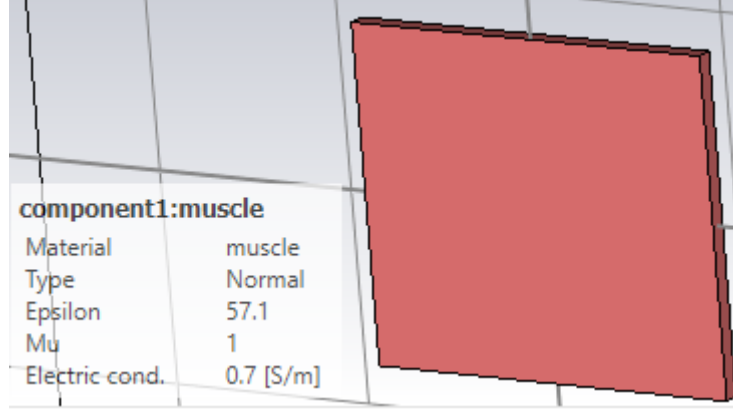
Bir önceki başlıkta tasarımı ayrıntılı bir şekilde gösterilen antenin simülasyonu da yine CST Microwave Studio 2019 programında yapılmıştır. Simulasyon süreci 2 kademeli olarak gerçekleştirmiş olup, bu adımlar:

- Test sıvısı içinde
- Test sıvısı olmadan

şeklinde.

Test sıvısı biyotelemetri amacıyla kullanılacak olan antenin çalışması planlanan kas, yağ ve deri tabakalarını simüle etmek amacıyla kullanılmaktadır. Böylece istenilen frekansın beden içerisinde elde edilip edilemeyeceği gibi hesaplamalar daha kolay yapılabilir. Bu tezin konusu olan anten için yapılmış olan elemanı Ortalama iletkenlik katsayısı 0.5-2 arasında değişkenlik göstermekle birlikte, dielektrik özelliği de 45-60 arasında değişmektedir. Değer aralıklarının bu kadar geniş olmasının sebebi, her insanda kas, yağ ve deri katmanlarının farklı olmasının yanı sıra, test sıvısı hazırlarken içine katılan maddelerin oranının değişkenlik göstermesi de etkilidir. Bu koşullar uyarınca, antenin simülasyonu aşamasında aşağıdaki **şekil** belirtilen değerlerde bir

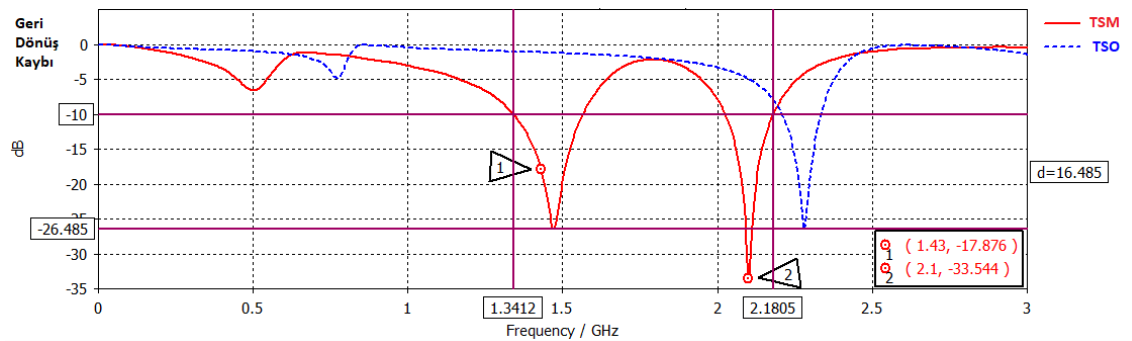
test maddesi(görselde muscle olarak geçmektedir) yaratılmış olup dielektrik sabiti 57.1, elektrik iletkenliği 0.7[S/m] olarak belirlenmiştir.



Şekil 19 - Test Sıvısı Modeli İçerisinde

7.4 Simülasyon Sonuçları

Bir önceki başlıkta gerçekleştirilen spiral anten tasarımı, yine tasarımın yapıldığı CST Microwave Studio 2019 programında simüle edilmiştir. Ayrıca simülasyon sonuçları tasarım aşamasında gözlenen önceki değerlerle de kıyaslanarak en verimli sonucun yapılan son tasarım olduğunu göstermiştir. Test sıvısı modelleyen birim içinde olmadan, doğrudan mikroşerit yama anten olarak yapılan bir simülasyon da mevcuttur. Gerçekleme imkanı bulunmamasından dolayı, simülasyonda test sıvısını gerçekleyen denemeler de yapılmıştır. Simülasyon aşamasında elde edilen sonuçlara göre, tasarımı yapılmış anten Şekil 20’de görüldüğü üzere 1.35-1.57 GHz bant aralığında(WMTS dahil) ve 2-2.18 GHz bant genişliklerinde (UMTS dahil) çalışmaktadır. Çalışma aralığı olarak elde edilen değerler, tasarım sürecinde hedeflenen gereklilikleri kapsadığından ötürü anten yeterlidir.



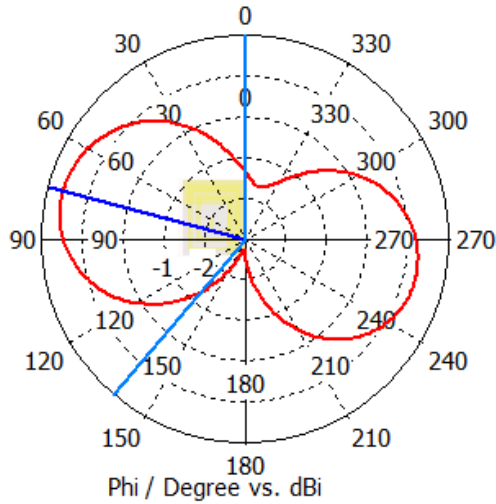
Şekil 20 - Antenin Geri Dönüş Kaybını Gösteren S-Parametresi Grafiği

Önerilen antenin geri dönüş kaybı Şekil 20'deki gibidir. Grafikte 2 farklı geri dönüş kaybı gösterilmiş olup, bunlar: test sıvısı modeli(TSM) içinde simüle edilen ve test sıvısı modeli olmayan(TSO) olarak gösterilmiştir. WMTS ve UMTS bantları grafikte 1 ve 2 nolu imleçler ile gösterilmiştir.

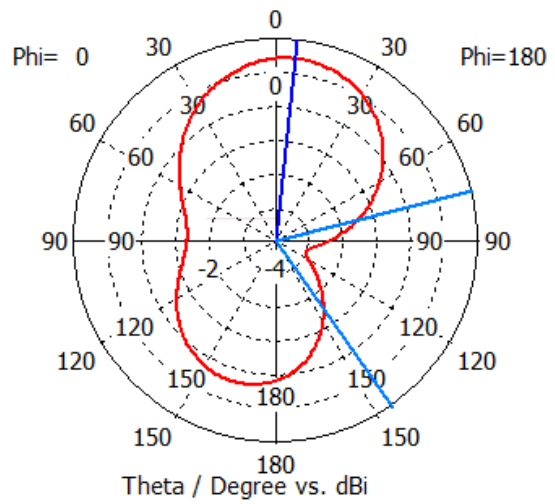
TSO anten sadece 2.3GHz bandında ışıma yaparken, TSM antenin WMTS ve UMTS bantlarını kapsayacak bant genişliklerinde çalışmaktadır. TSM anten için geri dönüş kaybı WMTS bandında yaklaşık -17 dB olmasının yanı sıra UMTS bandında -33 dB'dir.

Antenin ışıma özellikleri açısından da çalışmalar yürütülmüştür. Aşağıdaki şekillerde çalışılması beklenen her iki frekans için de uzak alan(farfield) ışıma örnekleri açısıl($\theta = 90$) ve yükselim ($\varphi = 0$) olarak simüle edilmiştir.

Simüle edilmiş tasarımın 2.1 GHz frekansındaki ışıma örnekleri aşağıdaki gibidir.

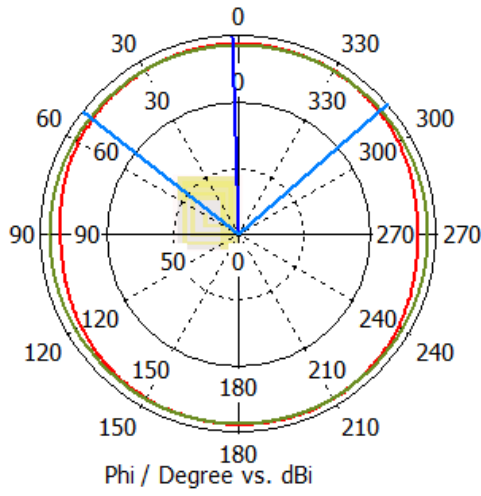


Şekil 21 – 2.1GHz Uzak Alan Grafiği (Theta=90)

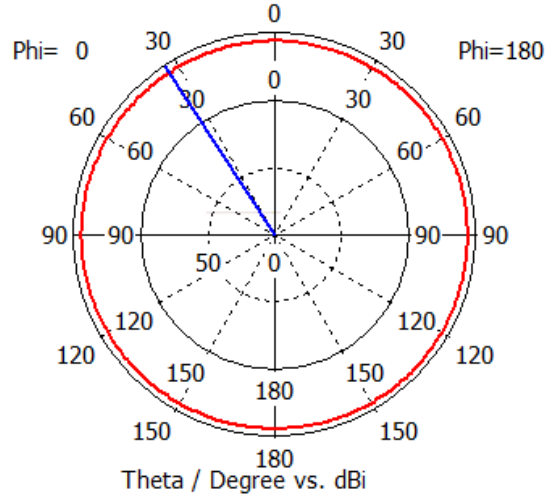


Şekil 22 – 2.1 GHz Uzak Alan Grafiği (Phi=0)

Simüle edilmiş tasarımın 1.43 GHz frekansındaki ışıma örnekleri aşağıda verilmiştir.



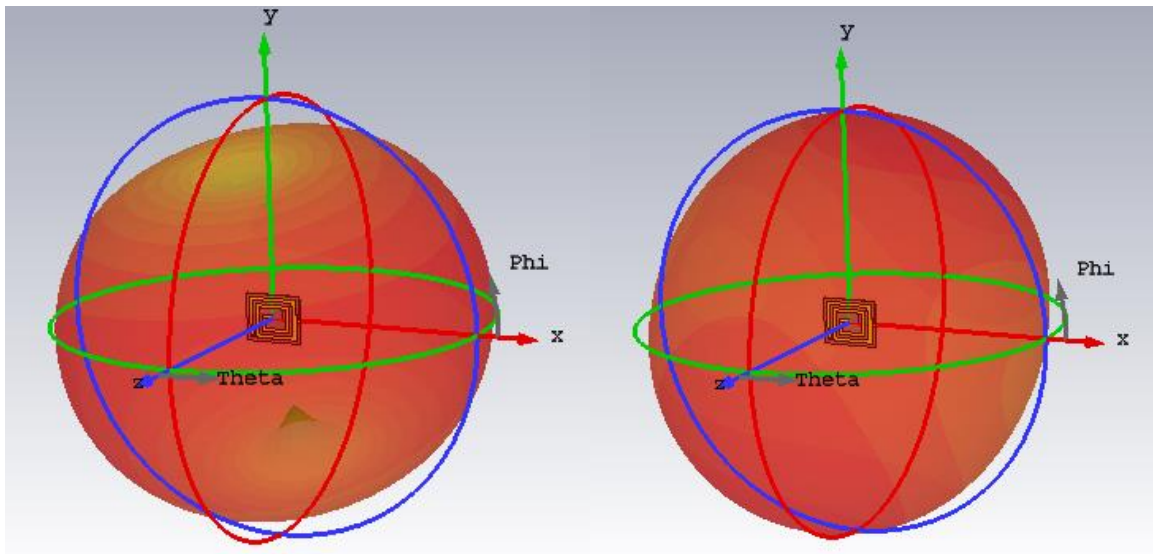
Şekil 23 - 1.43GHz Uzak Alan Grafiği (Theta=90)



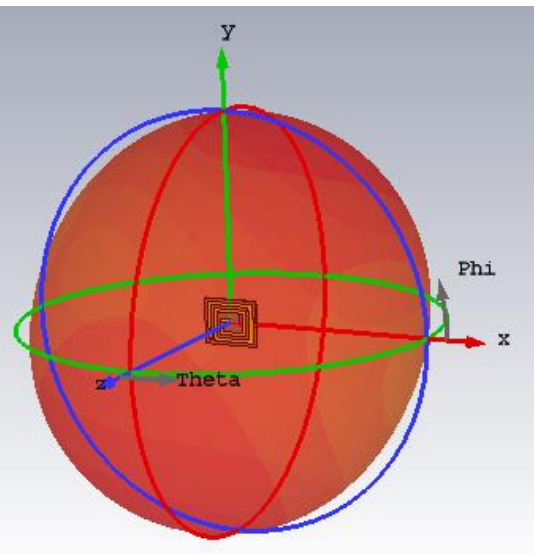
Şekil 24 - 1.4GHz Uzak Alan Grafiği (Phi=0)

Her iki simülasyon sonucunda da ışımlar vücuttan dışarı doğru yönelim göstermektedir. Açısal düzlemde (Theta=90) her iki frekans için de ışıma yönelimleri neredeyse her yönde gerçekleşmektedir. Yükselim düzleminde ise 1.43 GHz frekansı yine her yönde ışıma yaparken, 2.1 GHz frekansı sekiz şeklinde bir ışıma gerçekleştirmektedir.

Aşağıdaki şekillerde 3 boyutlu olarak uzak alan abs grafiği ile ışımlar gösterilmiştir.



Şekil 25 - 1.4GHz için 3B Işıma Durumu



Şekil 26 - 2.1GHz için 3B Işıma Durumu

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında spiral şekilli, WMTS ve UMTS bantlarında çift bant olarak çalışan implant edilebilir(ekit) bir biyoteleometri anteni tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Günümüzde yaygınlaşan medikal ve vücut içi cihazların iletişimi için sadece WMTS gibi medikal bantlarda değil, UMTS bandında da veri alışverişi yapılabileceği gösterilmiştir. Hızla gelişmekte olan implant cihazlar ve sensörlerin teknolojisinin kablosuz haberleşebileceği farklı bantlar kullanılması yeniliklerin de önünü açacaktır.

Antenin tasarımı sürecinde kısa devre pini, dönel şekil ve kesilmiş haldeki toprak bileşenlerin boyutun küçültülmesinde önemli rol aldığı gözlenmiştir. İmplant edilebilir antenler için oldukça önemli olan boyut faktörünü ön planda tutan bu özellikler üzerinden çalışma yapılmıştır. Belirlenen frekans bantlarında çalışması için gereklilere uyulurken boyuttan da feragat edilmemiştir. Bu tasarım mevcut boyutu ile benzeri uygulamalarda kullanılan pek çok antenden küçük olması yönüyle öne çıkmaktadır. Kendine özgün olarak tasarlanmış anten tüm anten parametrelerine uygun olduğunu simülasyon sonuçlarıyla göstermiştir.

Gelecekteki çalışmalarda antenin gerçekleştirilmesi ve deneysel olarak da gözlenmesi planlanmıştır.

REFERANSLAR

- [1] Balanis, C. A., 1997. Antenna Theory: Analysis and Design, Second Edition, Arizona state University. John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Basir A, Bouazizi A, Zada M, Iqbal A, Ullah S, Naeem U. A dual-band implantable antenna with wide-band characteristics at MICS and ISM bands. Microw Opt Technol Lett. 2018;1–5.
- [3] Zengin, F., Türetken, B. Akkaya, E. ve San, S.E., Design and realization of ultra wideband implant antenna for biotelemetry systems. 1 - 4. 10.1109/URSIGASS.2011.6051320.
- [4] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300GHz, IEEE Standard C95.1, 1999.
- [5] Changrong, L., Yong-Xin, G., Shaoqiu X., Compact Dual-Band Antenna for Implantable Devices, Ieee Antennas And Wireless Propagation Letters, Vol. 11, 2012
- [6] Milligan, T.A., 2005. *Modern Antenna Design*, John Wiley & Sons Publication, New Jersey.
- [7] Çakmak, G. Özen, Ş. ve Başaran, S.C. “Biyomedikal Uygulamaları için Kompakt Anten Tasarımı”, 2. Ulusal EMC Konferansı, 1-4, 2013.
- [8] <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/mobility-division/wireless-medical-telemetry-service-wmts>
- [9] Uras,E., 2016, Medikal Uygulamalar İçin Mikroşerit İmplant Antenlerin Sayısal Analizi ve Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
- [10] Gökçe,B., 2009. Umts Uyumlu Cep Telefonları için mikroşerit Yama Anten Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [11] Harith, Z., 2005. Design of a Circular Polarization Microstrip Patch Antenna at 2.4 GHz, Universiti Teknologi Malaysia.
- [12] A. Kiourti, M. Tsakalakis, and K. S. Nikita, Miniature Scalp-Implantable Antennas for Telemetry in the MICS and ISM Bands: Design, Safety Considerations and Link Budget Analysis, Ieee Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 60, No. 8, August 2012
- [13] <https://www.rogerscorp.com/-/media/project/rogerscorp/documents/advanced-connectivity-solutions/english/data-sheets/tmm-thermoset-laminate-data-sheet-tmm3----tmm4----tmm6----tmm10----tmm10i----tmm13i.pdf>
- [14] S. Yan, P. J. Soh and G. A. E. Vandenbosch, "Dual-Band Textile MIMO Antenna Based on Substrate-Integrated Waveguide (SIW) Technology," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 11, pp. 4640-4647, Nov. 2015, doi: 0.1109/TAP.2015.2477094.