

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR MİKRODALGA ANTENİN
IŞIMA ANA HÜZMESİNİN AYARLI BİR
TOPRAK DÜZLEMİ İLE YÖNLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serkan YILDIZ**

Anabilim Dalı : Elektronik&Haberleşme Mühendisliği

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR MİKRODALGA ANTENİN
IŞIMA ANA HÜZMESİNİN AYARLI BİR
TOPRAK DÜZLEMİ İLE YÖNLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Serkan YILDIZ
(504091380)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cevdet IŞIK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Mesut KARTAL (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

Aileme

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda fikri katkılarından dolayı sayın Dr. Cahit KARAKUŞ'a (Kültür Ü. M.Y.O) ve Cenk TANRIVERDİLER'e (AVEA), bana bu konuda çalışma olanağı veren tez danışmanım sayın Doç. Dr. Cevdet IŞIK'a (İTÜ. E.E.F), anten ölçümlerini gerçekleştirmemde laboratuvar imkanlarını kullanmama izin veren ve yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Bahattin TÜRETKEN'e (TÜBİTAK-UEKAE), tez yazımında beraber çalıştığım arkadaşım Cihad YURT'a ve her zaman maddi manevi desteklerini hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2011

Serkan Yıldız

Elektrik-Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	4
1.2 Tez Organizasyonu	5
1.3 Kablosuz Haberleşme Sistemleri	5
1.4 UMTS	7
2. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ ve ÖZELLİKLERİ	9
2.1 Temel anten parametreleri	9
2.1.1 Empedans bant genişliği	9
2.1.2 Işıma örüntüsü	12
2.1.3 Yarım güç hüzm genişliği	14
2.1.4 Yönelimlilik (Directivity)	15
2.1.5 Verimlilik	17
2.1.6 Kazanç	18
2.1.7 Polarizasyon	18
3. DÜZLEMSEL MONOPOL ANTENLER.....	21
3.1 Monopol Antenler	21
3.2 Görüntü Teoremi (The Image Theory).....	24
3.3 Sonlu Bir Toprak Parçasının Monopol Antene Etkisi	24
3.4 Düzlemsel Monopol Antenler	26
3.4.1 Düzlemsel monopol antenlerin teorik anlatımı	27
3.4.2 Düzlemsel monopol antenlerin genel özellikleri.....	29
3.4.3 Düzlemsel monopol anten çeşitleri	29
3.4.4 Literatürdeki düzlemsel kare monopol antenler.....	30
3.4.4.1 Düzlemsel kare monopol anten	30
3.4.4.2 Çoklu servis mobil uygulamaları için inovatif geniş bant düzlemsel monopol antenler	31
3.4.4.3 Geniş bant çapraz plakalı monopol anten	32
3.4.4.4 Geniş bant yönsüz metal-plaka monopol antenlerin tasarımı	33
4. YENİDEN YAPILANDIRILABİLİR ANTENLER	35
4.1 Yeniden yapılandırılabilir Antenlerin Sınıflandırması ve Kategorileri.....	35
4.2 Yeniden yapılandırılabilir Antenlerin Fonksiyonel Mekanizması	36
4.3 Literatürdeki Yeniden Yapılandırılabilir Antenler	37
4.3.1 Anahtarlama mekanizması kullanan yeniden yapılandırılabilir antenler	37

4.3.2 Kapasitör ve varaktör kullanılarak yapılan yeniden yapılandırılabilir antenler	40
4.3.3 Mekanik olarak yeniden yapılandırılabilir antenler	41
4.3.4 Ön koşullandırma devresi kullanılarak yapılan yeniden yapılandırılabilir antenler	44
4.3.5 Yeniden yapılandırılabilir anten dizileri.....	44
4.3.6 Yeniden yapılandırılabilir besleme devresi kullanılarak yapılan antenler	45
4.4 Tekrar Yapılandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması	45
4.5 Elektriksel ve Mekanik Eğim Verme ve Yatay Işıma Örüntüsüne Etkisi	46
4.6 Elektriksel ve Mekanik Eğim Vermenin Birlikte Kullanılması	47
5. ANTEN TASARIMI ve BENZETİMİ	51
5.1 Tasarımın Amacı.....	51
5.2 Anten Tasarımı	51
5.3 Benzetim.....	56
5.4 Ansoft HFSS Yazılımı	56
5.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)	56
5.6 Özet	57
6. BENZETİM ve ÖLÇÜM SONUÇLARI	59
6.1 Giriş	59
6.2 Antenin Geri Dönüş Kaybı (Return Loss).....	59
6.3 Antenin Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)	61
6.4 İkincil Parabolik Toprak Plakasının Rezonans Frekansına Etkisi.....	63
6.5 Üç Boyutlu Uzak Alan Işıma Örüntüleri.....	64
6.6 Parabolik Toprak Plakasının Yükseltisinin Etkisi	65
6.7 Parabolik Toprak Tabakasıyla Antenin Hüzme Kontrolü	66
6.8 İki Boyutlu Uzak Alan Örüntüleri	71
6.8.1 GSM 1800MHz.....	72
6.8.2 UMTS 2000MHz	74
6.9 Ölçüm Sonuçları	75
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	79
EKLER	87

KISALTMALAR

ADSL	: Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPS	: Advanced Mobile Phone System
CDMA	: Code Division Multiple Access
CDMA2000 1xEV-DO	: CDMA Evolution-Data Optimized
CST	: Computer Simulation Technology
D-AMPS	: Digital AMPS
DCS	: Digital Cellular Service
EDGE	: Enhanced data rate for GSM Evolution
ETSI	: European Telecommunications Standards Institute
FEM	: Finite Element Method
VSWR	: Gerilim Duran Dalga Oranı
GPRS	: General Package Radio Service
GSM	: General System Mobile
HFSS	: High Frequency Structure Simulation
IC	: Integrated Circuit
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	: Industrial, Scientific and Medical
IS-95	: Interim Standard 95
ITU	: International Telecommunication Union
MEMS	: Micro-Electro-Mechanical Switch
NAMPS	: Narrowband AMPS
NMT	: Nordic Mobile Telephone
NTT	: Nippon Telegraph and Telephone
OPOMEX	: One Port Multiply Excited
PCB	: Printed Circuit Board
PCS	: Public Communication System
PVDF	: Polyvinylidene Fluoride
PZT	: Piezoelectric Actuators and Translators
RAS	: Remote Antenna Azimuth
RAB	: Remote Antenna Beamwidth
RET	: Remote Electrical Tilt
RF	: Radio Frequency
TDMA	: Time Division Multiple Access Nordic Mobile Telephone
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UEKAE	: Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü
UNII	: Unlicensed National Information Infrastructure
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
UWB	: Ultra Wide Band
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
3G	: Third Generation

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Farklı kablosuz haberleşme teknolojileri.	7
Çizelge 3.1 : Bazı monopol antenler ve karakteristik özellikleri [6].....	23
Çizelge 6.1 : Anten kazançları [dB].....	65

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Farklı kablosuz haberleşme teknolojilerinin çalışma bantları [4].....	2
Şekil 1.2 : Farklı derecede serbestisi olan hüzmeleri yeniden yapılandırılabilir anten ailesi [5].....	2
Şekil 1.3 : Kablosuz haberleşme şebekesinin çalışm çevrimi [5].....	3
Şekil 2.1 : İletim hattı modeli [12].....	10
Şekil 2.2 : Dipol anten benzetimi ve CST Microwave Studio’da çıkarılan 3 boyutlu ışım örüntüsü.....	13
Şekil 2.3 : Yarım dalga dipolünün iki boyutlu ışım örüntüsü çizimi: θ değişken $\Phi = 0^\circ$ (sol) ve Φ değişken $\theta = 90^\circ$ (sağ) [12].....	13
Şekil 2.4 : CST Microwave Studio ‘da benzetimi yapılan horn anten modeli ve 3 boyutlu ışım örüntüsü.....	15
Şekil 2.5 : CST MW Studio’da benzetimi yapılan ışım örüntüleri, : θ değişken $\Phi = 0^\circ$ Φ değişken $\theta = 0^\circ$ (sağ) [12].....	15
Şekil 3.1 : Mükemmel elektrik iletken üzerindeki monopol (a) ve uzaydaki eş değer kaynağı (b) [14].....	22
Şekil 3.2 : Görüntü Teoremi [6].....	23
Şekil 3.3 : Görüntü Teoremi [6].....	24
Şekil 3.4 : Farklı şekillerde monopol antenler [6].....	25
Şekil 3.5 : Toprak plakasının monopol antenin ışım örüntüsüne etkisi [6].....	26
Şekil 3.6 : a) Havada asılı mikrostrip yama anten. b) Modifiye edilmiş mikrostrip yama anten, yan besleme ile birlikte. c) Düzlemsel monopol anten [20].....	28
Şekil 3.7 : Ortogonal Kare Monopol (b) yarı dairesel tabanlı ortogonal kare monopol [31].....	31
Şekil 3.8 : Kare monopol, (b) Kısa devre pinli kare monopol, (c) İki adet kısa devre pinli kare monopol. d) Ters papyon tipi monopol. e) Tek kısa devre pinli papyon monopol. f) İki kısa devre pinli papyon monopol [21].....	31
Şekil 3.9 : Yukarıda görülen monopol antenlerin 50Ω ’a göre VSWR değerleri [21].....	31
Şekil 3.10 : (a) Çapraz plaka monopol anten, (b) Ölçülen geri dönüş kaybı değeri [32].....	32
Şekil 3.11 : 4GHz’te ölçülen ışım örüntüleri [32].....	33
Şekil 3.12 : İki çapraz plakalı ve üç çapraz plakalı antenler için 12.5GHz-22.5GHz arası ölçülen azimut (yatay) düzlemi ışım örüntüleri [33].....	34
Şekil 4.1 : 6 tane MEMS cantilever tipi kapasitör bulunduran yeniden yapılandırılabilir anten: a) üstten görünüş, b) yan görünüş [49].....	38
Şekil 4.2 : Yeniden yapılandırılabilir düzlemsel dipol anten tasarımı [50].....	39
Şekil 4.3 : Monopol ile kollar arası anahtar açık olduğu ve tek bir kol anahtarlandığı durum için, a) $f_1 = 1.85\text{GHz}$ ’te yüzey akı dağılımı, b) $f_2 = 3.4\text{GHz}$ ’te akım dağılımı [50].....	39
Şekil 4.4 : Tekrar yapılandırılabilir ayrımsal anten [50].....	40

Şekil 4.5 : Yeniden yapılandırılabilir OPOMEX dizi yapısı [51].....	40
Şekil 4.6 : Farklı ön koşullandırma devresi kullanılan yeniden yapılandırılabilir antenler [37].....	44
Şekil 4.7 : Yeniden yapılandırılabilir çok fonksiyonlu anten dizisi [63]: (a) sol el dairesel polarizasyon, b) sağ el dairesel polarizasyon.....	44
Şekil 4.8 : Yeniden yapılandırılabilir anten dizisi [45].....	45
Şekil 4.9 : Yeniden yapılandırılabilir anten yapısı [43].....	45
Şekil 4.10 : Hüzmenin aşağı eğimlendirilmesi ile kazancın yatay ekseninde değişimi [5].....	47
Şekil 4.11 : Eğim verme mekanizmalarının birlikte kullanılması [5].....	48
Şekil 4.12 : Mekanik ve elektriksel eğim verme mekanizmaları arasındaki fark [5].....	48
Şekil 4.13 : Yatay eksenindeki ışıma örüntüsü değişimleri arasındaki fark [5].....	49
Şekil 5.1 : Amaçlanan anten geometrisi.....	52
Şekil 5.2 : Amaçlanan antenin üstten görünüşü.....	53
Şekil 5.3 : Parabolik toprak plakasının üst kenar çizgisinin üç boyutlu değişimi.....	54
Şekil 5.4 : Parabolik toprak plakasının üst kenar çizgisinin yandan görünüşü.....	54
Şekil 5.5 : Parabolik toprak plakasının üstten görünüşü.....	55
Şekil 5.6 : Antenin laboratuvarında yapılan modeli.....	55
Şekil 6.1 : Yansımasız ortam laboratuvarı ölçüm düzeneği.....	59
Şekil 6.2 : Tasarlanan antenin simüle edilen geri dönüş kaybı.....	60
Şekil 6.3 : Tasarlanan antenin ölçülen geri dönüş kaybı.....	61
Şekil 6.4 : Antenin simüle edilen derilim duran dalga oranı (VSWR) değeri.....	62
Şekil 6.5 : Yapılan antenin ölçülen derilim duran dalga oranı (VSWR) değeri.....	62
Şekil 6.6 : Anten toprak plakasının geri dönüş kaybına etkisi.....	63
Şekil 6.7 : Benzetimi yapılan antenin üç boyutlu ışıma örüntüleri, a) 1.8GHz, b) 1.9GHz, c) 2GHz, d) 2.2GHz.....	64
Şekil 6.8 : Yapılan antenin ölçülen 3 boyutlu ışıma örüntüleri, a) 1.8GHz, b) 1.9GHz, c) 2GHz, d) 2.2GHz.....	65
Şekil 6.9 : Parabolik toprak plakasının yükseltisinin antenin geri dönüş kaybına etkisi.....	66
Şekil 6.10 : Farklı ϕ açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinde kazancın θ açısı üzerinden değişimi.....	67
Şekil 6.11 : Farklı ϕ açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinde kazancın θ açısı üzerinden değişimi.....	67
Şekil 6.12 : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.....	69
Şekil 6.13 : Farklı ϕ (Phi) açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinin geri dönüş kaybına etkisi.....	71
Şekil 6.14 : Farklı ϕ (Phi) açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinin geri dönüş kaybına etkisi.....	71
Şekil 6.15 : 1.8GHz'te düşey düzlemde ışıma örüntüsü.....	72
Şekil 6.16 : 1.8GHz'te $\theta = 0$ ve $\theta = 40$ derece açılardaki yatay düzlemdeki ışıma örüntüsü.....	73
Şekil 6.17 : 2GHz'te düşey düzlemde ışıma örüntüsü.....	74
Şekil 6.18 : 2GHz'te $\theta = 0$ ve $\theta = 40$ derece açılardaki yatay düzlemdeki ışıma örüntüsü.....	75
Şekil 6.19 : 1.8GHz'de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde).....	76
Şekil 6.20 : 2GHz'de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde).....	77
Şekil 6.21 : 2.2GHz'de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde).....	77

Şekil 6.22 : Antenin 1.8-2.2GHz’de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntülerinin kartezyen koordinatlarda gösterimi.....	78
Şekil A.1 : Antenin ölçülen 3 boyutlu ışıma örüntüleri: a) 1.7GHz, b) 2.1GHz.....	89
Şekil A.2 : Antenin ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde): a) 1.7GHz, b) 1.9GHz, c) 2.1GHz, d) 2.3GHz, e) 2.4GHz, f) 2.5GHz.....	90
Şekil A.3 : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.....	91

BİR MİKRODALGA ANTENİN IŞIMA ANA HÜZMESİNİN AYARLI BİR TOPRAK DÜZLEMİYLE YÖNLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tezde, GSM 1800MHz ve UMTS 2000MHz bandında çalışmaya uygun, hüzmeye yönlendirmeli bir düzlemsel monopol anten tasarımı, benzetimi ve testleri anlatılmıştır. Son yıllarda hüzmeye yönlendirmeli anten sistemlerine yönelik çalışmalar artmıştır. Bunda, kablosuz haberleşme sistemlerindeki artan veri hızı talepleri ve kullanıcı sayısı etkili olmuştur. Akıllı anten sistemleri veya uyarlanabilir anten dizilerinin GSM baz istasyonlarında kullanımı önerilmiştir. Fakat bu çok yaygınlaşmamıştır. Zira sistemi kurmak yüksek bir maliyet gerektirir. GSM şebekelerinde yanyana olan hücrelerdeki girişimi azaltmak için eğim verme mekanizmaları kullanılmaktadır. Bu eğim verme mekanizmaları elektriksel ve mekanik eğim verme olarak ikiye ayrılır. Antenin yatay veya düşey düzlemdeki ışımaya örüntüsüne etkiyerek, hücrenin kapsama alanı değiştirilir. Fakat bu mekanizmaların sunduğu hareket kabiliyeti sınırlıdır. Özellikle kullanıcı trafiği yoğunluğunun, hücre içerisinde gün içerisinde belli saatlerde değiştiği durumlarda, antenin yayın yönünü veya kapsama alanını değiştirmek, GSM sisteminin etkin kapasite kullanımını artıracaktır.

Bu amaçla geliştirdiğimiz anten, yeniden yapılandırılabilir bir yapıdadır. Monopol antenin toprak plakasının dinamik olarak değişiminin kontrol edilmesiyle, hüzmeyi yatayda yönlendiğini gösterilmiştir. Çalışmada antenin tasarımı (i), ANSOFT HFSS yazılımı ile benzetimi (ii) ve laboratuvar ölçümleri (iii) gösterilmiştir. Antenin tek bir yapılandırma için test sonuçları verilmiştir. Benzetim sonuçları ile antenin hüzmeyi yatayda 360 derece çevrilebildiği gösterilmiştir. Benzetim sonuçları ve ölçüm sonuçları büyük oranda uyumaktadır. İlerdeki bir çalışma olarak geliştirilen antenin toprak plakasının dinamik olarak değiştirilmesi ile bu antenin ışımaya örüntüsünün 360 derece çevrilebileceğini, test sonuçları destekler niteliktedir. Antenin kazancı 1.7GHz-2.3GHz bandında 5-7dB arasında olup yatayda ve düşeyde neredeyse değişmezdir. Antenin ışımalarının maksimum olduğu doğrultu yatayla 40 derece civarı bir açı yapmaktadır bu durum antenin baz istasyonu kulesinde uygun konumlandırıldığında gücün hepsini sahaya verebilmesi ve diğer yönlerde gereksiz yayılım yapmamasını sağlayacaktır.

DIRECTING MAIN RADIATION PATTERN OF A MICROWAVE ANTENNA BY USING RECONFIGURATED GROUND PLANE

SUMMARY

In this thesis, a new, reconfigurable, beam scanning planar monopole antenna designs are introduced for use in GSM 1800MHz and UMTS 2000MHz mobile communication systems as base station antennas. In last decades beamforming antenna systems are deeply studied by many researchers. It is a result of increasing demand on data rate and subscribers counts. Smart antenna systems or adaptive array antennas are suggested for usage in GSM base stations. Even it can be a complete solution for this challenges, it hasn't become widespread cause of its high cost. Several tilting mechanisms are used for decreasing interferences between adcesent GSM cells. Tilting mechanisms are divided two sections as electrical tilting and mechanical tilting. These mechanisms are based on affecting antennas horizontal and azimuth radiation patterns and changing their coverages. But these mechanisms mobility is limited. Especially the case of changing subscribers traffic density in specific hours of a day, controlling antennas radiation direction will increase the usage of capacity of a GSM cell.

The antenna which is designed for this propose has reconfigurable structure. It is demonstrated that with reconfiguring monopole antennas ground plane change the antenna horizontal radiation pattern in demanded direction. In this study, the antenna design (i), simulation results with using ANSOFT HFSS software and laboratory tests are introduced. The test result is given a one configuration of the antenna. Simulation results show the antenna horizontal radiation pattern can be rotate 360 degrees. As a future work, with adding to moving mechanism to the antenna ground plane can make possible rotation of horizontal radiation pattern. The antenna gain in 1.7GHz-2.3GHz frequency band is between 5-7dB and almost stable in horizontal and vertical plane. The antenna maksimum radiation direction has almost 40 degrees angle with horizontal plane. That shows if the antenna is placed in an appropriate position on a base station tower, all radiation of antenna can get to the ground and almost any power isn't wasted.

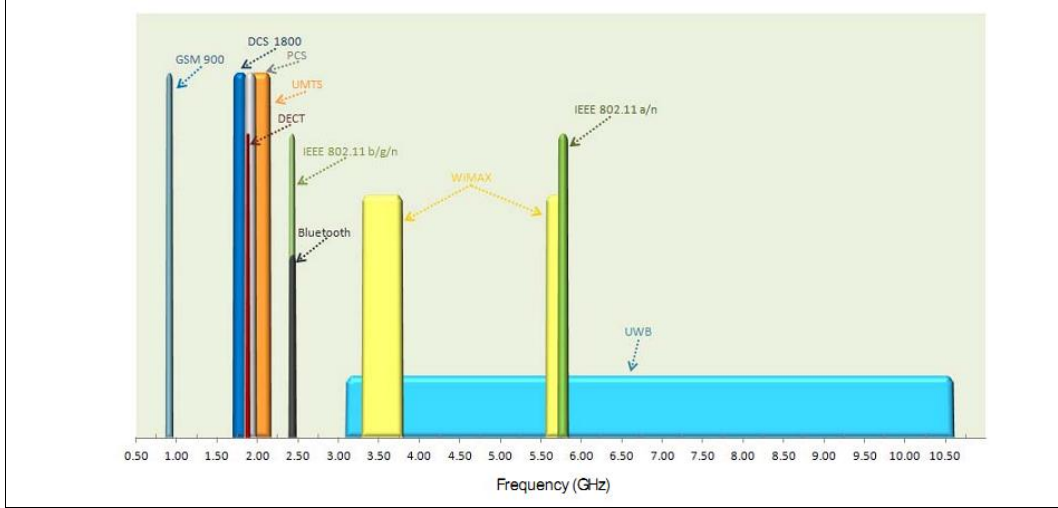
1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme sistemlerinin gelişiminde, servis kalitesi ve kapasitesini iyileştirmek birincil önceliktir. Bu iyileştirmeleri yaparken, iletişim kanalındaki gürültü, çoklu kanal etkisi, polarizasyon uyumsuzluğu ve girişim gibi etkenler göz önüne alınır. Düşük verici güçlerinde çalışmak sistemde tüm bu olumsuz etkilerin artmasına sebep olur. Fakat aynı zamanda spektrum daha etki kullanılmış ve yüksek veri hızlarında iletişim daha mümkün hale gelir.

Dizi antenler ve yeniden yapılandırılabilir antenlerin kullanılması servis kalitesini ve kapasitesini artırır. Dizi anten kullanılarak çoklu kanal etkisi azaltılabilir, hüzmeye kontrolü sağlanarak çevreden gelen girişimlere karşı sistem daha dayanıklı bir hale getirilebilir. Yeniden yapılandırılabilir antenler kullanılarak sistemin işlevselliği artırılabilir, değişen çevre şartlarına karşı sistem daha dayanıklı bir hale getirilebilir [1]. Örneğin, mobil cihazlarda kullanılan yeniden yapılandırılabilir antenlerle, gönderilen gücün yönü değiştirilerek gürültüye karşı üstünlük sağlanabilir ve böylece mobil cihazın batarya ömrü uzatılabilir. Yeniden yapılandırılabilir antenlerin dizi anten elemanı olarak kullanıldığı uygulamalar da vardır. Bu tip uygulamalarda anten dizisinin performansı dahada artırılmıştır [2].

Kablosuz haberleşmenin gelişimine yönelik ihtiyaçlarına cevap verebilecek anten tasarımlarına, her geçen gün yenileri eklenmektedir. Özellikle hücreli sistemlerde geniş bant anten tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mobil cihaz içindeki antenin farklı servisleri bulunduran frekans bandında çalışması istenmektedir [3].

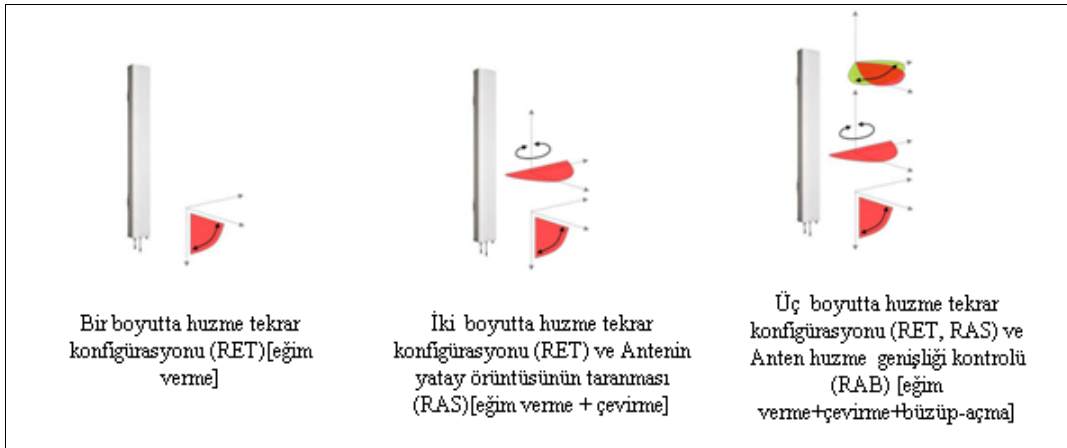
Şekil 1.1’de farklı kablosuz haberleşme serviserinin RF spektrumdaki rezerve edilen yerleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Farklı kablosuz haberleşme teknolojilerinin çalışma bantları [4]

Antenin farklı servislere hizmet verecek şekilde tasarlanırken, aynı zamanda çevresel koşullara karşıda iyi performans göstermesi istenmektedir. Tüm bu isteklerin cevap bulabilmesi dinamik anten sistemleriyle mümkün olur. Antenin çeşitli parametrelerinin çevre koşullarına göre kendiliğinden veya dış bir etken vasıtasıyla değiştirilmesi gerekir. Bu amaçla geliştirilen dizi antenler, yeniden yapılandırılabilir antenler ve hücresel sistemlerden aşağı eğim verme mekanizmalarıyla antenin çeşitli parametreleri değiştirilir.

GSM şebekelerinde kullanılan uzaktan elektriksel eğim verme (RET) mekanizması ile antenin yatayda hüzme genişliği uzaktan değiştirilebilmektedir [5].

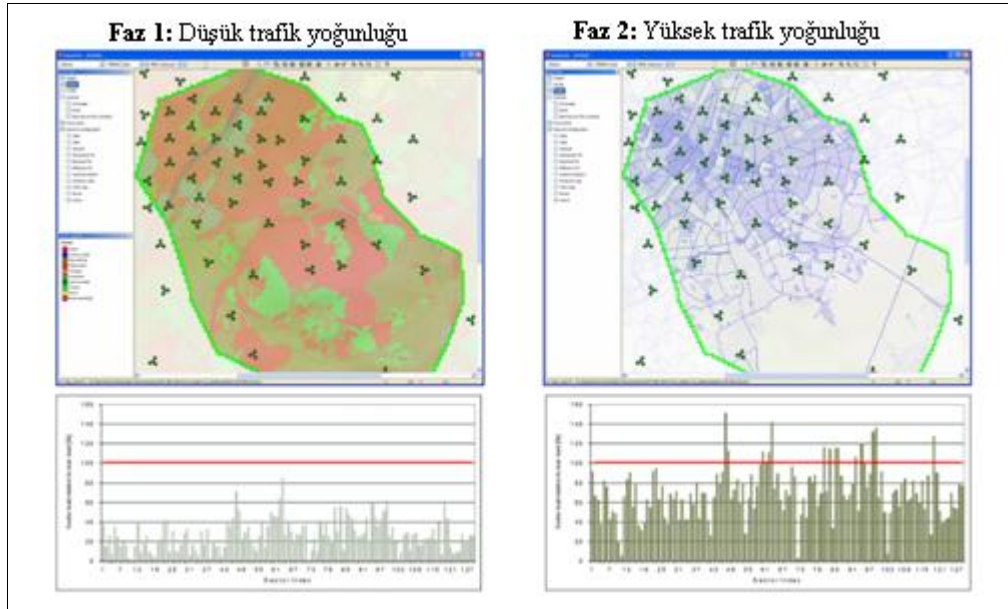


Şekil 1.2 : Farklı derecede serbestisi olan hüzmesi yeniden yapılandırılabilir anten ailesi [5].

Antenin hüzmesini kontrol etmeyle istenilen yukarıda anlatıldığı gibi, kapsama alanını değiştirme, kapasiteyi iyi kullanma ve artırma gibi amaçlardır. Hüzme kontrolüyle yapılmak isteneni daha iyi anlamak için Belçika/Bürüksel’de 129 farklı 3G/UMTS sitesinden alınana veriler kontrol edilmiştir. Çalışmada radyo şebeke planlama bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bu program, coğrafik veri, operasyonel hedef değerler ve trafik dağılımı verilerini toplayıp gösteren bir yazılımdır.

Faz 1 ‘de gösterilen şebekede trafik son derece düşüktür. Resmin altında görülen grafik, trafik yoğunluğu verilerini göstermektedir. Görüldüğü gibi sektörler karşılayabileceği trafik yoğunluğundan daha az seviyede çalışmaktadır. Bu şebeke için, kapasiteden çok girişim ve kapsama alanı bakımından sınırlı olduğu söylenebilir.

Faz 2’de gösterilen şebekede trafik yoğunluğu daha fazladır. Kullanıcı sayısı ve veri hızı arttığında, hücrenin kullanım oranı artmaktadır. Bu şeklin altındaki grafikte gösterilmiştir. Trafik dağılımının şekilde renk kodlarından anlaşılacağı üzere son derece homojenlikten uzak olduğu görülmektedir. Bazı hücrelerde trafik aşırı artmışken bazılarında taşıyabileceklerinden daha az oranda trafik vardır. Bunun sonucunda şebekeden istenen verim alınamamaktadır.



Şekil 1.3 : Kablosuz haberleşme şebekesinin çalışam çevrimi [5].

Bu çalışma sonucunda akla gelen ilk soru; hüzme kontrolü sağlayacak anten sistemlerinin kullanımının, farklı hücreler arasındaki trafik yoğunluğu, kapsama kalitesi, kapasite gibi konularda yarar sağlayıp sağlamayacağıdır.

Buna benzer bir durumda, gün içinde belli bölgelerde, belli saatlerde, kullanıcı trafik yoğunluğunun değişken olduğu durumdur. Sonuç olarak optimum kaynak kullanımı açısından, anten yayılım yönünün gün içerisinde kullanıcı trafik yoğunluğu verilerine göre değiştirmek, sistem verimliliğini artırmak bakımından önemlidir.

Bu tez çalışmasında, yukarıda sayılan, dizi antenler, yeniden yapılandırılabilir antenler ve eğim verme mekanizmalarıyla benzer amaçta, ikinci yöntemin bir alt şubesi sayılacak yeni bir yöntem üzerinde durulmuştur. Gerçekleştirilen çalışma ile GSM 1800MHz, UMTS 2000MHz şebekelerine, VSWR ve ışıma örüntüsü verileri bakımından uygun, aynı zamanda hüzme kontrolü amacını destekleyebilen bir anten modeli önerilmiş ve çalışırılığı benzetim ve ölçüm sonuçları ile ispatlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında GSM1800MHz ve UMTS 2000MHz bandında çalışan yeniden yapılandırmaya müsait bir düzlemsel monopol anten tasarlamaktır. Parabolitesi yeniden yapılandırılabilen ve monopol antenin ikincil toprak plakası olarak tanımlayacağımız yapı ile antenin ışıma örüntüsü yatay düzleminde değiştirilebilirken, antenin frekans cevabı, kazancı gibi diğer parametreleri sabit tutulabilmektedir.

Antenin yapımında kalkış noktası, monopol antenin toprak plakasındaki bir değişimin, ışımaya etkiyeceği teorik ön görüşüyle olmuştur [6]. Zira monopol anten için hayati önemi olan toprak plakasının, bazı doğrultuda uzun bazı doğrultuda kısa ve bazı doğrultuda yüksek bazı doğrultuda daha az yüksek oluşunun antenin ışımaya etkiyeceği kabuledilebilir bir yaklaşımdır. Özsoy ve Tekin [7], çalışmasında benzer mikrostrip yama antenin çevresine konan, konik bir yansıtıcı yüzey ile antenin yönelticiliğinin artırılıp azaltılabileceği gösterilmiş.

Benzer bir etkiyi yönsüz ışıyan bir monopol antenin kazancını, belli açılarda artırıp belli açılarda azalarak yapılabilirliğini araştırmak, tez çalışmasının sürecini özetlemektedir.

1.2 Tez Organizasyonu

Tez çalışmasının yazımındaki organizasyon, şöyle olmuştur;

Birinci bölümde, kablosuz haberleşmenin gelişimi özetlenmiş, tezin kalkış noktasındaki problemten bahsedilmiş ve mevcut çözümlerden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, antenin temel parametreleri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde, monopol antenin tanımı, teorisi ve referans monopol anten çalışmaları üzerinde durulmuş, bizim çalışmamızla benzer ve farklı yanları vurgulanmıştır.

Dördüncü bölümde, yeniden yapılandırılabilir antenler üzerinde durulmuş ve bizim çalışmamız açısından daha önce gerçekleştirilmiş bazı yapılar anlatılmıştır. Anten hüzmesine eğim verme mekanizmaları ve bunun bizim çalışmamızla olan benzerliği vurgulanmıştır.

Beşinci bölümde, amaçlanan anten tasarımı anlatılmıştır.

Altınca bölümde, benzetim ve ölçüm sonuçları verilmiş ve yorumlanmıştır.

Yedinci bölümde ise çalışma sonuçlandırılmış ve gelecek işlerden söz edilmiştir.

1.3 Kablosuz Haberleşme Sistemleri

Kablosuz haberleşme teknolojisi haberleşme endüstrisi içinde hızlı gelişen bir koldur. Kullanıcı sayısı her geçen gün artmaktadır. Bunun en büyük sebebi sağladığı mobilite ve yüksek hızda bilgi aktarımı kapasitesidir.

Sistemin temel yapısı, frekans tekrar kullanımını sağlamak için düşük güçte vericiler kullanılması esasına dayanır. Hücresel mobil haberleşme sistemi veya mobil sistemler birçok düğüm noktası veya baz istasyonu olan sistemlerdir. Mobil kullanıcı en yakın olduğu baz istasyonunun kapsamı içinde her noktada haberleşebilir.

Bu teknolojinin sunduğu bir çok servis bulunur bunlar; internet üzerinden ses aktarımı, akıllı ev uygulamaları, uzaklık ölçme, otomatik sensör şebekesi, otomatik yol tarifi, video telekonferans olarak sayılabilir.

Kablosuz haberleşme şebekesi 1960 ve 1970'lerde hücresel sistemin tasarımıyla birlikte hızlı bir şekilde gelişmiştir. Mobil veya hücresel şebekelerin gelişimi aşağıdaki şekilde olmuştur.

Hücresel tabanlı mobil haberleşme servisleri ilk defa Amrrikada Bell laboratuvarlarında 1970'lerin başında geliştirilmiştir. Nordik ülkelerinde 1981 yılında nordik mobil telefon (NMT) adında kullanılan haberleşme sistemi ilk hücresel haberleşme sistemi olmuştur.

İlk Amerikan hücresel sistemi, ileri mobil telefon sistemi (AMPS) olmuştur. AMPS 1983 yılında ortaya çıkmıştır ve 800MHz'den 900MHz'e kadar olan frekans bandını kullanmıştır. Bant genişliği ise her kanal için 30KHz olarak seçilmiştir. Frekans çoğullamalı çoklu erişim analog teknolojisini kullanmış ve sadece ses taşımıştır. 1980'lerin başında mobil telefon sistemi daha çok analog bir sistemdi.

AMPS ticari bir başarı olmasına rağmen kapasite ve güvenlik açıkları sistemin karadelikleri olmuştur. Analog sisemlerin artan talebe karşı, kapasite yetersizlikleri ve maliyet fazlalığı vardı. Tüm bunlar dijital teknolojiyi getirdi. Dijital sistem analog sisteme göre sinyalleşmeyi daha kolay sağlaması, interferansa karşı dayanıklı olması, artan kapasiteye cevap verebilmesi gibi üstünlükleri vardır.

AMPS daha sonra darbant AMPS (NAMPS)ve dijital AMPS (D-AMPS) şeklinde yenilenmiştir.

GSM, dijital TDMA sistemidir ve her 25 KHz için sekiz zaman aralığı kullanır. Avrupalılar tarafında geliştirilmiştir, ilk adı "Group Special Mobile" idi sonradan daha iyi çevrilebilmesi açısından değiştirilmiştir. ETSI tarafından standartları yayınlamıştır ve Avrupa, Asya ve artan oranda Amerika'da geniş uygulama alanı bulmuştur.

Hücresel haberleşme sistemlerine bakıldığında, birçok sistem herhangi bir standarda dayandırılmadan geliştirilmiştir. Bu durum birçok uyumsuzluk problemlerine sebep olmuştur. GSM'in standardizasyonu bu açıdan önemlidir.

1982 ila 1985 yılları arasında analog mu dijital mi? bir sistem kurulması tartışılmıştır. Birçok saha testinden sonra GSM için dijital bir sistem düşünülmüştür. Sonrasında dar bant mı? geniş bant mı? sorusu doğmuştur. Mayıs 1987'de dijital, darbant, zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) çözüm olarak seçilmiştir.

GSM, Avrupa ve Asya'da daha çok kullanılır. Amerikada 850MHz (hücresele haberleşme bandı) ve 1900MHz (PCS bandı) bantlarında çalışan GSM, diğer ülkelerde 900MHz ve 1900MHz (DCS bandı) bandında çalışır. 2.5G; GSM, GPRS olarak adlandırılır ve bu da EDGE denen 3G teknolojisine dönüşmüştür. CDMA Amerikada hızlı gelişen bir teknolojidir. IS-95.CDMA olarakta bilinen bu teknoloji rakiplerinden daha fazla kapasite sağlar. 800MHz ve 1900MHz bandında çalışır. WCDMA bir 3G sistemidir ve diğer bir adı da Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemidir (Universal Mobile Telecommunication System). Çalıştığı bant; 2000MHz bandıdır. CDMA 20001x ve CDMA20001x EV-DO, CDMA'nin yüksek sürümleridir. Temel ikinci nesil haberleşme sistemleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Farklı kablosuz haberleşme teknolojileri.

	Amaç	Frekans	
GSM	Dijital hücresele telefon sistemidir ve dünya genelinde kullanılır.	Amerika	850MHz (Hücresele Kullanım),1900MHz (PCS)
		Diğer	900 MHz, 1800 MHz (DCS)
CDMA (IS-95)	CDMA tabanlı ikinci nesil şebekeler	850MHz (Hücresele Kullanım),1900MHz (PCS)	
WLAN	Kablosuz internet erişimi	2.4 GHz, 5.2 GHz	

1.4 UMTS

UMTS, kapasite, veri hızı ve yeni kaliteli servisler gibi üstünlükleriyle, ikinci nesil sistemlerden sonra gelen devrim niteliğindeki bir sistemdir. Günümüzde 25 ülkede 60'tan fazla WCDMA teknolojisi kullanan 3G/UMTS şebekesi ticari olarak kullanımdadır. Asya, Avrupa ve Amerika'da 100'den fazla üretici ile sistem desteklenmektedir.

WCDMA, ilk defa Japon operatör NTT DoCoMo tarafından 2001 yılında ticari olarak uygulamaya başlamıştır. Üçüncü nesil mobil teknolojilerin en temel üyesi ve ITU tarafından tanımlanan 3G/UMTS sistemidir. Bu sistem mobil operatörlere, merkezi yerlerde artan ses ve veri trafiğini ciddi anlamda destekleyen, kapasite ve geniş bant imkanı sağlar.

Ayrıca yüksek veri hızı ve düşük fiyat artışı da 2G'ye kıyasla diğer yararlarıdır. ITU tarafından üçüncü jenerasyon IMT-2000 mobil servisleri için tanımlanan ve operatörlere lisanslanan 3G/UMTS sistemi, 5MHz kanal taşıyıcı genişliği ile ikinci nesil sistemlerle karşılaştırıldığında ciddi anlamda veri hızı ve kapasite imkanı açısından üstünlük sağlar. 5MHz'lik kanal taşıyıcı radyo kaynaklarının optimum kullanımını sağlar.

3G/UMTS teorik olarak, yüksek mobilite durumunda 384kbps, sabit durumda ise 2Mbps'a kadar veri hızı sağlar. Veri alma ve aktarmadaki veri hızları da simetrik olduğu için 3G/UMTS gerçek zamanlı video görüşmesi için, ADSL gibi veri alım ve aktarımda asimetri olan teknolojilere göre daha uygun olduğu anlaşılır. 3G/UMTS sisteminin diğer faydaları, güvenlik ve faturalama fonksiyonları, uluslararası mobilite sağlamaı, operatörlere 2G'den 3G'ye geçişte varolan sistemle benzerlikleri açısından izin vermesi şeklinde sıralanabilir.

2. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ ve ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde anten tasarımında kullanılan parametreler anlatılacaktır. Bu temel parametreleri verdikten sonra düzlemsel monopol antenin işleyişi daha iyi anlaşılacaktır. Bu bölümde en çok yararlanılan kaynak IEEE anten terimleri standardı [8] olmuştur.

Bazı faktörler benzetimler üzerinden anlatılmıştır. Gereken matematiksel formülasyonlar verilmiştir. Bu konu başlıklarının özel bir anten uygulaması yapmadan önce anlaşılması önemlidir.

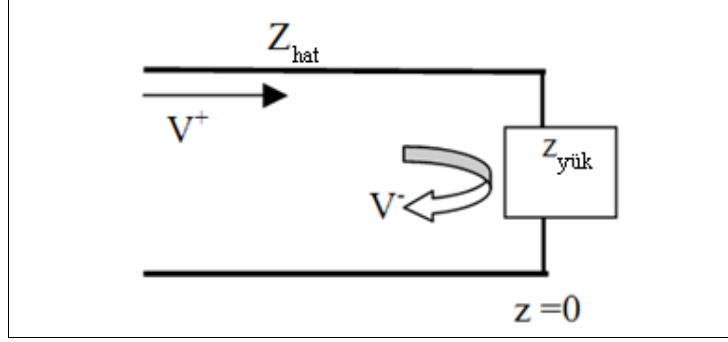
2.1 Temel anten parametreleri

En temel anten parametreleri bant genişliği, ışıma örüntüsü, yönelimlilik, kazanç ve verimliliklerdir. Diğer parametreler, yarı güç hüzmeye genişliği, polarizasyon ve kapsamadır. Tüm bu parametreler bir antenin özel bir uygulama için karakterizasyonunu ve optimizasyonunu yapmak açısından tam olarak belirlenmesi gerekir.

2.1.1 Empedans bant genişliği

Empedans bant genişliği, antenin giriş ile empedans uyumunun bir göstergesidir. Yansımalarından oluşan iletim kaybının %10'dan az olması gibi uygulamaya bağlı bir kriter belirlenir ve belirlenen bu kriterin ne kadar elde edildiğini empedans bant genişliğinden anlarız. Empedans bant genişliğinin belirlenmesi, ilgilenilen frekans bandında, gerilim durgun dalga oranının (VSWR) ve geri dönüş kaybının karakterize edilmesine bağlıdır.

VSWR ve geri dönüş kaybı ise yansıma katsayısı Γ 'nin ölçümüne bağlıdır. Γ ise Şekil 2.1'de görülen bir iletim hattı modelinde, hattın sonundan yansıyan dalga V_{o-} 'nin hattın başından gönderilen V_{o+} 'a oranı olarak belirlenir. Bunu hesaplamak için Denklem (2.1) kullanılabilir [9, 10, 11].



Şekil 2.1 : İletim hattı modeli [12].

$$\Gamma = \frac{V_{o-}}{V_{o+}} = \frac{Z_{yük} - Z_{hat}}{Z_{yük} + Z_{hat}} \quad (2.1)$$

Z_{hat} iletim hattının empedansı ve $Z_{yük}$ yükün (antenin) empedansıdır. İletim hattındaki voltaj ve akım ise yükten uzaklık z 'nin bir fonksiyonudur ve Denklem (2.2) ve Denklem (2.3) ile ifade edilir.

$$V(z) = V_{o+}e^{-j\beta z} + V_{o-}e^{j\beta z} = V_{o+}(e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}) \quad (2.2)$$

$$I(z) = 1/Z_o (V_{o+}e^{-j\beta z} - V_{o-}e^{j\beta z}) = V_{o+}/Z_o (e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}) \quad (2.3)$$

Burada $\beta = 2\pi/\lambda$

Yansıma katsayısı Γ saçılım parametreleri matrisindeki S_{11} 'e denk düşer. Mükemmel bir empedans uyumu, $\Gamma = 0$ ile ifade edilir. En kötü empedans uyumu ise $\Gamma = -1$ olduğu kısa devre ve $\Gamma = 1$ olduğu açık devre durumları için olur. Antenin uçlarından yansıyan güç empedans uyumunun temel unsurudur. Zaman-ortalama güç akışı genellikle yüke ulaşan net gücü belirlemek için, hat boyunca ölçülür. Hattan akan ortalama güç ise genellikle yüke ulaşan net ortalama güç olarak ifade edilir. Ortalama gelen güç, Denklem (2.4) ile verilmiştir:

$$P_{ort}^{gelen} = \frac{|V_{o+}|^2}{2Z_o} \quad (2.4)$$

Yansıyan güç, gelen gücün $|\Gamma|^2$ kadarı olarak Denklem (2.5) ile ifade edilir.

$$P_{ort}^{yansiyar} = -|\Gamma|^2 \frac{|V_o|^2}{2Z_o} \quad (2.5)$$

Yüke aktarılan net güç ise gönderilen ve yansıyan güçlerin toplamı kadardır ve Denklem (2.6) ile ifade edilir.

$$P_{ort} = [1 - |\Gamma|^2] \frac{|V_o|^2}{2Z_o} \quad (2.6)$$

Yüke aktarılan güç $(1-|\Gamma|^2)$ ile orantılıdır. Γ için kabul edilebilir bir değer olan yansıyan gücün %10 olması durumunda, $\Gamma = 0.3162$ olarak bulunur. Bir yük iletim hattı ile mükemmel bir empedans uyumu göstermezse, yükten geriye yansıyan dalgalar hat boyunca duran dalgalar oluşturacaktır. VSWR dediğimiz parameter ise duran dalğanın maksimum genliğinin minimum genliğe oranını ifade eder. Denklem (2.7) ile hesaplanır:

$$VSWR = \frac{V_{maks}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.7)$$

İyi bir empedans uyumu için arzu edilen VSWR oranı 2 veya daha altıdır. Bu VSWR limit değerleri için yukarıdaki denklemden Γ değeri hesaplanabilir. Geri dönüş kaybı diğer bir empedans uygunluk parametresidir ve Γ veya S_{11} 'e bağlıdır.

Anten geri dönüş kaybı Denklem (2.8) ile hesaplanabilir:

$$Geri Dönüş Kaybı = -10 \log |S_{11}|^2 \text{ veya } -20 \log(\Gamma) \quad (2.8)$$

İyi bir empedans uyumu için geri dönüş kaybının 10dB'den büyük olması istenir. Geri dönüş kaybı şanssız bir deyimdir. Zira pratikte kayıplar söz konusu olduğunda kayıpların küçük olmasının daha iyi olacağı beklentisi vardır. Fakat geri dönüş kaybının olabildiğince büyük olmasına çalışırız. Hat sonu kısa veya açık devre yapıldığında $|\Gamma| = 1$ ve Geri Dönüş Kaybı = 0 dB olur. Bu hatta verilen gücün

tamamıyla geri gelmesi demektir. Tersine hat karakteristik empedansı ile sonlandırıldığında $|\Gamma|=0$ ve Geri Dönüş Kaybı $= -\infty$ dB olur.

Özet olarak anten için istenen bir empedans uyumu $\Gamma < 0.3162$, VSWR < 2 , ve Geri Dönüş Kaybının > 10 dB olduğu durumda sağlanır.

2.1.2 Işıma örüntüsü

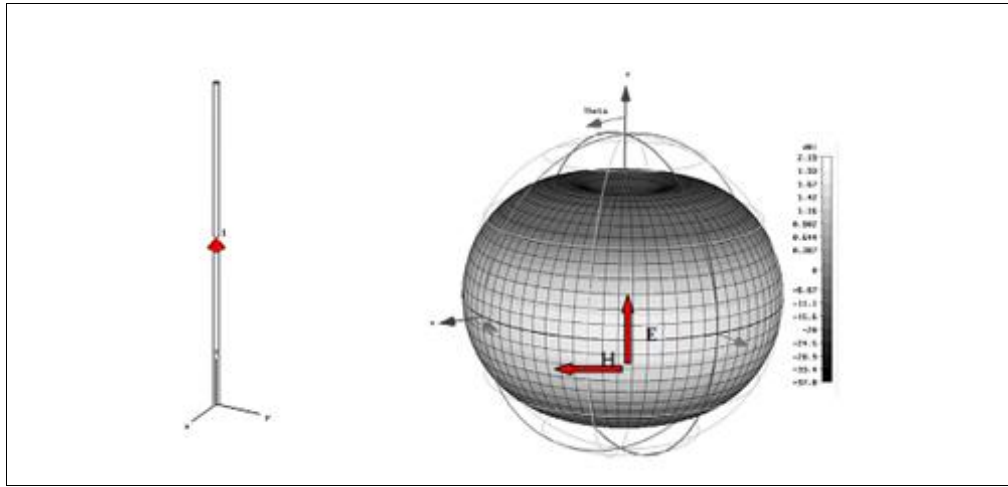
Antenin en temel tanımlayıcılarından birisi, ışıma örüntüsüdür. Bir uygulama için seçilecek antenin ışıma örüntüsü belirleyicidir. Örnek olarak hücresel haberleşmede, kullanıcıların yeri bilinmediğinden, kullanılan antenlerin ışıma örüntüsünün yönsüz (omnidirectional) olması istenir. Mobil kullanıcıyla iyi bir haberleşme için, antenden yayılan gücün kullanıcının etrafında her yöne eşit yayılması istenir. Uydu haberleşmesinde ise yüksek derecede yönelimli antenler kullanılır çünkü bu uygulamada yayılan gücün, bilinen belli bir yöne yayılması istenir. IEEE anten terimleri standardına [8] göre, antenin ışıma örüntüsü (veya anten örüntüsü) aşağıdaki gibi tanımlanır: “Uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak antenin ışıma özelliğinin matematiksel veya grafiksel bir gösterimidir. Işıma örüntüsü, çoğu durumda uzak alan bölgesinde tanımlanır ve yönlü koordinatların bir fonksiyonu olarak gösterilir. Işıma özellikleri, güç akış yoğunluğu, ışıma yoğunluğu, alan gücü ve polarizasyonu içerir.”

Üç boyutlu ışıma örüntüsü, anteni saran bir küre yüzeyi boyunca antenden yayılan bağıl ışıma gücünün, küresel koordinatlarda üç boyutlu gösterimidir. Küresel koordinat sisteminde x-z düzlemi (θ değişken ve $\phi = 0^\circ$) genellikle düşey düzlem (elevasyon düzlemi) olarak, x-y düzlemi (ϕ değişken ve $\theta = 90^\circ$) ise yatay düzlem (azimut düzlemi) olarak adlandırılır.

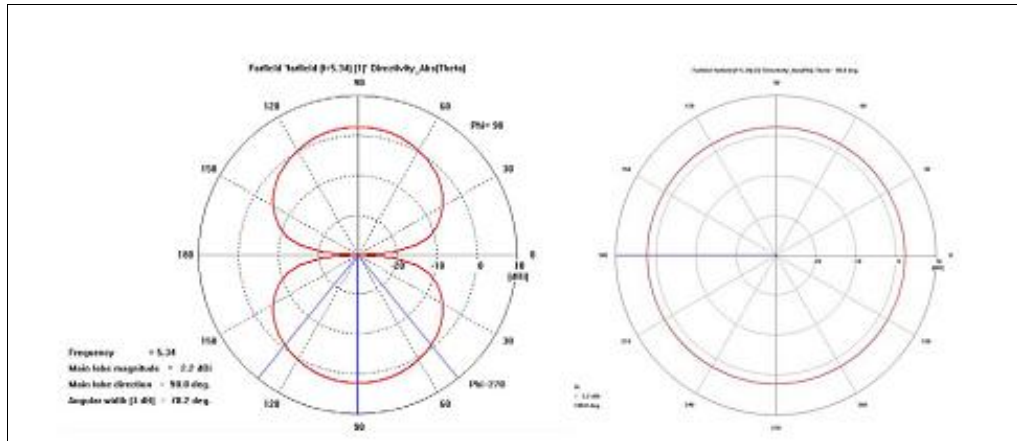
Genellikle düşey düzlem, elektrik alan vektörünü (E-düzlemi) ve maksimum ışıma doğrultusunu, yatay düzlem ise manyetik alan vektörünü (H- düzlemi) ve maksimum ışıma doğrultusunu gösterir. Şekil 2.3'te, θ veya ϕ 'den biri değişkenken, diğeri sabit bir değer aldığı durumdaki iki boyutlu ışıma örüntüsü çizilmiştir. Şekil 2.2'de yarım dalga dipolü ve bunun üç boyutlu ışıma örüntüsü gösterilmiştir. Kazanç dBi cinsinden ifade edilmiştir. Bu izotropik bir antene göre kazanç demektir. Şekil 2.3'te $\phi = 0^\circ$ iken θ değişken ve $\theta = 90^\circ$ iken ϕ değişken durumları için iki boyutlu ışıma örüntüleri verilmiştir. Şekil 2.2'de çok açık bir şekilde görüldüğü gibi, maksimum ışıma gücü $\theta = 90^\circ$ olan düzlem boyunca olmaktadır. Işımanın kör noktaları ise

ışırma örüntüsünden görüldüğü gibi, z eksenı boyunca uzanan dipolün sonlarında (veya $\theta = 0^\circ$ ve 180° iken) yer almaktadır. Bunların doğruluğunu iki boyutlu çizimlerden de görmek mümkündür.

Şekil 2.3'te antenin ışıma örüntüsü, yatay düzlem sabit tutulup, düşey düzlem (θ) hareketli (sol), ve düşey düzlem sabit tutulup (ışımının maksimum olduğı $\theta = 90^\circ$ doğrultusunda) yatay düzlem hareketli olduğı (sağ) durumdaki polar kordinattaki gösterimdir. Görüldüğü gibi üç boyutlu ışıma örüntüsü ile arasında bir fark gözükmez.



Şekil 2.2 : Dipol anten benzetimi ve CST Microwave Studio'da çıkarılan 3 boyutlu ışıma örüntüsü [12].



Şekil 2.3 : Yarım dalga dipolünün iki boyutlu ışıma örüntüsü çizimi: θ değışken $\Phi = 0^\circ$ (sol) ve ϕ değışken $\theta = 90^\circ$ (sağ) [12].

Üç boyutlu ışıma örüntüsünü, bir çok iki boyutlu ışıma örüntülerinin toplamıyla gösterilebilirken, en önemli iki tanesi E-düzlemi ve H-düzlemi örüntüleridir. E-düzlemi elektrik alan vektörünü ve maksimum ışımanın yönünü, H-düzlemi ise

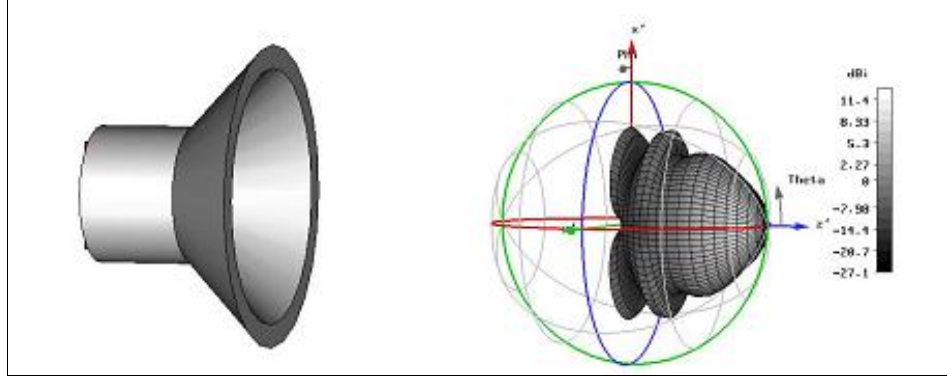
manyetik alan vektörünü ve maksimum ışıma yönünü gösterir. Şekil 2.3 basit olarak üç boyutlu ışıma örüntülerinden iki adet “kesimi” gösterir ve üç boyutlu örüntü bu iki boyutlu gösterimlerden anlaşılabilir.

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’deki örüntüler ve gösterimler yarım dalga dipolünün ışıma karakteristiğini gösterir ve sanal olarak oluşturulan yönsüz bir antendir. Yönsüz bir anten, ancak teoride olan izotropik antendir. IEEE anten terimleri standardı, izotropik bir anteni şu şekilde tanımlar: “ Kayıpsız ve her yöne eşit ışıma yapan teorik bir anten”. Gerçek bir yönsüz kaynak ışıma örüntüsünde, kör nokta bulundurmaz ve yönelimliliği 0dB olur. Fakat doğada izotropik kaynak bulunmadığından dolayı, yönelimli bir anten yukarıda görülen dipolden daha fazla yönelimli bir anten olacaktır.

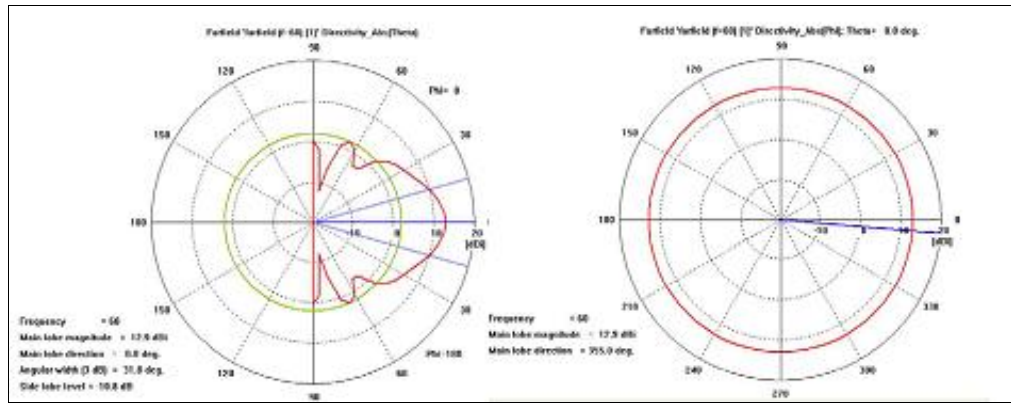
Yönlü antene bir örnek olarak Şekil 2.4’te veril horn anten verilebilir. CST programı yardımıyla bulunan üç boyutlu ışıma örüntüsü görülmektedir. Görüldüğü gibi, ışımanın maksimum olduğu yön, $\theta = 0^\circ$ olduğu doğrultudur. Bu benzetimle, yönlü bir anten, sanal olarak oluşturulmuş Şekil 2.2’de görülen dipolle karşılaştırıldığında elde edilmiş olur. Şekil 2.5’te bu horn antenin E-düzlemi ve H-düzlemi verilmiştir. Görüldüğü gibi üç boyutlu ışıma örüntüsünü yeterli derecede yansıtmaktadır. Antenin ışımının bir doğrultuda yönlendiği, açık bir şekilde görülmektedir.

2.1.3 Yarım güç hüzmeye genişliği

Yarım güç hüzmeye genişliği, açısal bir büyüklüktür ve ana hüzmanın merkezinden, gücün 3dB düştüğü açısal uzaklık olarak ifade edilir. Bu büyüklük ana hüzmanın merkezinden açısal olarak eşit uzaklıkta iki noktada alınan ölçümle belirlenir. Bu büyüklük, Şekil 2.5’de görülen benzetim için Şekil 2.6’da, iki boyutlu olarak görülen şekilde, açık olarak görülmektedir. Bu büyüklük bir antenin ışıma büyüklüğünü tanımlamak için ve ne kadar yönelimli olduğunu göstermek için kullanışlıdır.



Şekil 2.4 : CST Microwave Studio ‘da benzetimi yapılan horn anten modeli ve 3 boyutlu ışıma örüntüsü [12].



Şekil 2.5 : CST MW Studio’da benzetimi yapılan ışıma örüntüleri, : θ değişken $\phi=0^\circ$ ϕ değişken $\theta = 0^\circ$ (sağ) [12].

2.1.4 Yönelimlilik (Directivity)

IEEE anten terimleri standardına [8] göre, bir antenin yönelimliliği şu şekilde tanımlanır: “ antenden belli bir yöne yapılan ışımanın şiddetinin, her yöne yapılan ortalama ışıma şiddetine oranıdır. Burada ortalama ışıma şiddeti, antenden yayılan toplam gücün 4π ’ye bölünmesinden elde edilir.

Yönelimliliği açıklamak için ışıma güç yoğunluğu, ışıma şiddeti ve hüzmeye katkı açısını teorik olarak aşağıda verilmiştir. Referanslar [9-11]’ de daha derin bir analiz bulunabilir. Ortalama ışıma güç yoğunluğu aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

$$S_{ort} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.9)$$

S_{ort} ortalama güç yoğunluğu olduğu için kapalı bir yüzey içerisindeki toplam alanı bulmak için ortalama gücün yüzeye normal bileşenini yüzey boyunca integralini almak gerekir. Toplam ışıyan güç aşağıda Denklem (2.10) ile verilir.

$$P_{ışılma} = P_{ort} = \frac{1}{2} \oint_S \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) dS = \oint_S S_{ışılma} dS \quad (2.10)$$

İşıma şiddeti IEEE anten terimleri standardı [8] tarafından “birim katı açıda antenden yayılan güç” olarak tanımlanmıştır. İşıma şiddeti ortalama ışıma yoğunluğunun basit halidir. $S_{ışılma}$ uzaklığın karesi ile orantılıdır. Bu ayrıca uzak alan yakınsamasıdır ve Denklem (2.11) ifadesi ile verilir:

$$U = r^2 S_{ışılma} \quad (2.11)$$

Toplam ışıyan güç $P_{ışılma}$, ışıma şiddetinin 4π steradyanlık katı açıda integralinin alınmasıyla bulunabilir. Bu ifade Denklem (2.12) ve Denklem (2.13) ile verilmiştir:

$$P_{ışılma} = \oint_{\Omega} U d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.12)$$

$$P_{ışılma} = \oint_{\Omega} U_o d\Omega = U_o \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} d\Omega = 4\pi U_o \quad (2.13)$$

İntegraldeki $d\Omega$ küpün katı açı integrantıdır ve birimi steradyandır. Bir steradyan şu şekilde tanımlanır: “ bir kürenin yüzeyi üzerinde kürenin yarı çapının karesi büyüklüğünde bir alana sahip ve küre merkezinden bakıldığında bu alanı toptan görülebilmesi için taranan birim katı açıya bir steradyan denir.” $d\Omega$ ’nin bir küre yüzeyinde alınan integrali yukarıda görüldüğü gibi 4π steradyan getirir. Steradyanı tanımlamak için diğer bir yaklaşım şu olabilir: bir çemberin çevresi 2π ’dir ve bir çemberde $(2\pi/r)$ radian vardır. Bir küpün alanı $4\pi r^2$ ’dir ve küpte $4\pi r^2/r^2$ kadar

steradyan vardır. Hüzme katı açısı, küre yüzeyini r^2 'ye bölünmesinden elde edilen alana karşı düşen katı açıdır.

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \theta \, d\theta \, d\varphi \quad (2.14)$$

Yukarıda verilen ışıma güç yoğunluğu, ışıma şiddeti ve hüzme katı açısının matematik ve teorik anlatımdan sonra anten yönelimliliği matematik ifadesi Denklem (2.15) ile verilmiştir.

$$D = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U}{P_{ışıma}} \text{ (boyutsuz)} \quad (2.15)$$

Temel anlamda antenin yönelimliliğinin ölçüsü, verilen bir doğrultudaki ışıma şiddetinin bir izotropik kaynaktan çıkan ışıma şiddetine oranıdır.

2.1.5 Verimlilik

Antenin verimlilik hesabı, antendeki ve dielektrik malzemedeki omik kayıplar ile giriş terminallerindeki yansılardan kaynaklanan kayıpları, göz önünde bulundurur. Toplam verim tanımlanırken yansıma verimi ve ışıma verimi hesaba katılır. Yansıma verimi veya empedans uyumsuzluğu verimi direk olarak S_{11} parametresi (Γ) ile ilgilidir. Yansıma verimi $e_{yansıyan}$ ile ifade edilir ve matematiksel olarak Denklem (2.16) ile verilmiştir:

$$e_{yansıma} = (1 - |\Gamma|^2) = \text{yansıma verimi} \quad (2.16)$$

ışıma verimi, iletkenlik verimini ve dielektrik verimini hesaba katar. Bu büyüklük daha çok deneysel olarak yansısız odada birkaç ölçüm yapılarak belirlenir.

ışıma verimi, ışımana gücün $P_{ışıma}$, antenin giriş terminalindeki güç P_{gelen} 'e oranıdır.

Denklem 2.(17) ile verilmiştir.

$$e_{ışma} = \frac{P_{ışma}}{P_{gelen}} = ışma \text{ verimi} \quad (2.17)$$

Toplam verim, ışma verimi ve yansıma verimlerinin bir ürünüdür. Anten toplam verimi için kabuledilebilir değerler %60 ila %90 arasındadır. Bazı ticari uygulamalarda bu oran %50-60 arasında olur. Bunun sebebi de ucuz malzeme ve FR4 gibi kayıplı dielektrik malzeme kullanılmasıdır.

2.1.6 Kazanç

Antenin kazancı, antenin toplam veriminde hareketle hesaplanan antenin yönelimliliği ile doğrusal olarak ilişkilidir. IEEE anten terimleri standardına [8] göre antenin mutlak kazancı, “belli bir yönteki ışma şiddetinin, anten izotropik bir anten gibi ışması durumunda aynı yöndeki ışma şiddetine oranıdır.” Anten kazancı matematiksel olarak Denklem (2.18) ile ifade edilir.

$$G = e_{ışma} D = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{gelen}} (boyutsuz) \quad (2.18)$$

Ayrıca eğer kazancın ölçüleceği yön verilmemişse, kazancın maksimum olduğu yön üzerinden hesap yapılır. Kazanç ölçümünde ışıyan gücün yerine giriş terminallerinde ki güce bakılır, bu yüzden anten yapısındaki kayıpları yansıtan eksiksiz bir ölçüm olması gerekir.

Anten kazancının, antenin kalitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilmesi sık yapılan bir yanlış anlamadır. Ortak bir yanlış yüksek kazançlı antenin daha iyi anten olduğudur. Fakat bu durum sadece uygulamada yüksek kazançlı antenlere ihtiyaç duyulursa doğrudur. Kazanç yönelimlilikle lineer olarak ilişkili olduğu için kazanç ölçümü direk olarak antenin ne kadar yönelimli olduğunun bir ölçümüdür.

2.1.7 Polarizasyon

Antenin polarizasyonu, uzak alanda, ışınan dalgaların polarizasyonu ile ilgilidir. Yayılan dalgaların polarizasyonu elektromanyetik dalganın bir özelliğini belirler bu da uzayda sabit bir noktada zamanla yönü ve genliği değişen elektrik alan vektörünün propagasyon doğrultusu boyunca gözlenirken hangisinin değiştiğinin bilinmesidir [8]. Genellikle, ışmanın maksimum olduğu yönde ölçülür. Anten

polarizasyonunun üç sınıfı vardır. Bunlar lineer, dairesel ve eliptik polarizasyondur. Dairesel ve lineer polarizasyon, eliptik polarizasyonun özel halleridir. Genellikle antenler bir yere kadar eliptik polarizasyon sergilerler. Polarizasyon, antenin uyardığı elektrik alan vektörünün uzayda bir noktada zamanın bir fonksiyonu olarak gösterimini belirtir. Vektör akışı bir çizgi olduğunda dalga lineer polarizedir. Eğer bir daire gibi dönüyorsa dairesel polarizedir (her iki sol el ve sağ el durumları için). Diğer tüm durumlar için eliptik polarize dalga denir. Anten polarizasyon tipi belirlenmek istendiğinde iki temel etken hesaba katılır bunlar: eksenle ilgili oran ve polarizasyon uyumsuzluk kayıplarıdır [9-11].

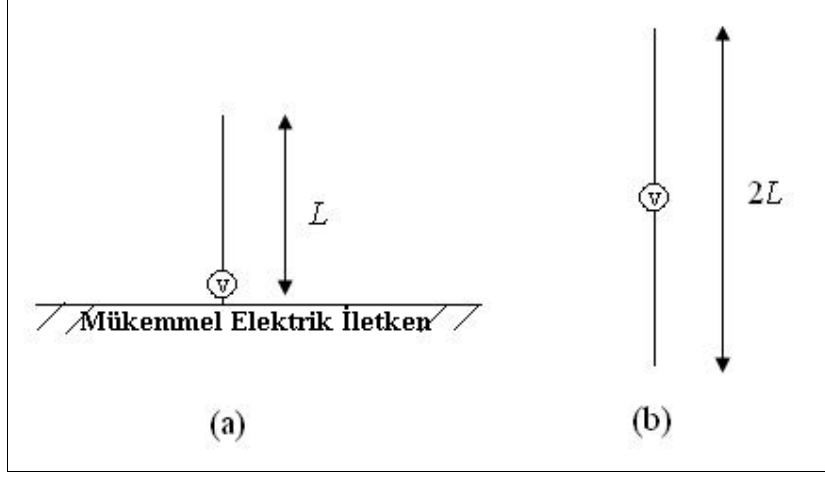
3. DÜZLEMSEL MONOPOL ANTENLER

Monopol antenler karasal ve uydu haberleşmesinde yaygın olarak kullanılırlar. Bu antenin elektriksel özellikleri antenin monopol ışıma parçasına ve toprak plakasına bağlıdır. Genelde, monopol ışıma parçası elektriksel olarak çeyrek dalga boyundan küçük veya çeyrek dalga boyu civarında olur ve ışıma parçasının boyu ile kalınlığı arasında 104'ten büyük bir oran vardır [13]. Bunun yanında toprak plakasının boyutları, bir dalga boyu veya daha fazlası uzunlukta olabilir. Bu yüzden toprak plakasının ve ışıma parçasının boyutunun değişiminin antenin ışıması ve giriş empedansının nasıl değiştiğini bilmek gerekir. Işımanın yönelimliliği de diğer bir ilgi alanıdır. Zira haberleşmenin maksimum mesafesini belirleyen, antenin yönelimlilik özelliğidir. Monopol anteni modellerken, genelde, düşey bir silindirik ışıma elemanı ve onu altında sonsuz ince, mükemmel iletken dairesel bir toprak plakası olarak düşünülür. Bu geometride modellemenin bazı avantajları vardır. Bunlar; yataydaki ışıma örüntüsünün yönsüz olması ve antenin elektriksel karakteristiği sadece, ışıma elemanının boyu ve yarı çapı ile toprak plakasının yarı çapına bağlıdır. Bu yüzden bu geometride analiz işleri kolaylaştırır.

Bu bölümde, monopol antenlerin, tez çalışması dahilinde ilgileneceğimiz bazı özellikleri üzerinde durulacaktır. Monopol antenler basit yapıları ve kolay tasarımları ve sağladıkları bant genişliği gibi sebeplerle çalışmamızda başvurduğumuz anten çeşidi olmuştur. Ayrıca yatay ekseninde yönsüz ışıma sağlatabilme özellikleri de çalışmamız açısından, monopol antenlerin sağladığı, diğer bir kriterdir.

3.1 Monopol Antenler

Monopol anten yarım bir dipol antendir ve genellikle bir toprak plakası üzerine monte edilir. L uzunluğunda toprağa monte bir monopol antenin Şekil 3.1(a)'da gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Mükemmel elektrik iletken üzerindeki monopol (a) ve uzaydaki eş değer kaynağı (b) [14].

Toprak plakasının üzerindeki kaynağı, aynalama teorisini kullanarak boş uzayda Şekil 3.1(b)'de görülen eş değer kaynak (anten) şeklinde düşünülebilir. Bu normalden iki kat daha uzun bir dipol antendir. Şekil 3.1(a)'da toprak üzerinde görülen alanla, Şekil 3.1(b)'de görülen alan aynıdır. Şekil 3.1(a)'da toprak altındaki alan ise sıfırdır.

Monopol antenin toprak üzerindeki ışıma örüntüsünde dipol anteninkinden çıkarılabilir. Farklılık ise, monopol antenin empedansının dipol anteninkinin yarısı olmasıdır. Bir çeyrek dalga monopolü için ($L=0.25*\lambda$), empedans, yarım dalga dipolününkinin yarısıdır. Dipol antenle aynı akım değerini oluşturmak için monopol antenin, eşdeğeri olan dipolününkinin yarısı büyüklüğünde gerilimle sürülmesi yeterlidir. Bir dipole sürerken üst parçaya $+V/2$ ve alt parçaya $-V/2$ gerilim uygulanırken, monopol antende toprakla ışıma parçası arasına $+V/2$ uygulamak yeterli olacaktır. Giriş empedansı $Z_{in} = V/I$ olduğundan monopol anteninki yarılanmıştır.

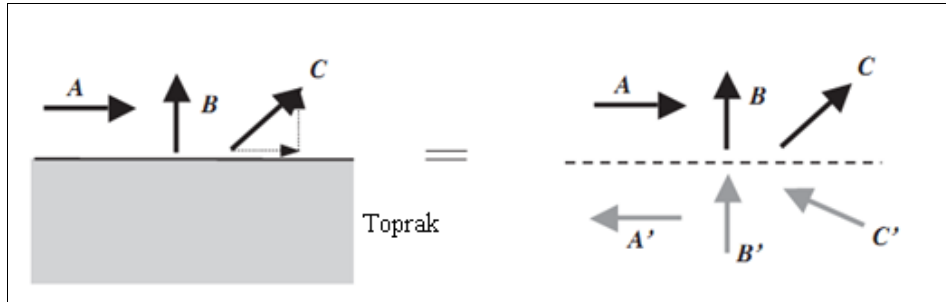
Monopol antenin yönelimliliği de (directivity), eşdeğer dipolününkiyle ilişkilidir. Eğer $2L$ uzunluklu bir dipolün yönelimliliği D_1 [desibel] ise, L uzunluklu monopolün yönelimliliği D_1+3 [desibel] olur. Bu durum monopol antenin yönelimliliğinin dipolünkinin iki katı (lineer birimde) olduğu anlamına gelir. Bunun sebebi, toprak plakası altına ışıma olmadığı için anten, ikikez daha yönelimlidir.

Monopol antenlerin boyutu, eşdeğer bir dipol antenin yarısı büyüklüğünde olduğu için daha küçük antenler gerektiğinde kullanımı akla gelir. Eski cep telefonu

antenleri, genellikle monopol antenler olmuştur. Monopol anten için gereken sonsuz toprak parçası olarak metal bir plaka kullanılmıştır.

Bazı monopol antenlerin karakteristikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Dipolle karşılaştırıldığında, monopol antenin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Eşdeğeri bir dipolün yarısı boyutundadır;
- Eşdeğeri bir dipolün iki katı daha yönelimlidir;
- Giriş empedansı eşdeğeri bir dipolünün yarısı kadardır.



Şekil 3.2 : Görüntü Teoremi [6].

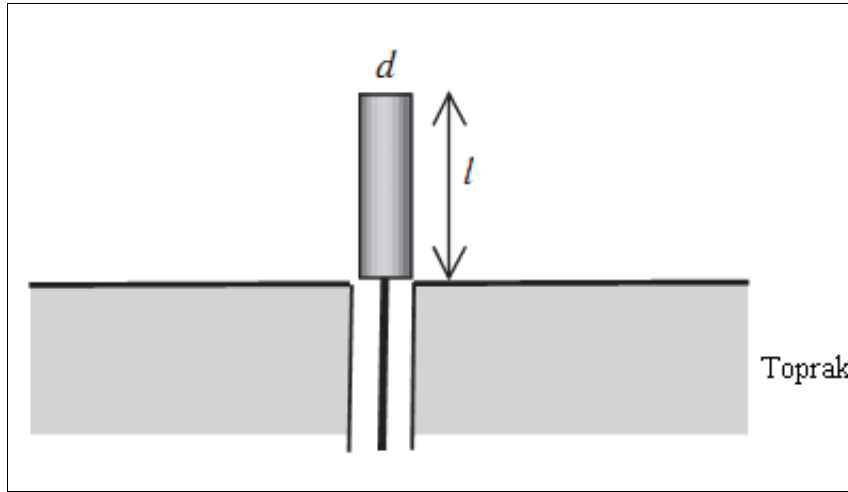
Çizelge 3.1 : Bazı monopol antenler ve karakteristik özellikleri [6].

Monopol uzunluğu l	$\lambda/20$	$\lambda/4$	$\lambda/2$	$3\lambda/4$
Akım dağılımı				
Işıma örüntüsü				
Yönelimlilik	3 veya 4.76dBi	3.28 veya 5.15dBi	4.8 veya 6.8 dBi	4.6dBi civarı
YDBG	45°	39°	23.5°	NA
Giriş empedansı	R: çok küçük ($\sim 1\Omega$) jX: kapasitif	R: $\sim 37\Omega$ jX: $\sim 0\Omega$	R: çok büyük jX: $\sim 0\Omega$ ince dipol için	R: $\sim 50\Omega$ jX: $\sim 0\Omega$ ince dipol için
Not	jX yarıçap değişimine karşı hassas	R+jX yarı çap değişimine hassas değil	R+jX yarıçap değişimine karşı hassas	R+jX yarıçap değişimine hassas

Bir eyrek dalga monopolü, yarı m dalga dipol gibi rezonans antenidir. Giriş empedansı 37Ω civarındadır ve bu 50Ω standart bir iletim hattıyla iyi bir empedans uyumu demektir ($VSWR = 1.35 < 2$). Tüm bu iyi özellikleri çeyrek dalga monopoln tercih edilen bir anten yapmaktır. Bu antenin uygulamalarını radyo yayın kulelerinden mobil telefonlara kadar bir çok yerde görebiliriz.

3.2 Görüntü Teoremi (The Image Theory)

Görüntü teoremi şunu söyler; eğer mükemmel iletken sonsuz uzunlukta bir toprak plakası üzerinde bir A/B/C noktasında bir akım var ise, bu toprak plakası bir ayna gibi davranıp bu akımın görüntüsünü A'/B'/C' noktasında, Şekil 3.2'deki görüldüğü gibi oluşturur. A ve B temel iki akım, C ise bunların kombinasyonu sonucu oluşan bir akım gibi görülebilir. Toprak plakası üzerindeki herhangi bir noktadaki alan değeri A/B/C akımı ve onun görüntüsü A'/B'/C' akımının oluşturduğ alanlara eşit olacaktır. Görüntü akımı, orjinal kaynakla aynı genliktedir ve yönü sınır koşullarına bağlı olarak belirlenmektedir. Görüntü teoremini kullanarak toprak plakasını yok sayarak uzayda iki akım kaynağı varmış gibi düşünebiliriz.



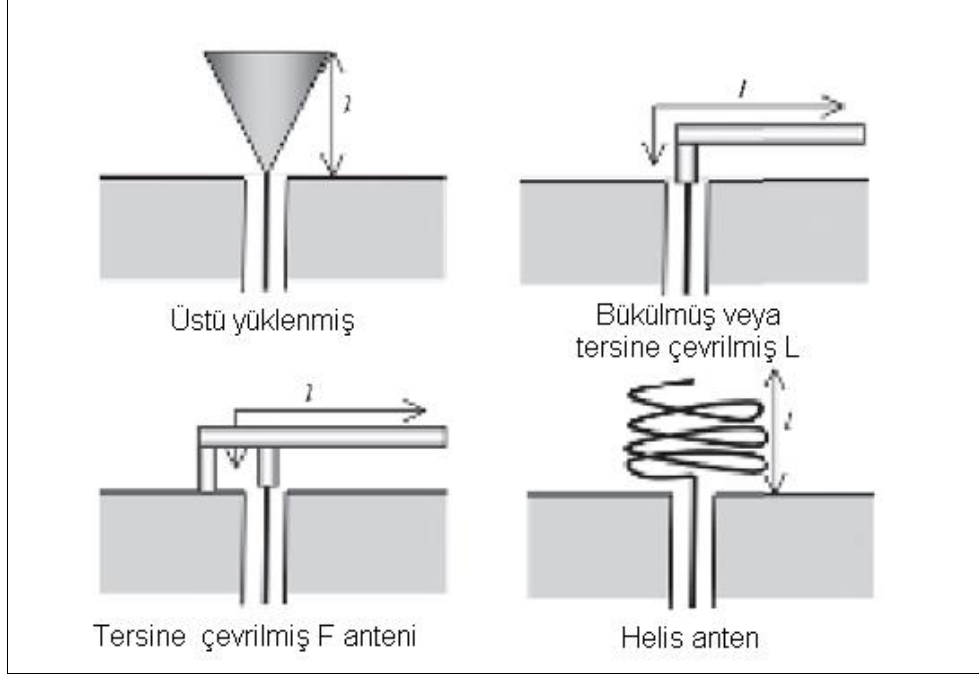
Şekil 3.3 : Görüntü Teoremi [6].

3.3 Sonlu Bir Toprak Parçasının Monopol Antene Etkisi

Yukarıda sözü edilen tüm analizler monopol antenin toprak plakasının mükemmel iletken ve sonsuz olduğ varsayımıyla yapılmıştır. Fakat gerçekte kullanılan toprak parçası sonlu boyutta ve mükemmel iletken değildir (dünya gibi). Bunun monopol

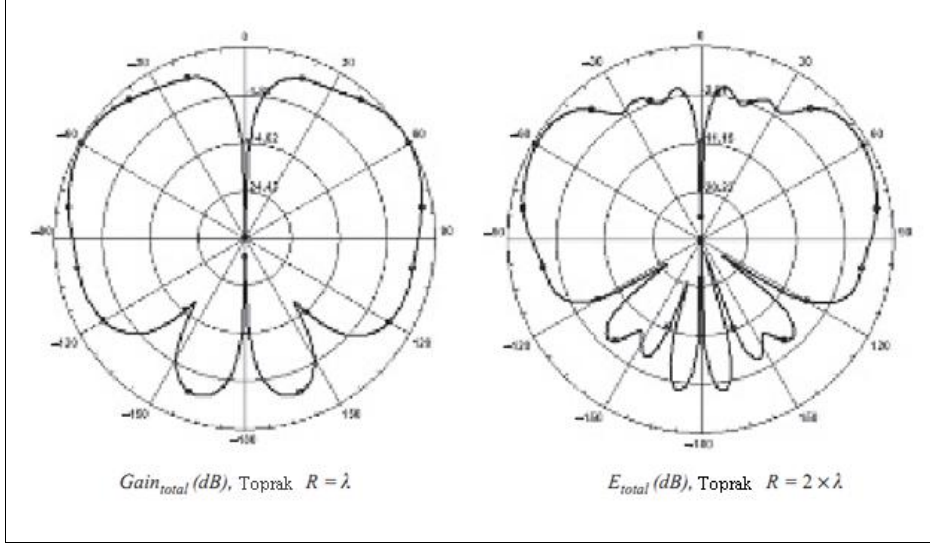
antenin çalışmasına etkisi kaçınılmazdır. Monopol antenin tüm parametreleri (ışınma örüntüsü, kazanç ve giriş empedansı) bu toprak plakasından etkilenir.

En az etkilenen ise; eğer monopolün etrefında en az birkaç dalga boyunda toprak plakası olursa, monopol antenin empedansı olur. Işınma örüntüsü ise bu durumdan ciddi bir şekilde etkilenir.



Şekil 3.4 : Farklı şekillerde monopol antenler [6].

Eğer monopol antenin toprak plakası sonlu boyutta olursa, yarı uzaya yayılan ışınma gücü azalacaktır, buda ışınma örüntüsünün değişmesi demektir. Işınma örüntüsünde yan loblar veya boşluklar ortaya çıkacaktır. Toprak plakasının köşeleri dalgaları kırarak ve bu Şekil 3.5’de görülen yan lobların oluşmasına sebep olacaktır. Maksimum açı değişecek ve göge doğru eğimlenecektir. Ayrıca giriş empedansı da değişecektir. Eğer toprak plakası yeterince büyük olmazsa, toprak plakasından çok, bir ışınma parçası olarak çalışabilecektir. Pratik olarak, toprak plakasının çapının, en az bir dalga boyu olması gerekir. Eğer toprak plakası çok büyük fakat iyi bir iletken değilse, tüm anten parametreleri bundan etkilenir, özellikle yönelimlilik (directivity) ve kazanç azalır. Ayrıca kazancın maksimum olduğu açı yukarı doğru eğimlenir. Fakat alt yarı uzayda yan loblar oluşmaz. Toprağın yansıtıcılığını artırmak için bazen ağ şeklinde metal yapıları kullanılır. Bu konuda iyi bir çalışma [15]’de bulunabilir.



Şekil 3.5 : Toprak plakasının monopol antenin ışıma örüntüsüne etkisi [6].

3.4 Düzlemsel Monopol Antenler

Kablosuz haberleşmedeki hızlı gelişmeler, daha geniş bantta çalışan ve daha küçük boyutta antenlere olan gereksinimi artırmıştır. Geniş bant antenler bir çok araştırmacının üzerinde çalıştığı bir konu olmuştur. Fakat kablosuz haberleşme sistemleri için geniş bant anten tasarımı ciddi zorlukları olan bir konudur. İstenen antenin, geniş bantta empedans uygunluğu olması, yönsüz bir ışıma örüntüsünün olması, sabit bir kazanç ve grup gecikmesinin olması, veri alma, vermede uygun transfer fonksiyonunun olması ve düşük darbe bozunumunun olması gibi özellikleri sağlaması gerekir [16].

Geniş bant performans gösteren birçok antenin arasında, düzlemsel monopol antenler [17] iyi bir ışıma örüntüsünü de sergilerler. Geniş bant düzlemsel monopol antenler; basit geometrileri, düşük profilli yapıları ve fabrikasyonunun kolay olması, düşük maliyet ve yönsüz ışımlarından dolayı kablosuz haberleşme sistemlerinde birçok uygulamada kullanılırlar. Fakat ışıma örüntüleri, yüksek frekansta, geometrilerindeki asimetriden dolayı belli bir yöne yönelimli olmaktadır.

Düzlemsel monopol antenler, operasyonel olarak bant genişliği ve ışıma örüntüsü optimize edilebilir. GSM900/NADC, GSM1800/PCS1900, IMT-2000, 2.45 GHz ve 5.8 GHz ISM, UNII, ve UWB (1.9 GHz -10.6 GHz)'de dahil bir çok farklı uygulamayı içeren frekans bandında çalışan uygun bir monopol anten geliştirilebilir.

Kablosuz mobil uygulamalarda kullanılan bilinen bir anten çeşidi monopol anten ve bu aileden olan antenlerdir. Bu ailenin en basit üyesi mükemmel bir toprak plaka üzerine monte bir çeyrek dalga dipolüdür.

Çeyrek dalga dipolünün bant genişliği kullanılan telin çapına bağlıdır ve çap arttıkça bant genişliğide artar. Bu besleme probunun yarı çapıyla sınırlı bir özelliktir.

Bunu atlatmak için çift konik yapıda dipol veya konik monopol düşünülmüştür fakat maliyet gibi sebepler bu çözümün laboratuvar uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Bantı genişletmek için diğer bir seçenek ise telin yerine düzlemsel ışıma parçası kullanmaktır bu farkedilir bir bant genişliği getirmektedir [20].

Günümüze kadar düzlemsel monopol antenlerin ışıma parçası olarak, eliptik, köşegen, fiyonk (bow-tie) ve paralelkenar gibi bir çok formu düşünülmüştür [21]. Bunlardan eliptik disk 2:1 VSWR oranına, 1:10 bant genişliğinde daha büyük yanal boyutlarda kullanılmasıyla ulaşılmıştır. Düzlemsel köşegen, üçgen yapılar, elektromanyetik olarak monopol özellikleriyle ilgili çalışma yapılmış ve empedans karakteristikleri çıkarılmıştır [22, 23]. Ulaşılan bant genişlikleri 2:1 VSWR için %70 ve 5:1 VSWR için %60 olmaktadır.

Özellikle üçüncü kuşak haberleşme teknolojilerinin yaygın kullanımı geniş bantta anten tasarımının önemli bir konu haline getirmektedir. GSM baz istasyonu ve ev içi hücrelerde daha da geniş bant antenlere ihtiyaç duyulmaktadır [24].

Daha geniş bantta düzlemsel monopol anten tasarlamak için köşegen kare monopol anten, kısa devre pini ile monopolar yama monopol anten ve parazitik eleman kullanılarak gerçekleştirilmiştir [21].

3.4.1 Düzlemsel monopol antenlerin teorik anlatımı

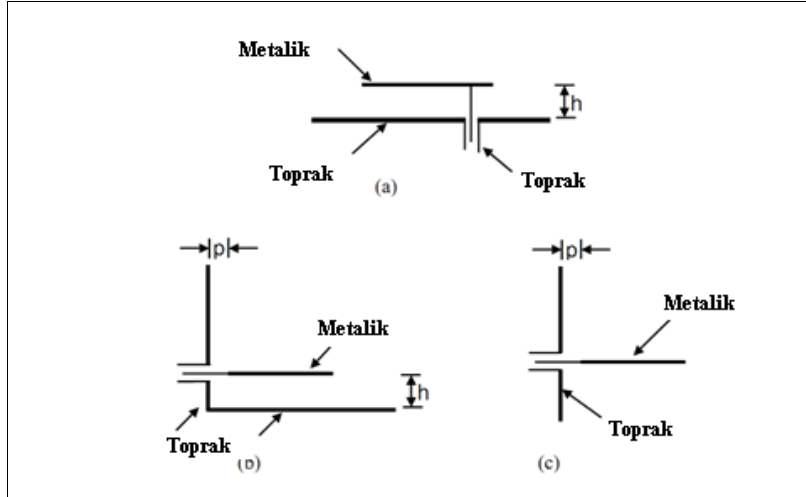
Mikrostrip antenlerde kullanılan düşük dielektrik katsayılı malzeme ile %5-15 arasında bir bant genişliği elde edilebilir. Dielektrik malzemenin kalınlığındaki bir artış mikrostrip antenin verimini azaltır ve çapraz polarizasyon seviyesini artırır. Malzemenin kalınlığındaki bir artış besleme probunun boyundaki bir artışta beraberinde getirir. Probu yüksekliğindeki artış probun empedansının endüktivitesini artırır ve bu empedans uyumunu güçleştirir. Şekil 3.6(a)'da gösterilen yapılandırma bu durum için verilmiştir. Probu empedansındaki bu indüktif etkiyi gidermek için ışıma plakasını Şekil 3.6(b)'de görülen "p"

uzunluğundaki daha kısa bir prop ile beslemek yoluna gidilebilir. Bu durumda ışıma plakası sınır çizgisi boyunca beslendiği için düşey bir toprak plakası gerekecektir. Eğer h çok büyük ise alttaki toprak plakası ihmal edilebilir ve sistemden çıkarılabilir. Bu Şekil 3.6(c)'de gösterilen son yapılandırma, düzlemsel monopol antene benzemektedir [19, 20]. Bu düzlemsel monopol anten aşağıda verilen iki sebeple büyük bir bant genişliği sağlamaktadır:

(a) Düzlemsel monopol anten, uygun çaptaki bir silindirik monopol anten gibi düşünülebilir. Monopol anten bilindiği gibi genelde toprak plakası üzerine düşey konumlandırılmış bir telden oluşur. Bu antenin bant genişliği telin çapı arttıkça artmaktadır [13].

(b) Düzlemsel monopol anten, getirdiği büyük bant genişliğini anlamak bakımından dielektrik olarak havanın kullanıldığı, çok dar bir boşluğu olan mikrostrip anten gibi görülebilir. Bu durumda ışıma plakaları çeşitli dereceden yüksek modları uyarır bu modlar daha düşük bir empedans değişimine çekilirler ve daha büyük bant genişliğine sahip olurlar.

Düzlemsel antenin şekli boyutu uyarılan tüm bu modları Smith abağındaki VSWR = 2 dairesi içinde kalacak şekilde optimize edilebilir ve bu da büyük bir bant genişliği demektir. Sonuç olarak düzlemsel monopol bir anten elde edilmiş olunur.



Şekil 3.6 : a) Havada asılı mikrostrip yama anten. b) Modifiye edilmiş mikrostrip yama anten, yan besleme ile birlikte. c) Düzlemsel monopol anten [20].

Düzlemsel köşegen disk monopol antenler köşegen mikrostrip yama antenlerin bir çeşitlemesi gibi düşünülebilir. Burada yatay toprak plakası sonsuzda konumlandırıldığı düşünülmüş ve devamındaki anoloji ona göre kurulmuştur.

3.4.2 Düzlemsel monopol antenlerin genel özellikleri

Düzlemsel monopol antenler sağladıkları geniş bant özelliğinden dolayı birçok alanda uygulaması vardır. Bu antenlerin bazı karakteristik özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Çok geniş bantta empedans empedans uyumu sağlar. Örneğin, eliptik düzlemsel monopol bir antenle, $VSWR = 2:1$ içinde sağlanan bant genişliği 10:1 civarındadır [25].
- Yeniden yapılandırılabilir radyo haberleşme uygulamalarında maksimum esneklik sağlar [26].
- Geri dönüş kaybının 10dB altında olduğu geniş frekans bandında aynı zamanda stabil bir ışıma örüntüsü de sağlarlar [27].
- Çoklu bant uygulamalarında kullanılabilir ve tüm bantlarda yatay düzlemde yönsüz ışıma örüntüsü verirler [28].
- Üretimi kolay ve ucuzdur.
- Küçük boyutta, lineer faz cevabı ve kabuledilir ışıma verimi sağlarlar [29].
- Elektriksel yüksekliği $\lambda/4$ 'ten daha küçük olabilir [29].
- Kablosuz haberleşme kaynaklarından gelen bozucu etkilere karşı dayanıklı olan bant-çentikli düzlemsel monopol antenler mevcuttur [29].

3.4.3 Düzlemsel monopol anten çeşitleri

Düzlemsel monopol antenlerin bazı parametreleri optimize edilerek, farklı çeşitleri elde edilmiştir. Bu çeşitler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düzlemsel köşegen ve kare monopol antenler.
- Düzlemsel üçgen ve altıgen monopol antenler.
- Düzlemsel dairesel monopol antenler.
- Düzlemsel eliptik monopol antenler.
- Geniş bant yarım daire tabanlı ortogonal kare monopol antenler.
- Kısadevre edilmiş ve kenarı pahlanmış düzlemsel monopol antenler.
- Papyon şekilli monopol antenler.

- Dairesel tel ızgara monopol antenler.
- Dairesel halka monopol antenler.
- Kompakt geniş bant köşegen düzlemsel monopol antenler.

Bant genişliği ve ışıma örüntüsü daha iyi antenler elde etmek için yukarıda sayılanlara ek olarak her geçen gün, farklı şekillerde monopol anten tasarımları araştırmacılar tarafından yayınlanmaktadır.

3.4.4 Literatürdeki düzlemsel kare monopol antenler

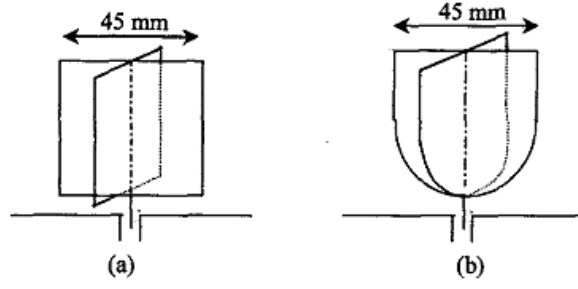
Bu bölümde daha önce bu alanda yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir. Bazı antenlerin çalışma mekanizması ve sonuçları üzerine durulacaktır.

3.4.4.1 Düzlemsel kare monopol anten

Anob ve Ray [31], çapraz kare monopol anten üzerine bir çalışma yapmışlardır. Anten geometrisinde simetri sağlanarak antenin yatay ışıma örüntüsünde yönsüzlük sağlanmıştır. Ayrıca geniş bant elde etmek amacıyla, kare ışıma plakalarının alt köşeleri yarım daire yapılarak geniş bir bantta empedans uyumu sağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan antenin simetri özelliği kendi tasarımıımız açısından bir referans niteliğindedir.

Genelde düzlemsel antenlerde tek bir ışıma plakası kullanılır. Bunun sonucunda yatay ışıma örüntüsü yönsüz olmaz. Oysa birbirine çapraz bir kare ışıma plakası tasarımı, uygun ölçülerde yapıldığında, bu çalışmada gösterildiği gibi geniş bir bantta yönsüz yatay ışıma örüntüsü elde edilmesini sağlar.

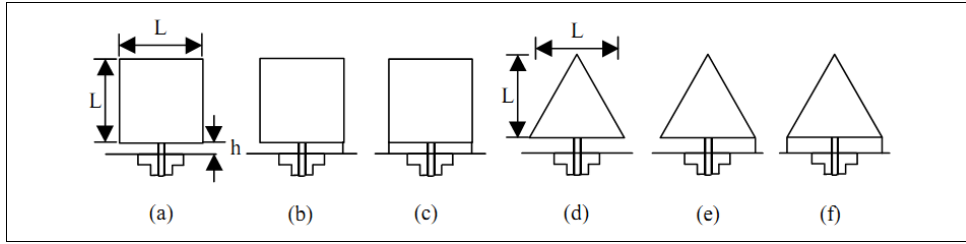
Çalışmada besleme noktasının, plakaların birbirini kestiği noktaya belli bir uzaklıkta olması durumunda bant genişliğinin arttığı gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan antenin plakalarının ölçüsü 45mm×45mm'dir, kendi tasarımıımızda bu boyut 16mm×24mm alınmıştır. Geri dönüş kaybı karakteristiği açısından, anten geniş bant olmaktan ve bizim tasarımıımızda aradığımız GSM1800MHz ve UMTS2000MHz bantlarını kapsamakatan uzaktır.



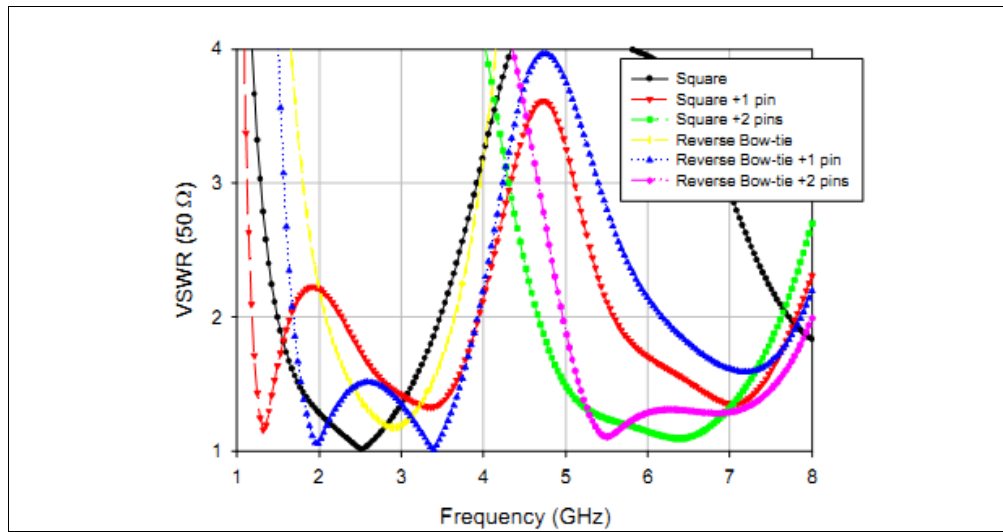
Şekil 3.7 : Ortogonal Kare Monopol (b) yarı dairesel tabanlı ortogonal kare monopol [31].

3.4.4.2 Çoklu servis mobil uygulamaları için inovatif geniş bant düzlemsel monopol antenler

Cabedo-Fabrés ve Ferrando-Bataller [21], bazı düzlemsel monopol antenlerin rezonans frekanslarını incelemişlerdir. Monopol ışıma parçasına toprakla kısa devre pini eklenerek bant genişliğinin artırıldığı gözlemlenmiştir. Yatay düzlemde, geniş bantta yönsüz ışıma örüntüsü elde edilmiştir.



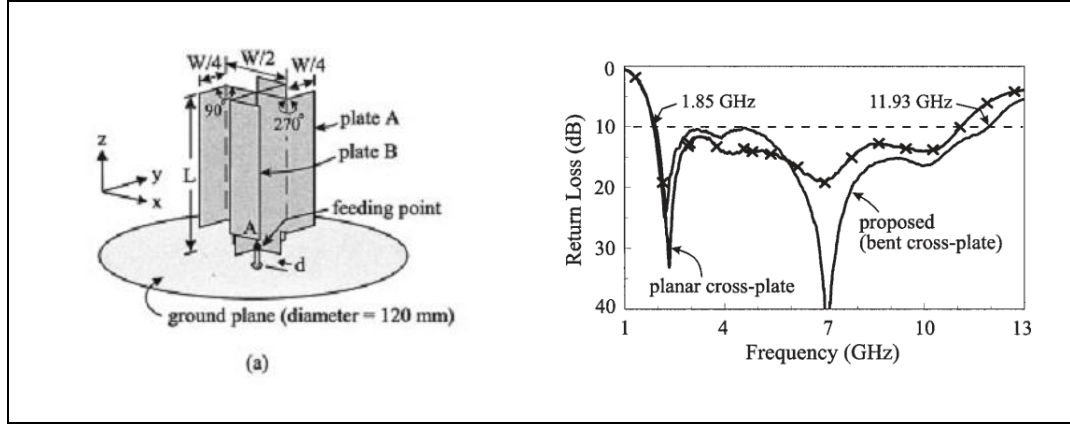
Şekil 3.8 : Kare monopol, (b) Kısa devre pinli kare monopol, (c) İki adet kısa devre pinli kare monopol. d) Ters papyon tipi monopol. e) Tek kısa devre pinli papyon monopol. f) İki kısa devre pinli papyon monopol [21].



Şekil 3.9 : Yukarıda görülen monopol antenlerin 50Ω'a göre VSWR değerleri [21].

3.4.4.3 Geniş bant çapraz plakalı monopol anten

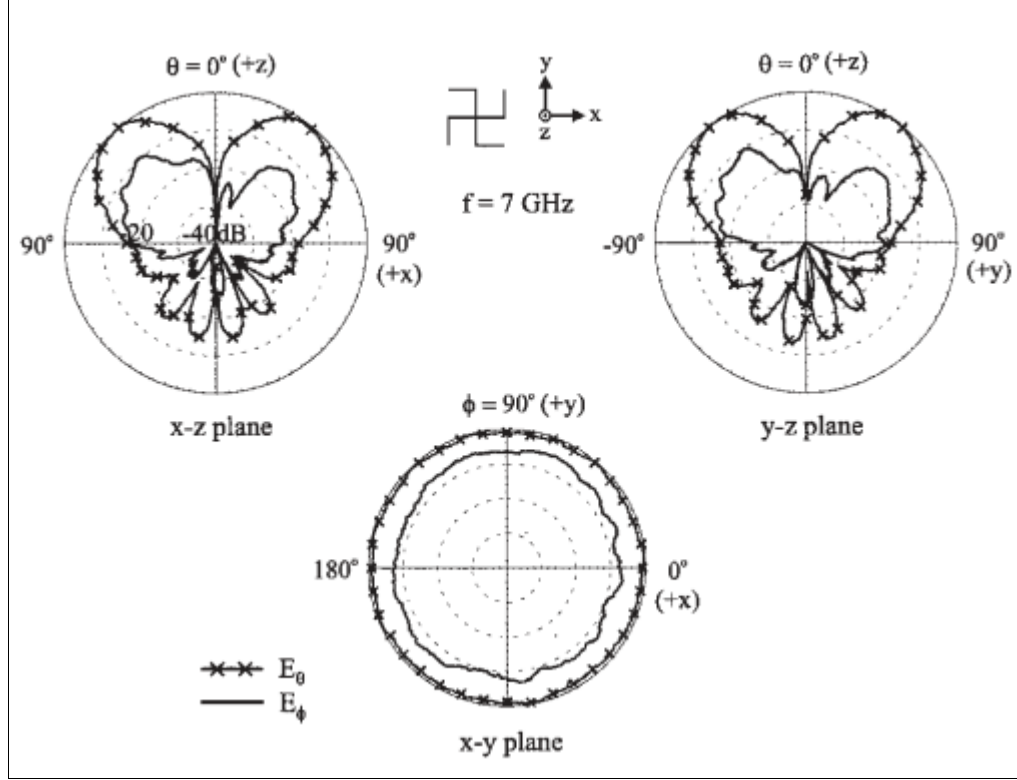
Wong ve Chang [32] isimli araştırmacılar, birbirine çapraz gama haçı şeklinde bir monopol anten tasarımı yapmışlardır. Geniş bantta (1:6) empedans uyumu sağlanmıştır.



Şekil 3.10 : (a) Çapraz plaka monopol anten, (b) Ölçülen geri dönüş kaybı değeri [32].

Bu anten ile yatay düzlemde yönsüz ışıma örüntüsü elde edilmiştir. Düşey düzleminde ise yarı yönsüz ışıma örüntüsü (sadece toprak üstü yarı düzlemde) elde edilmiştir. Antenin bu ışıma karakteristiği ile bizim uygulamamız için çok iyi bir referans modelidir. Çünkü düşey düzleminde geriye ışıma olmaması, antenin arkasında çalışan diğer devre elemanları açısından istediğimiz bir durumdur.

Ayrıca ışımanın yatay düzleminde yönsüz olması, antenin bizim uygulamamız açısından da istediğimiz bir karakteristiğidir. Antenin çalışma frekans aralığı 10dB altı geri dönüş kaybı ön kabulü için 10 GHz (1.85–11.93 GHz) civarındadır. Bizim tasarımımda çalışmasını istediğimiz bant tanımlı olduğu için geniş bant karakteristik aramadık. Ayrıca bandın alt sınırıda bizim tasarımımda 1.67GHz civarında olması ile, bu uygulamadan farklıdır. Antenin çapraz plakaların ucunun kıvrılmış olması bizim tasarımımda gördüğümüz kadarı ile ve bu çalışmada anlatıldığına göre bant genişliği üzerinde çok büyük bir etkisi olmamıştır. Antenin düşey düzleminde, toprak düzleminin altına geçen ışıma gücü, bizim uygulamamızda toplam toprak mesafesi artırılarak bu oran azaltılmıştır. Antenin kazancı ise 1GHz-3GHz arasında 2-4dB arasında elde edilmiştir. Bizim çalışmamızda bu değer 5-7dB arasında değişmektedir.



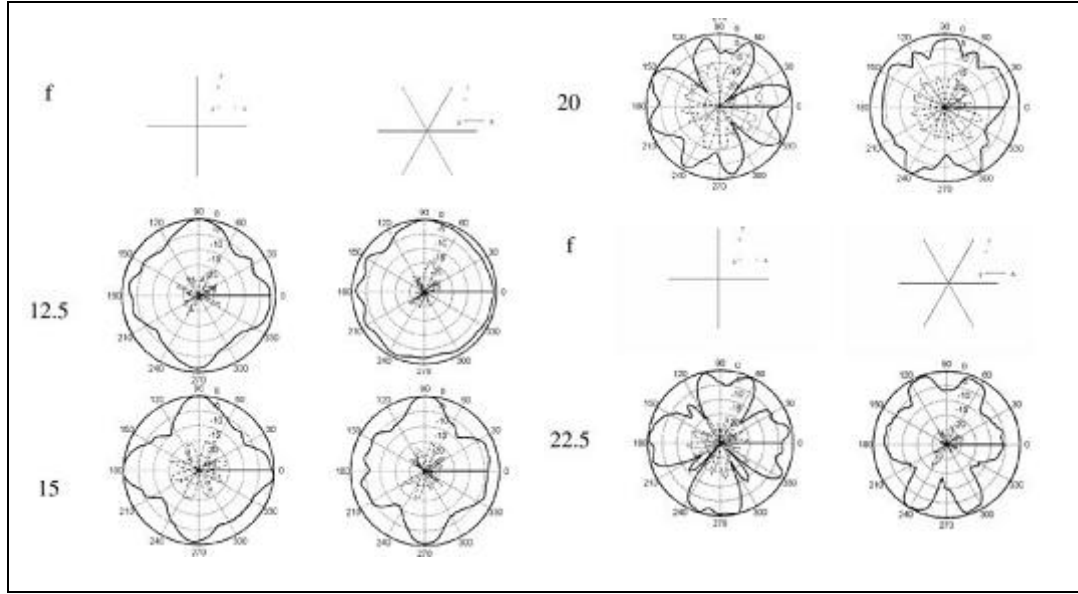
Şekil 3.11 : 4GHz’te ölçülen ışıma örüntüleri [32].

3.4.4.4 Geniş bant yönsüz metal-plaka monopol antenlerin tasarımı

Valderas ve Melendez [33], daha önceki monopol anten yapılandırmalarını, plaka sayılarını artırarak tekrar analiz etmişlerdir. Plaka sayısının artmasının monopol antenlerin bant genişliği ve ışıma örüntüsündeki etkisi incelenmiştir.

Çalışma sonunda, plaka sayısı arttıkça yatay düzleminde daha yönsüze yakın bir ışıma örüntüsü elde edilmiştir. Aynı zamanda geniş bir bant elde edilmiştir (1.2-50GHz, VSWR=2 için). Ayrıca çalışmada, darbe bozunumu da teorik olarak incelenmiştir.

Bu çalışma, bizim tasarımıımızda elde etmek istediğimiz, yatay düzleminde yönsüz ışıma örüntüsünü elde etme açısından öncü bir çalışmadır. Plaka sayısının artmasının ışıma örüntüsünde istenen etkiyi oluştururken, bant genişliği için olumsuz bir etkisi olmadığı gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : İki çapraz plakalı ve üç çapraz plakalı antenler için 12.5GHz-22.5GHz arası ölçülen azimut (yatay) düzlemi ışıma örüntüleri [33].

4. YENİDEN YAPILANDIRILABİLİR ANTENLER

Yeniden yapılandırılabilir antenler ilk defa 1998 [34] yılında ortaya atılmıştır. Bilinen antenlerinden farklı olarak, yeni yapılandırmalara uygun olması antenin fonksiyonel etkinliğini artırmaktadır. Yeniden yapılandırmak, antende istenen akımı veya antenin etkin açıklığındaki elektromanyetik alanı değiştirmekte ve sonuç olarak antenin ışıma özelliklerinde ve/veya empedansında tersinebilir değişimler oluşturulmaktadır [35].

Antenin yeniden yapılandırılabilmesi, birçok teknikle sağlanabilir. Bazı tasarımcılar devre elemanları yoluna gitmekte, bazıları ise mekanik olarak antenin bazı parçalarını eğmek veya çevirmek suretiyle şekil vermek üzerine çalışmaktadır [36]. Diğer bir yaklaşımda farklı anten parçalarını, farklı zamanlarda sürerek veya anten dizisinin besleme devresini yapılandırarak istenilen yapılandırmanın sağlanmasına yöneliktir [37]. Tüm bu yaklaşımlarla ilgili son on yılda birçok çalışma sunulmuştur. Yeni uygulamalarda araştırmacılar, elektriksel anahtarlama ve değişken kapasitörler kullanarak, yapılandırma değişimini sağlamak istemişlerdir [38,39]. Pin diyotları ve RF MEMS elemanlar en yaygın kullanılan elektriksel uyarımlı anahtarlama elemanlarıdır.

4.1 Yeniden yapılandırılabilir Antenlerin Sınıflandırması ve Kategorileri

Yeniden yapılandırılabilir antenler çok farklı şekillerde ve formlarda olmasına rağmen, yapılandırma işlevine göre Joseph Costantine [40] tarafından aşağıdaki gibi 4 ana grupta toplanmıştır:

- Frekansı yapılandırılabilir antenler
- Işıma örüntüsü yapılandırılabilir antenler
- Polarizasyonu yapılandırılabilir antenler
- Yukarıdakilerin kombinasyonları

Frekans yapılandırılabilir antenlerde, farklı anten yapılandırmalarıyla frekans cevabı ayarlanır [41]. Bu frekans ayarlamasını antenin geri dönüş kaybı grafiğinde rezonans frekansının değişiminden görülebilir. Işıma örüntüsü yapılandırılabilen antenlerde, yeniden yapılandırma sonucu antenin ışımanın şekli, yönü veya antenin kazancı değişir [44]. Polarizasyonu yapılandırılabilir antenlerde, her anten yapılandırması için polarizasyon tipi değişir [46]. En son kategoride birçok özelliğin kombinasyonunu içeren uygulamalar vardır. Buna, geri dönüş kaybı ve polarizasyon birlikte yapılandırılabilen anten çeşitleri gibi örnekler gösterilebilir [47, 48].

Yeniden yapılandırılabilir antenler, kullanılan yapılandırma yöntemine göre araştırmacı Joseph Costantine [40] tarafından, 6 ana gruba ayrılan ikinci bir sınıflandırma yapılmıştır:

- Grup 1: Anahtarlar kullanılarak yapılan antenler [38]
- Grup 2: Kapasitörler ve varaktörler kullanılarak yapılan antenler [39]
- Grup 3: Fiziksel açı değişimi kullanılarak yapılan antenler [36]
- Grup 4: Farklı ön tetikleme devreleri (biasing network) kullanılarak yapılan antenler [43]
- Grup 5: Anten dizileri [45]
- Grup 6: Yapılandırılabilir besleme devreleri kullanılarak yapılan antenler [44]

4.2 Yeniden yapılandırılabilir Antenlerin Fonksiyonel Mekanizması

Bir antenin yeniden yapılandırılması için bazı temel ilkeler vardır. Bunlar şöyle özetlenebilir:

1. İlke : Frekans yapılandırılabilir bir anten tasarlamak için antenin yüzey akım dağılımı değiştirilmelidir [42, 43].
2. İlke : Işıması yapılandırılabilir bir anten tasarlamak için antenin ışıma plakasının köşeleri, yarıklar veya besleme devresi değiştirilmelidir [44].
3. İlke : Alanın polarizasyonu yapılandırılabilir bir anten tasarlamak için, antenin yüzey yapısı veya besleme devresi değiştirilmelidir [46].
4. İlke : Tüm özellikleri yapılandırılabilir bir anten tasarlamak için yukarıda sayılan tüm ilkeler birden uygulanmalıdır [47, 48].

Bu işte antenden kastedilen, eğer bir dizi veya farklı elemanlardan oluşan yapı varsa, çok parçalı anten olmaktadır. Diğer türlü tek parçalı antendir. Grup 1'e dahil tekrar yapılandırılabilir antenler, anahtarlama mekanizmaları kullanır; çoklu parçalı antenin [65] farklı parçaları arasında anahtarlama veya tek parçalı bir antenin [38] yarıkları arasında köprüleme yaparlar. Çoklu parçalı antende anahtarlar bir anten elemanının boyunu uzatmak için veya çeşitli ışıma karakteristikleri yakalamak [47] için kullanılır. Tek parçalı antenlerde ise yarıklar arasındaki köprüler anahtarlanarak, yüzey akım dağılımı farklı yönlerde değiştirilir, böylece antenin çalışma şekli yeniden yapılandırılabilir.

2. grup yeniden yapılandırılabilir antenler, kapasitörleri ve varaktörleri kullanır. Hem tek parçalı hem de çok parçalı antenlerde, antenin üzerindeki yarıklar arasındaki kapasite veya antenin farklı elemanları arasındaki kapasite değiştirilerek anten yeniden yapılandırılabilir [39]. 3. Gruptaki yeniden yapılandırılabilir antenlerde ise antenin bir parçası eğilme veya bükülme şeklinde değiştirilerek antenin yüzey akım yoğunluğu ve ışıma özellikleri yapılandırılabilir [36]. 4. Grup yeniden yapılandırılabilir antenler ise çoklu parçalı antenin farklı parçalarını tetiklemek için farklı ön tetikleme devreleri kullanır [43]. 5. Grup yeniden yapılandırılabilir antenler, bir dizideki antenler farklı zamanlarda aktive edilerek istenen yapılandırma oluşturulur [45]. 6. Gruptaki yeniden yapılandırılabilir antenler ise anten yapısı üzerinde değişiklik yapmak yerine besleme devresi değiştirilerek farklı yapılandırmalar oluşturulur [44].

4.3 Literatürdeki Yeniden Yapılandırılabilir Antenler

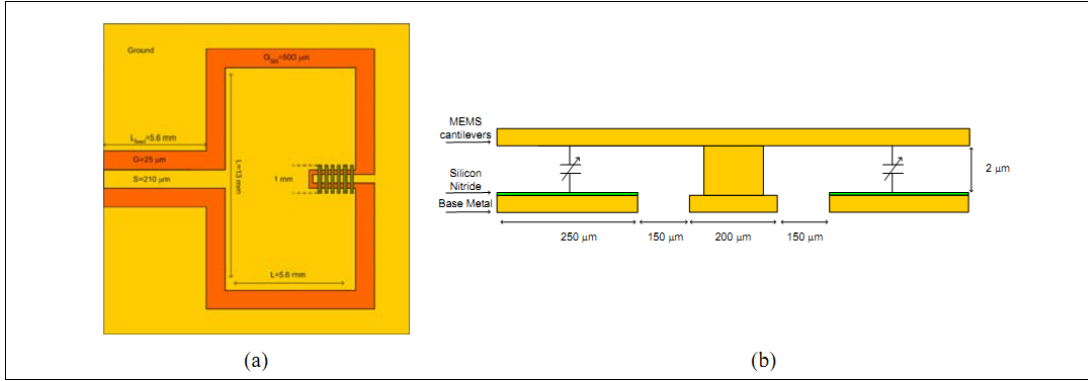
Bu bölümde daha önce bu alanda yapılmış çalışmalardan bahsedilecektir. Bazı antenlerin çalışma mekanizması ve sonuçları üzerine durulacaktır.

4.3.1 Anahtarlama mekanizması kullanan yeniden yapılandırılabilir antenler

RF MEMS devre elemanları ayarlanabilir özelliklerinden dolayı, antenlerle entegre edildiğinde antenin ışıma örüntüsü, polarizasyonu ve frekans karakteristiği gibi özelliklerini yeniden yapılandırmak mümkün olur [34].

Dahası bu elemanlar antenle yekpare şekilde üretilirse, kayıplar ve maliyette azalacaktır. Erdil ve Aydın [49], RF MEMS kapasitörler entegre olarak üretilmiş bir

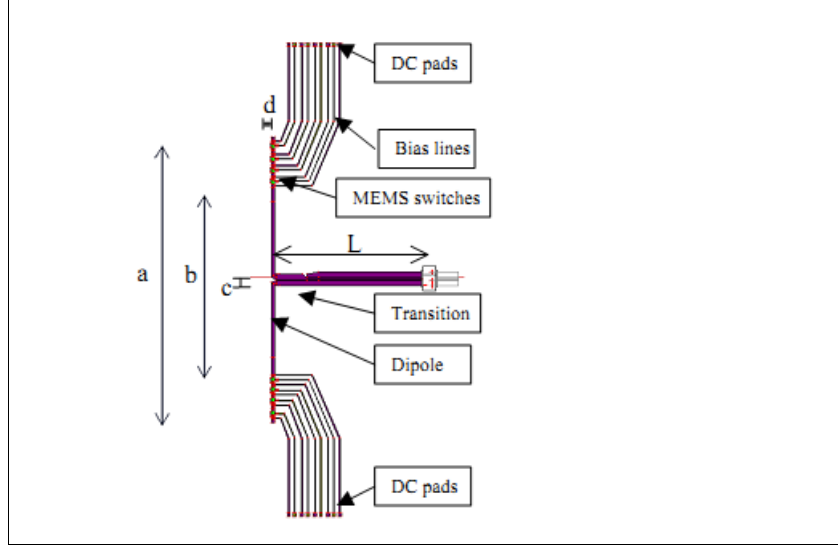
antenin, çalışma frekansının ayarlanması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonunda rezonans frekansında 1GHz'e kadar ayarlanabilirlik sağlanmıştır.



Şekil 4.1 : 6 tane MEMS cantilever tipi kapasitör bulunduran yeniden yapılandırılabilir anten: a) üstten görünüş, b) yan görünüş [49]

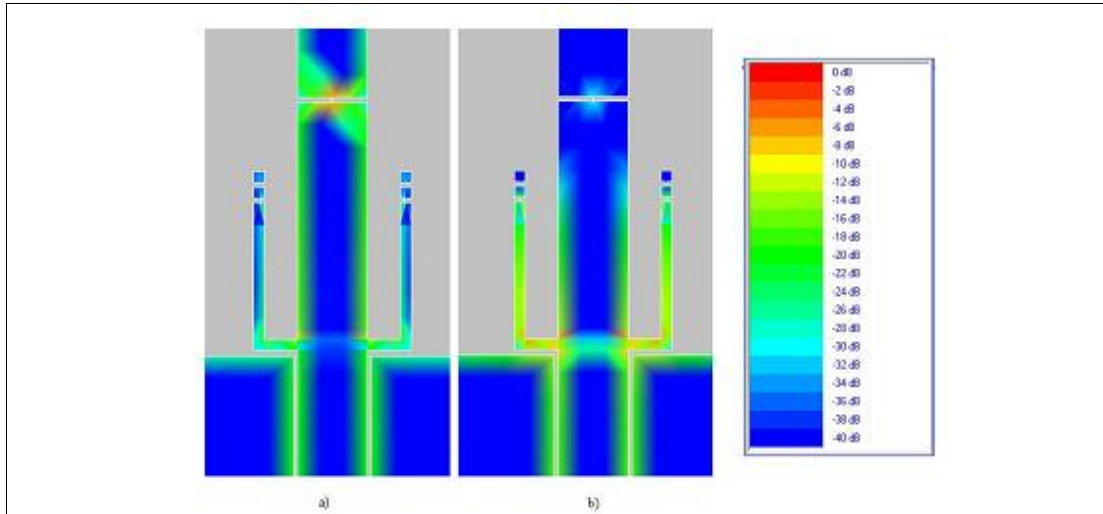
Şekil 4.1’de görülen tekrar yapılandırılabilir anten, iki tane MEMS cantilever tip kapasitör entegre şekilde üretilmiş ve çalışma sonunda antenin çift rezonans frekanslı olduğu ve bu frekanslarında dinamik olarak değiştirilebildiği görülmüştür. MEMS kapasitörler uyarıldığında alt rezonans frekansı 1.2GHz ve üst rezonans frekansı 330MHz kaydırılmıştır ve bu ışıma örüntüsünde herhangi bir bozulma olmadan sağlanabilmektedir.

Diğer bir çalışmada [50] dipol, kaktüs ve ayrımsal (fraktal) antenlerin yeniden yapılandırılabilir anten yapımı anlatılmıştır. Şekil 4.2’de görülen dipol anteni yapılandırmak için, dipolün kollarına RF MEMS anahtarlar bağlanır ve bu anahtarlar ek yama parçaları ile dipolün kollarını istenilen yapılandırma göre birleştirir. Anahtarlar açık olduğunda dipolün kolları ve yama ekler arasındaki kapasitif etkiden dolayı bant genişliği artar. Anahtarlar kapandığında ek yamalarla dipolün kolları birleşir ve çalışma frekansı istenen değere kaydırılır.



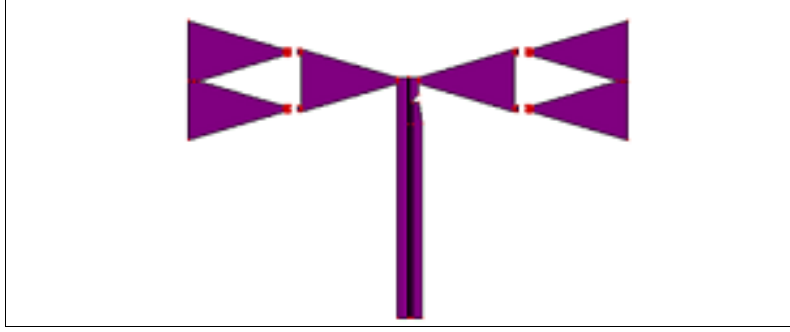
Şekil 4.2 : Yeniden yapılandırılabilir düzlemsel dipol anten tasarımı [50].

Kaktüs antende ise monopul anten ve yanlarında iki kol yama bulunmaktadır. Bu yama kollarla monopul anteni birbirine MEMS veya PIN diyodu anahtarlar kullanarak bağlanabilir. Frekans ayarlanabilirliğini kol sayısını artırarak yükseltmek mümkündür [50]. Şekil 4.3'te anahtarlar açıkken ve tek anahtar kapalı olduğu durumlar için, antenin yüzey akım dağılımı verilmiştir. Anten iki frekansta rezonansa girer, anahtarlar açıkken ve tek bir anahtar kapalı olduğu durumda ikinci rezonans frekansının değiştiği gözlemlenmiştir. İlk rezonans frekansını monopulün boyu belirlerken, ikincisini yan kolların boyu belirler bu yüzden anahtarlar kapalı ve açık olduğunda, ikinci rezonans frekansının değişmesi beklenir.



Şekil 4.3 : Monopul ile kollar arası anahtar açık olduğu ve tek bir kol anahtarı olduğu durum için, a) $f_1 = 1.85\text{GHz}$ 'te yüzey akım dağılımı, b) $f_2 = 3.4\text{GHz}$ 'te yüzey akım dağılımı [50].

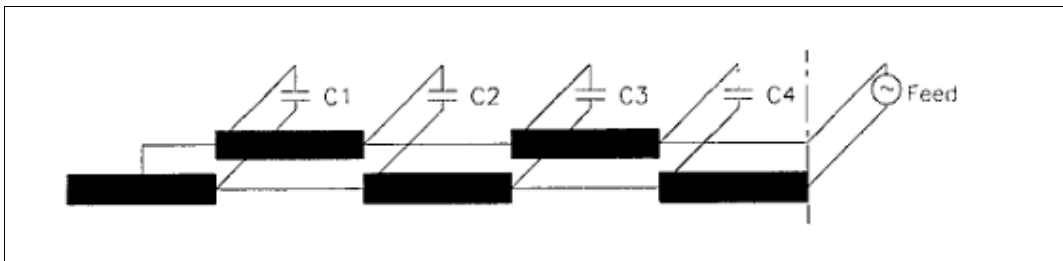
Ayrımsal (fraktal) antenler, RF MEMS anahtarlar yardımıyla anahtarlanıp, çalışma frekansı istenen değere ötenelenebilir. Şekil 4.4'te görülen ayrımsal antende antenin farklı elemanları içinde anahtarlama yapılarak birden fazla çalışma frekansı elde etmek mümkün olmuştur.



Şekil 4.4 : Tekrar yapılandırılabilir ayrımsal anten [50].

4.3.2 Kapasitör ve varaktör kullanılarak yapılan yeniden yapılandırılabilir antenler

Yeniden yapılandırılabilir antenlerde antenin frekans karakteristiğini değiştirmek için kullanılan diğer bir yöntem, kapasitörler veya varaktörler eklemektir. Şekil 4.5'te 10 tane dizi elemanı olan OPOMEX yeniden yapılandırılabilir anteni [51] görülmektedir. Gerçek ve sanal besleme noktaları ile ışıma plakaları arasında $\lambda/2$ uzunluğunda ince iletim hattı kullanılmış. Anteni yeniden yapılandırılabilir yapmak için sanal besleme noktalarına kapasitörler eklenmiştir. Sanal besleme noktasında kapasitörlerin değeri değiştirilerek birbirinde bağımsız farklı ışıma örüntüleri elde edilir. Bu sayede uzamsal çeşitleme sağlanmış ve bu da çoklu kanal girişimine karşı sistemi dayanıklı hale getirmiştir. Bu çalışmada kullanılan kapasitörler, varaktör diyotlar ve koşullandırma hatları eklenerek yapılabilir.



Şekil 4.5 : Yeniden yapılandırılabilir OPOMEX dizi yapısı [51].

4.3.3 Mekanik olarak yeniden yapılandırılabilir antenler

Reflektör tasarımıyla ilgili yapılan çalışmalarda, ikincil bir reflektör kullanımının ana reflektörün hatalarını azalttığı görülmüştür. Bazı araştırmacılar ikincil reflektörün deforme edilebildiği anten sistemleriyle ilgili çalışmalar yapmıştır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalardan biri Von Hoerner ve Wong [52] 'un yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada 42.672 metrelik bir radyo teleskop reflektörünün gravitasyonel deformasyonunu kompanze etmeye yönelik çalışılmıştır. Diğer bir çalışma, Legg [53] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada ikinci reflektör tek bir parçadan değil, bir çok parçadan müteşekkildir. Tüm reflektörün kontrolündense, bu parçaların kontrolünün daha kolay olduğu tartışılmıştır. Von Hoerner'ın tasarımında olduğu gibi reflektörün değişimi adaptif değildir. İkincil reflektörün panellerindeki hareketi, ana reflektördeki önceden bilinen deformasyon belirler. Bu çalışmadan sonra Lowson ve Yen [54] isimli araştırmacılar, deforme edilebilir parçalardan oluşan ikincil reflektör plakası bulunduran, Cassegrain çifli reflektör sistemi oluşturmuşlardır. İkincil reflektör birkaç panelden oluşur ve bu paneller aktuatörlerle kontrol edilirler. Diğer çalışmalarda olduğu gibi, bu çalışmada da ana reflektördeki distorsiyonların önceden bilindiği kabul edilmiştir.

Sonuçlar, 48 panel kullanılan ana reflektördeki distorsiyonların yüzde 33 oranında azaltılabildiğini göstermiştir. Daha çok yeryüzü teleskop uygulamaları için düşünülen bu çalışmaların ardından, uydular gibi diğer anten sistemleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Uydulara etkiyen gravitasyonel kuvvet olmadığı için, gravitasyonel kuvvetten doğan deformasyonları kompanze etmeye gerek olmayacaktır. Bunun yerine, dünya üzerinde istenilen lokasyona daha iyi kapsama sağlamak için hüzmelerin şekillendirilmesi konusu üzerinde durulur.

Bu amaçla, birçok uydu sisteminde besleme dizisiyle birlikte dengeleyici parabolit antenler kullanılmıştır. Bu tip antenler, kompleks bir hüzmeye şekillendirme devresi bulundurlar ve bu devre besleme dizisi ile bağlantılıdır. Bu sayede ışımayı istenen bölgeye yönlendirebilirler. Fakat besleme dizisi ve hüzmeye şekillendirme devresi büyük yer kaplar ve elektriksel kayıplara sebep olur. Bu dizi besleme anten sistemine alternatif olarak, yüksek performanslı tek bir besleme veya küçük besleme kümesiyle, önceden şekillendirilmiş, dengelenmiş bir reflektörün aydınlatılması düşünülmüştür.

Fakat bu tip bir anten de mükemmel olmaktan uzaktır. Çünkü anten uydu üzerinde birkez pozisyonlandırıldıktan sonra, dizi besleme antenlerde yapılabilen hüzmeye şekillendirme işlemi, artık burada yapılamamaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için Clarricoats and Zhou [55] isimli araştırmacılar tekrar konfigüre edilebilen ızgara şeklinde reflektör anten tasarlamışlardır.

Bu anten, 50 dalga boyu çaplı, örme ağ şeklinde ve üzerinde farklı yüzey şekilleri oluşturmak için her düğüme bağlı 78 tane eyleyici bulunduran, bir reflektör içermektedir. Kelebek şekilli yaylardan oluşan elastik bir ağ yapısı kullanılarak bir prototip geliştirilmiş ve mekanik davranışın matematik modelle uygunluğuna bakmışlardır. Eyleyiciler (actuators) yastık etkisini gösterecek şekilde sisteme eklenmiş. Her eyleyici, yüzeyde lokal değişimler oluşturur, buda yüzey modellme ve ışınma örüntüsü sentezini zorlaştırır.

Sınır koşulları, eyleyiciler arası mesafe, eyleyici sayısı ve toleransları anten performansına etkiyen diğer faktörlerdir. Sonuçlar ağ şeklinde oluşturulan yüzeyin modelle iyi uyduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın dizi-beslemeli reflektörler arasındaki fark ise bu anten sisteminde ışınma örüntüsünü bir eksen boyunca 180 derece gezdirmek olanaksız olmasıdır.

Bu problem çözmek için, Clarricoats [56] dizi beslemeli yeniden yapılandırılabilir reflektör tasarlamıştır burdaki reflektör, yukarıda anlatılan yeniden yapılandırılabilen ağ reflektördür. Bu anten iki modda çalışmıştır. Birinci modda; belli bir bölge kapsanmak istendiğinde, uygun ışınma örüntüsü oluşturmak için ağ yapılı reflektör, uygun bir parabolit şeklinde yapılandırılabilir ve uygun dizi elemanları uyarılarak gerekli besleme sağlanır. Bu mod bilinen dizi beslemeli antene benzer. İkinci modda istenen ışınma örüntüsünü oluşturmak için dizinin bazı elemanları simetrik bir hüzmeye sağlamsı için uyarılır ve reflektör konfigüre edilerek istenen kapsama alanı oluşturulur.

Bunların yanı sıra reflektör yapısı kullanılarak hüzmeye şekillendirme için farklı bir yaklaşım daha vardır. Washington [57, 58] isimli araştırmacı polyvinylidene fluoride (PVDF) film kullanarak, değişken yönelimleme ve güç yoğunluğu diğer bir deyişle hüzmeye gezdirmeye ve hüzmeye şekillendirme işlemlerini yapmak için çok daha iyi şekilde alabilir bir reflektör geliştirme fikrini öne sürmüştür. Bu çalışmada ince bir PVDF film tabakası, metalize Mylar malzemesinden yapılmış silindirik reflektörün

arka yüzeyine kaplanmıştır. Elektriksel voltaj uygulandığında, PVDF filmi genişler veya uygulanan voltajın polaritesine göre yapı üzerinden çıkar. Bu modele göre kuvvet-yön değiştirme ilişkisi, Hamilton'nun iş enerji prensibine göre çıkarılır ve uzak alan ısıma örüntüsü iki temel moda göre hesaplanır: Biri hüzme gezdirme diğeri hüzme şekillendirmedir.

Bu çalışmada, PVDF film gömülü reflektör yüzeyiyle hüzme şekillendirmenin mümkün olabildiği gösterilmiştir. Bu çalışmadan sonra Washington [58], PVDF gömülü aktif anten açıklığı üzerine diğer bazı uygulama ve tasarımlar yapmıştır.

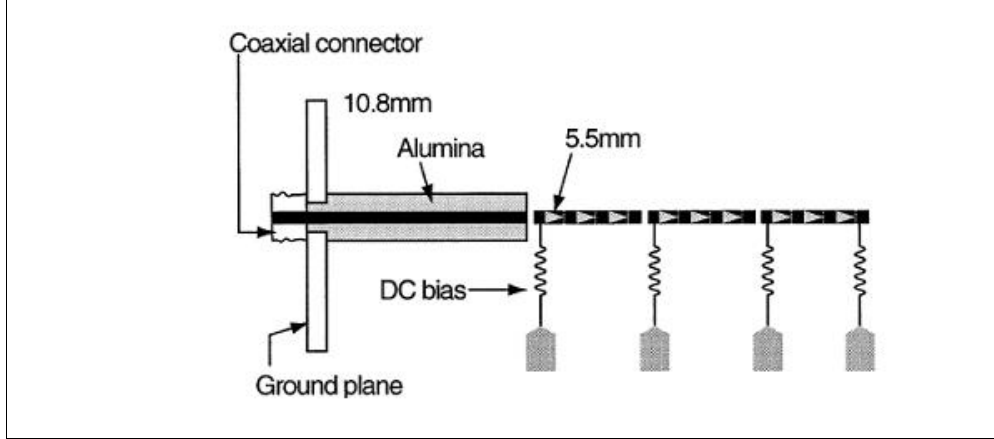
PVDF ile verilebilecek hareket kısıtlıdır ve sadece ince hareket edebilir reflektör yapılarında kullanılabilir. Daha fazla hareket yeteneğine sahip bir silindirik reflektör yüzeyi geliştirmek için piezoseramik malzemelerle yapılandırmayı sağlama konusu üzerine gidilmiştir. Piezoseramik uyarımlı anten yüzeyi modeli için klasik eğimli hüzme teorisi ve Newton metodu kullanılmıştır. Uzak alan ısıma örüntüsü simule edilmiştir. Sonuçlar daha önce de gözlenen iki temel gerçeği doğrulamıştır: ilki uzak alan değiştirilebilmiş, ikincisi antenin ilk iki ısıma modu reflektörün ilk iki titreşim moduna denk gelir.

Aynı PZT eyleyicilerini, çifte eğilmiş anten açıklığına uygulamaya yönelik çalışma da yapılmıştır. Yoon [60], çifte eğilmiş, piezoseramik uyarımlı adaptif anten açıklığı ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

Theunissen [61, 62] yeniden yapılandırılabilir bir hüzme yönlendirici çift-dengeleyici-reflektör anten sistemini, yüzeyi değiştirilebilir ikincil bir reflektör kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu çalışma özellikle uydu uygulamaları için amaçlanmıştır. Çalışmada ana ve ikincil reflektör yüzeyi hedeflenen coğrafi bölgeye göre şekillendirilir. Daha sonrasında ana reflektör şeklini korur ve ikincil reflektörün yüzeyi istenen farklı bölgelerde gerekli kapsamayı sağlayacak şekilde sentezlenir. Bu sentez sırasında yüzeyin genişleme katsayısı elde etmek için genetik algoritma kullanılmış ve yüzeyin şeklini belirleyen yüzey genişleme katsayısı elde edilmiştir. Mekanik yüzey hareketini sağlamak için 23 adet piezoelektrik eyleyici kullanılmıştır.

4.3.4 Ön koşullandırma devresi kullanılarak yapılan yeniden yapılandırılabilir antenler

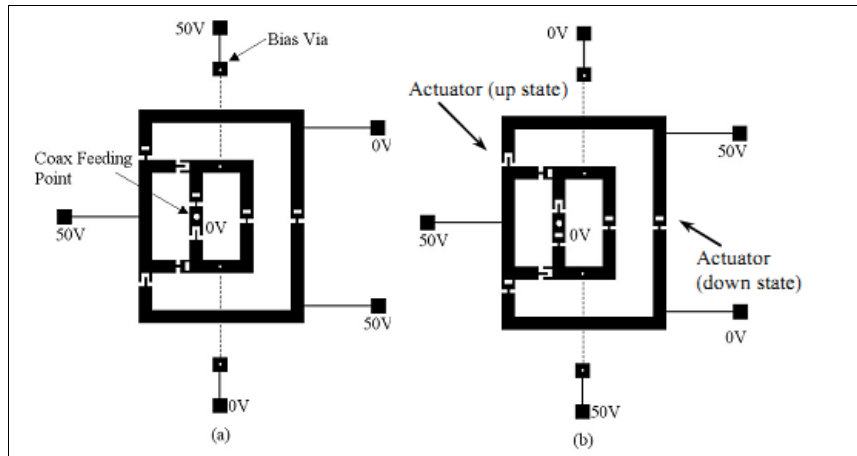
Ön koşullandırma devresi kullanarak yeniden yapılandırılabilir anten tasarımına yönelik bir örnek Şekil 4.6’te görülmektedir. Antenin farklı segmentlerini açıp kapayarak, monopolün aktif uzunluğu değiştirilir. Beklenildiği gibi uzunluk arttıkça çalışma frekansı düşmektedir [37].



Şekil 4.6 : Farklı ön koşullandırma devresi kullanılan yeniden yapılandırılabilir antenler [37].

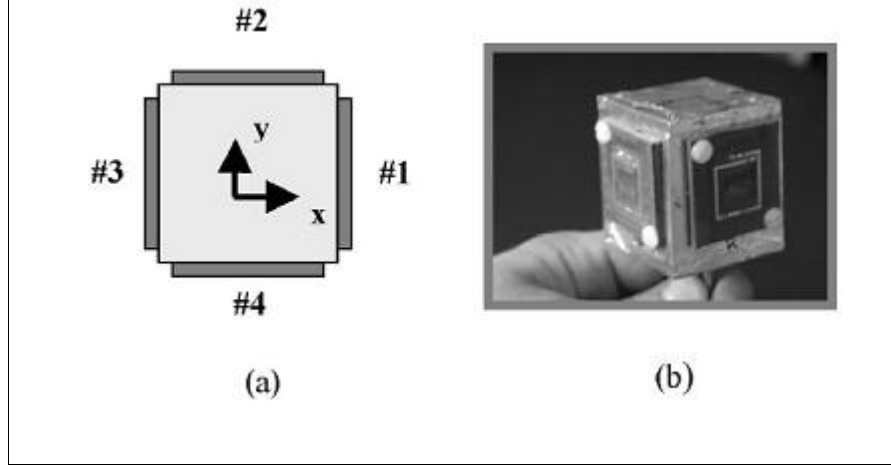
4.3.5 Yeniden yapılandırılabilir anten dizileri

Çetiner ve Şengül [63], çoklu giriş çoklu çıkış sisteminin, yeniden yapılandırılabilir antenler kullanılarak yapıldığında, bir çok fonksiyonu gerçekleştiren anten dizisi elde etmişlerdir. Bu anten dizisi hem ışıma örüntüsünü hem de polarizasyonu yapılandırılabilen bir özellik göstermektedir.



Şekil 4.7 : Yeniden yapılandırılabilir çok fonksiyonlu anten dizisi [63]: (a) sol el dairesel polarizasyon, b) sağ el dairesel polarizasyon.

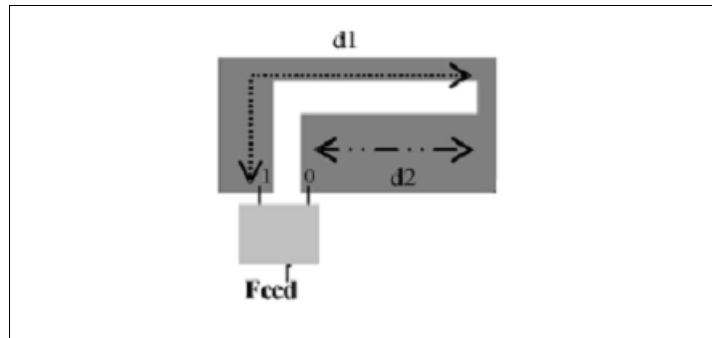
Şekil 4.8’de görülen küp model bir antendir [45]. Kübün dört yüzüne aynı özellikte anten yerleştirilmiştir. Antenler sadece baktıkları doğrultuya polarizedir. Kübün $-z$ yüzeyi beslemek için kullanılmış ve $+z$ yüzeyi boş bırakılmış. Antenler naylon vida ile yüzeylere tutturulmuştur. Antenin ışıma örüntüsü yeniden yapılandırılabilir özellik göstermektedir [45].



Şekil 4.8 : Yeniden yapılandırılabilir anten dizisi [45].

4.3.6 Yeniden yapılandırılabilir besleme devresi kullanılarak yapılan antenler

Beslemesi anahtarlarla kontrol edilen antenlere ilk örnek Mak ve Rowell [43] tarafından verilmiştir. Şekil 4.9’da gösterilen bu anten, yarıklı bir ışıma plakası, toprak plakası ve konumu ayarlanabilir besleme devresinden oluşur. Her besleme noktası için farklı rezonans frekasını elde edilmiştir.



Şekil 4.9 : Yeniden yapılandırılabilir anten yapısı [43].

4.4 Tekrar Yapılandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması

Yeniden yapılandırılabilir anten yapmak için geliştirilen yöntemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Uygulamada anahtarlama elemanı olarak RF-MEMS elemanlarındansa p-i-n Schottkey diyotlarının kullanımına bir kayış

vardır. Bunun sebebi p-i-n or Schottky diyotları daha az ön koşullandırma iletim hattı gerektirmesidir. Değişken kapasitörlerin kullanımı iyi bir yöntem olmasına rağmen varaktörü sürmek için gereken voltaj değişimleri ciddi problem oluşturmuştur.

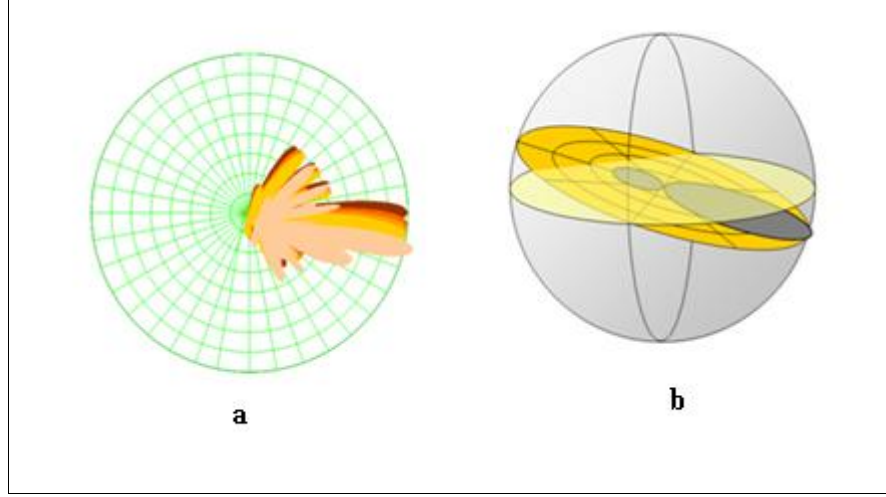
Mekanik olarak anteni değiştirmek zor bir yöntemdir. Besleme devresini yeniden yapılandırılabilir yapmak ve farklı anten elemanlarını sürmek uygulamada halen ciddi zorlukları vardır. Araştırmalar kayıpların azaltılması, zorlukların giderilmesi yönünde devam etmektedir.

4.5 Elektriksel ve Mekanik Eğim Verme ve Yatay Işıma Örüntüsüne Etkisi

Hücresel şebekeler kendisine ayrılan frekans bandını tekrar tekrar kullanarak çok büyük kullanıcı kapasitelerine ulaşır. Bu yapı sistem için bozucu etkinin bilinen radyo sistemlerindeki gürültü sorununun aksine, girişim sorunu olduğu anlamına gelir.

Girişimi azaltmak için sektörel antenler kullanılarak hücreler alt sektörler bölünür. Üç sektörlü bir hücrede antenler arasında belli bir uzaklık bulunur ve antenlerin her biri 120 derecelik bir dilimi kapsar [5].

Hücresel sistemlerdeki girişim sorununa çözüm olarak düşey düzlemde ışıma örüntüsü aşağı doğru eğimlendirilir. Ses iletiminde, hücreler veya sektörler arası girişimden kaynaklanan bozulma, ses karşıdan anlaşılmadığı sürece sorun olmazken, yüksek hızlı veri iletiminde sektör antenlerin ışıma örüntülerinin, interferansı çok daha alt sınırdaki tutacak şekilde ayarlanması, büyük önem taşır [64]. Bu girişimi azaltmak için anten yüksekliğini azaltmak, düşey düzlemde ışıma örüntüsüne eğim verme için kullanılan mekanizmalar mevcuttur. Eğim verme mekanizmaları en çok kullanılan yöntem olup, elektriksel ve mekanik eğim verme olarak ikiye ayrılır. Şekil 4.10a ve 4.10b’de eğim verilmiş düşey ışıma örüntüsünün, yataydaki kazanca etkisi gösterilmiştir.



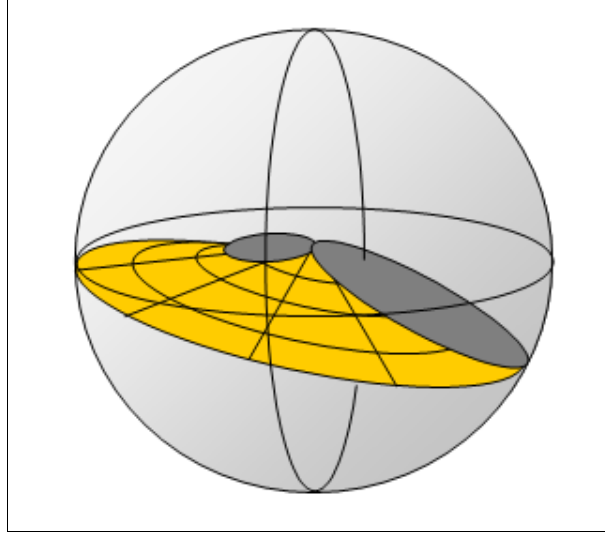
Şekil 4.10 : Hüzmenin aşağı eğimlendirilmesi ile kazancın yatay ekseninde değişimi [5].

Mekanik ve elektriksel eğim verme arasında bazı farklar vardır. Şekil 4.12a'da mekanik olarak eğim verilmiş antenin ana ışınma hüzmesinin değişim aralığını göstermektedir. Şekil 4.12b'de elektriksel olarak eğim verilmiş antenin ana ışınma hüzmesinin yataydaki değişimini göstermektedir. Şekil 4.12a ve Şekil 4.13b'de mekanik ve elektriksel eğim vermenin yatayda ışınma örüntüsüne etkisi gösterilmiştir. Mekanik eğim vermede antenin yataydaki kazancı antenin baktığı yönde azalmış fakat ± 90 derece noktalarında azalmamıştır. Küçük açılarda verilen eğim, örüntünün şeklini koruması açısından kabuledilebilirdir. Fakat eğim artırıldıkça örüntünün şekli önemli ölçüde değişmektedir.

Işınma örüntüsünün bu şekilde değişimi, kapsamanın eğim verme sonucu tüm yönlerde azalmasının istendiği uygulamalar için istenen bir durum değildir. Daha iyi bir çözüm olarak Şekil 4.12b'de görüldüğü gibi, elektriksel eğim verme mekanizması ile tüm yönlerdeki kazancı azalmak mümkündür.

4.6 Elektriksel ve Mekanik Eğim Vermenin Birlikte Kullanılması

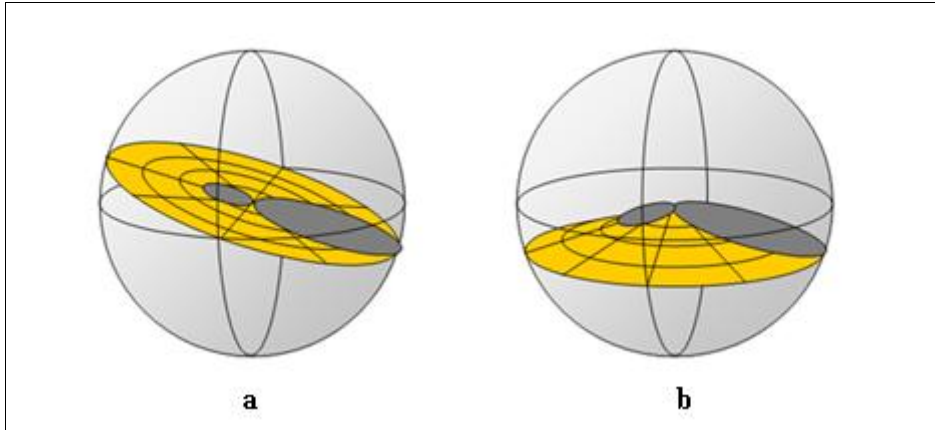
Uygulamada elektriksel ve mekanik eğim verme mekanizmalarının birlikte kullanıldığı durumlar vardır. Bunun sonucu olarak Şekil 4.12b'de görülen örüntünün değişimi Şekil 4.11 ile gösterilen esnekliğe kavuşturulmuştur. Sonuç olarak, yatayda antenin yayın yaptığı yönde kazanç azalmış, ± 90 derece açılarda da azalmış ve 180 derecede artmıştır.



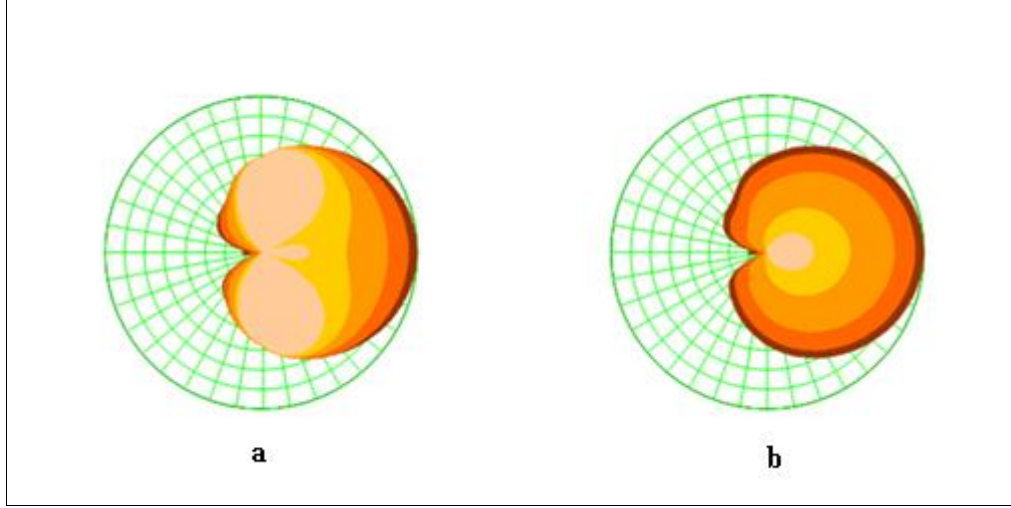
Şekil 4.11 : Eğim verme mekanizmalarının birlikte kullanılması [5].

Bu tür anten ışımasını değiştirme mekanizmaları bizim çalışmamız açısından öncü niteliktedir. Bu mekanizmalarla hücreler arası girişim azaltılırken, antenin gücü havaya değil istenen yöne vermesi amaçlanmaktadır. İlerki bölümlerde görüleceği gibi tasarlanan antenin ışıma örüntüsünün, maksimum kazanç noktası yatayla 40 derece civarı bir açı yapmaktadır. Yani antenin ışıması kendinden eğimlidir.

Sahada uygun şekilde yerleştirildiği takdirde, anten doğal olarak yayınımları büyük oranda yere yapacaktır. Anten bu haliyle yer aydınlatması için gayet ideal bir yapıdır. Antenin hücreli sistemlerde kullanılması durumunda antenin bu ışıma karakteristiği dolayısıyla fazla mekanik eğim verme açısına ihtiyaç duyulmayacaktır. Bu durum mekanik eğim vermenin yüksek açılarda yapıldığı durumlarda, yatayda ışıma örüntüsündeki bozucu etki hatırlandığında antenin avantaj sağladığı bir yön olarak anlaşılabilir.



Şekil 4.12 : Mekanik ve elektriksel eğim verme mekanizmaları arasındaki fark [5].



Şekil 4.13 : Yatay eksenlerdeki ışıma örüntüsü değişimleri arasındaki fark [5].

5. ANTEN TASARIMI ve BENZETİMİ

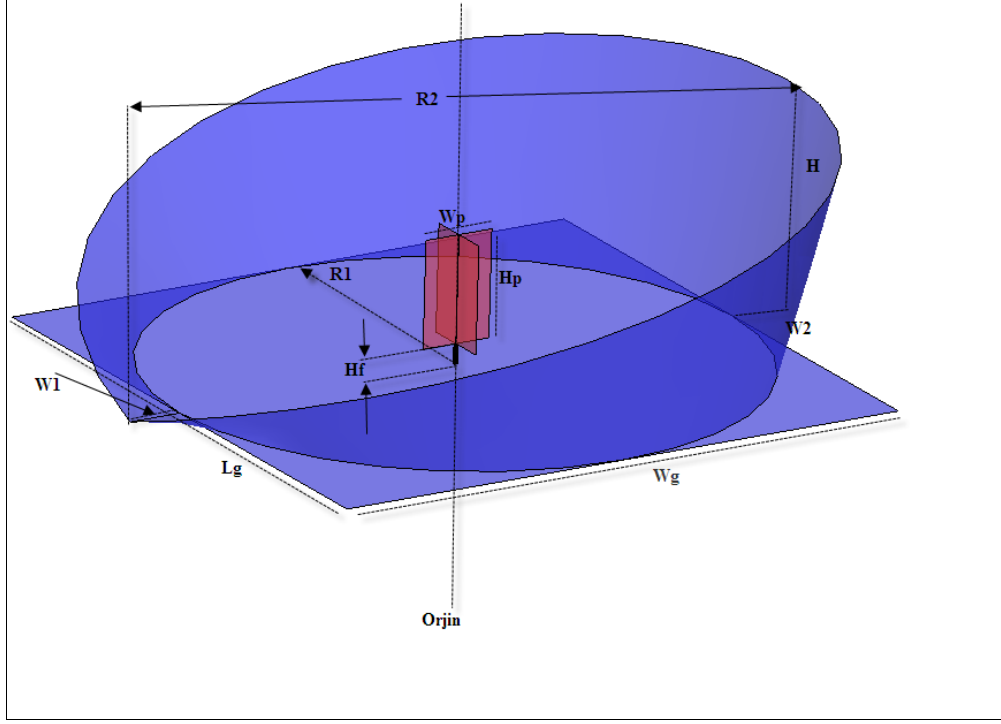
5.1 Tasarımın Amacı

GSM baz istasyonları için bir anten tasarlamak amaçlanmıştır. Anten için amaçlanan çalışma frekans bandı GSM1800MHz ve UMTS2000MHz sistemlerini içine alan bant olarak seçilmiştir. Hücresel sistemler birkaç farklı frekans bandında (900MHz,1800MHz ve 2.0GHz gibi) çalışırlar. Bu sebeple tasarlanan antenin, baz istasyonlarında kullanımı için iki farklı teknolojiye hizmet verecek şekilde çalışması gerekmektedir. Şekil 5.1’de tasarlanan anten görülmektedir.

Bu antenin tasarımındaki ikinci bir amaç ise antenin ışıma örüntüsünün dinamik olarak değiştirilmesidir. Bilinen akıllı anten sistemlerinden farklı olarak geliştirilen ayrı bir yöntemle bu amaç gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

5.2 Anten Tasarımı

Tek ışıma plakası olan düzlemsel monopol antenlerin genel ışıma karakteristikleri bu çalışma açısından istenilen şekilde değildir. İstenilen ışıma karakteristiği ise üst yarı düzlemde yatay düzleminde yönsüz bir ışıma karakteristiğidir. Zira sadece üst yarı düzlemde her yöne eşit güçte ışıyan bir antenin kazancını ikinci bir yansıtıcı toprak yüzeyiyle şekillendirmek mümkün olacaktır. Bu amaçla Şekil 5.1’de görülen antenin ilk önce çevresindeki parabolik yansıtıcı toprak parçası olmadan örüntü çıkarılmıştır. Tek bir dörtgen plaka kullanılması istenen örüntü vermediği için köşegen bir plaka yapısı tasarlanmıştır.



Şekil 5.1 : Amaçlanan anten geometrisi.

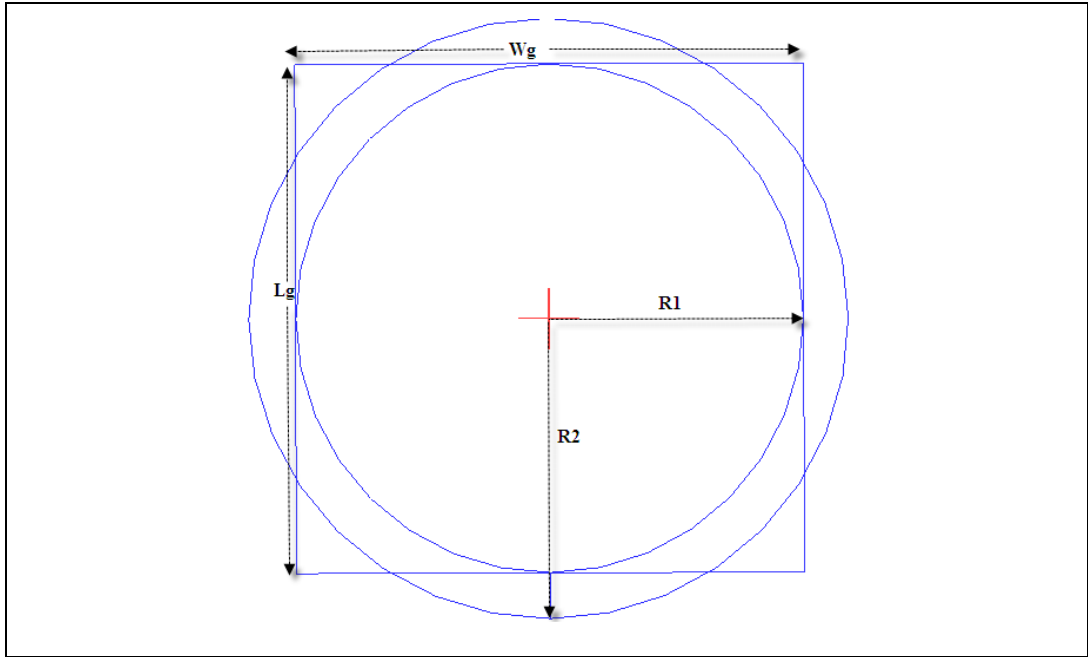
Anten ışıma plakasının altında kare bir toprak plakası ve onun üstünde ikinci bir toprak plakası kullanılmıştır. Bu ikinci plaka alttaki toprak plakasına kısa devredir. Düzlemsel monopol anten yapısına uygun olan bu tasarımda tek farklılık ikinci yansıtıcı toprak plakasının kullanılmış olmasıdır. Düzlemsel monopol antenin teorisinden toprak plakasının boyutu $\lambda/2$ 'nin katı olacak şekilde alınır. İstenen frekans aralığı 2GHz civarı olduğundan $\lambda=150\text{mm}$ olmaktadır. Alttaki toprak plakası $134\times 134\text{mm}$ olarak tasarlanmıştır. Çevresindeki ikinci toprak plakası ise; çöken kenarının kalınlığı 12.06mm ve en yüksek kenarının hipotenüs uzunluğu 51.4mm ve yükseltisi 50mm olarak tasarlanmıştır. Böylece toplam toprak boyutu 146.06mm-185.4mm arasında ve her açıda farklı bir değeri olacak şekilde tasarlanmıştır. Eğer ikinci toprak düzleminin parabolitesi istenilen yönde azalan veya artan karakteristikte oluşturulursa antenin ışıma paterni bu değişimi takip edecek şekilde değişecektir.

Zira yüksekliği sıfır olan bir toprak tabakası tek başına kullanıldığında; üst yarı düzlemde her yöne hemen hemen eşit dağılan ışıma örüntüsü, yükseltisi olan ikinci bir toprak düzleminin kullanılmasıyla yükseltinin değişimine göre belli yönlerde kazanç artarken belli yönlerde kazanç azaltılacaktır.

Anten, toprak plaka üzerine düşey olarak yerleştirilmiş, antenin ışıma plakasıyla birleştirilmiş, 50Ω koaksiyel hatla beslenmiştir. Tasarımın düşük profilli (üretimi kolay) olması açısından böyle bir besleme tercih edilmiştir.

Antenin ışıma plakasının toprak plakasından yükseltisi 28.5mm olarak seçilmiş. Bu antenin 2GHz'den daha yüksek frekansta rezonansa girmesini sağlarken ilk katta kullanılan toprak plakasının boyutu antenin istenen 2GHz civarında rezonansa girmesini sağlamıştır. Tek başına alttaki toprak plakasının kullanılması antenin rezonans frekansını düşürmezken ikinci toprak plakasının kullanılmasıyla rezonans frekansı düşürülmüştür.

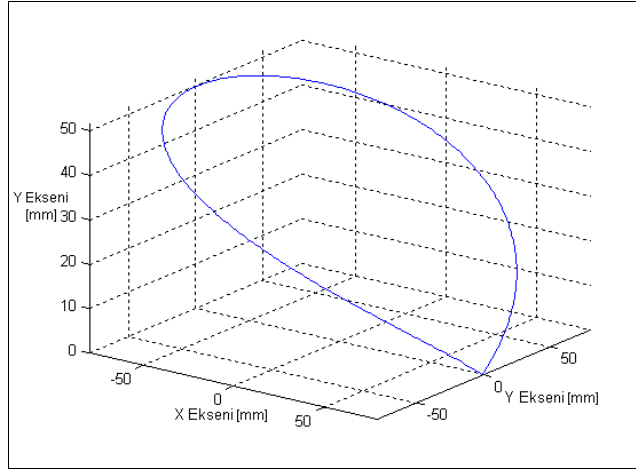
Akıllı anten dizi sistemleri düşünüldüğünde bu tasarım, tek bir antenden oluşması sebebiyle sistem karmaşıklığını azaltmıştır. Çevresindeki toprak plakasının hareketini sağlayacak bir sistemin tasarlanmasıyla bu anten baz istasyonlarında günlük trafik yoğunluğuna göre anten yayın yönünün değiştirilmesiyle, bir akıllı anten sisteminin yerini tutabilecek yeterliliktedir. Tezin 7. Bölümünde bu sistemin gerçekleştirilmesine yönelik bir modelin üzerinde durulmuştur.



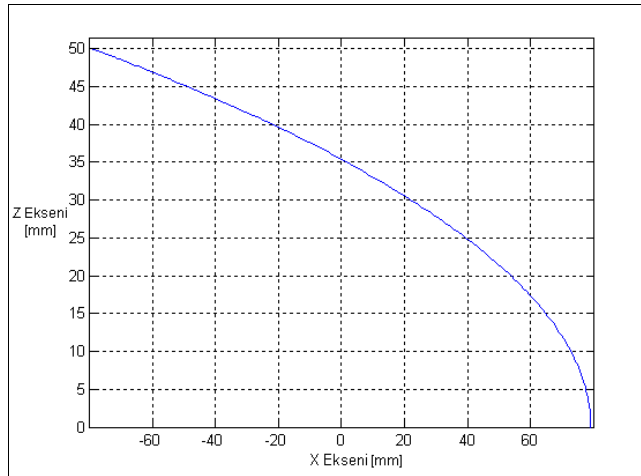
Şekil 5.2 : Amaçlanan antenin üstten görünüşü.

Köşegen toprak parçasının uzunluğu $L_g = 134\text{mm}$ ve genişliği $W_g = 134\text{mm}$ 'dir. Parabolik ikincil toprak plakasının iç yarıçapı $R_1 = 67\text{mm}$ ve dış yarı çapı $R_2 = 79.06\text{mm}$ 'dir. Diğer parametreler ise şöyledir; $W_p = 16\text{mm}$, $H_p = 24\text{mm}$, $H_1=50\text{mm}$, $W_1 = W_2 = 12.06\text{mm}$, beslemenin boyu $H_f = 4.5\text{mm}$ 'dir.

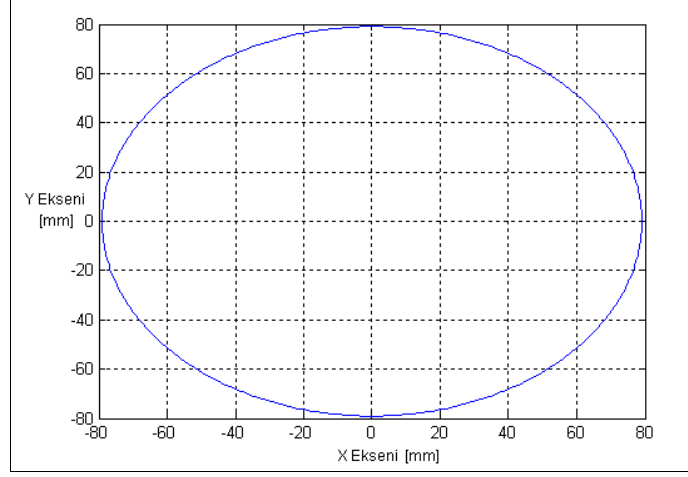
Antenin ikincil parabolik toprak parçasının oluşturulmasında EK A.4'te verilen kod kullanılmıştır. Bu kodda ikincil parabolik toprak parçasının üst sınır çizgisi oluşturulmuştur. Burada “teta1” parametresi ikincil toprak plakasının alt yarı çapını, “teta2” parametresi yükseltinin sıfır olması istenilen açı değerini, “h” parametresi yükselti katsayısını belirler. Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te parabolik ikincil toprak plakasının yukarıdaki koda göre çizdirilen üst kenar çizgisinin değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.3'ten görüldüğü gibi ikincil toprak plakasının üst kenar çizgisi parabolik bir eğri özelliğine sahiptir. Şekil 5.4'te yandan üst kenarının değişimi verilen ikincil parabolik toprak plakası, görüldüğü gibi yükseltisi yataya göre her noktada değişen bir özelliktedir. Şekil 5.4'te ikincil parabolik toprak plakasının üst kenarının üstten görünüşü verilmiştir. Üstten bakıldığında ise yarı çapı R2 olan bir daire özelliğinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3 : Parabolik toprak plakasının üst kenar çizgisinin üç boyutlu değişimi

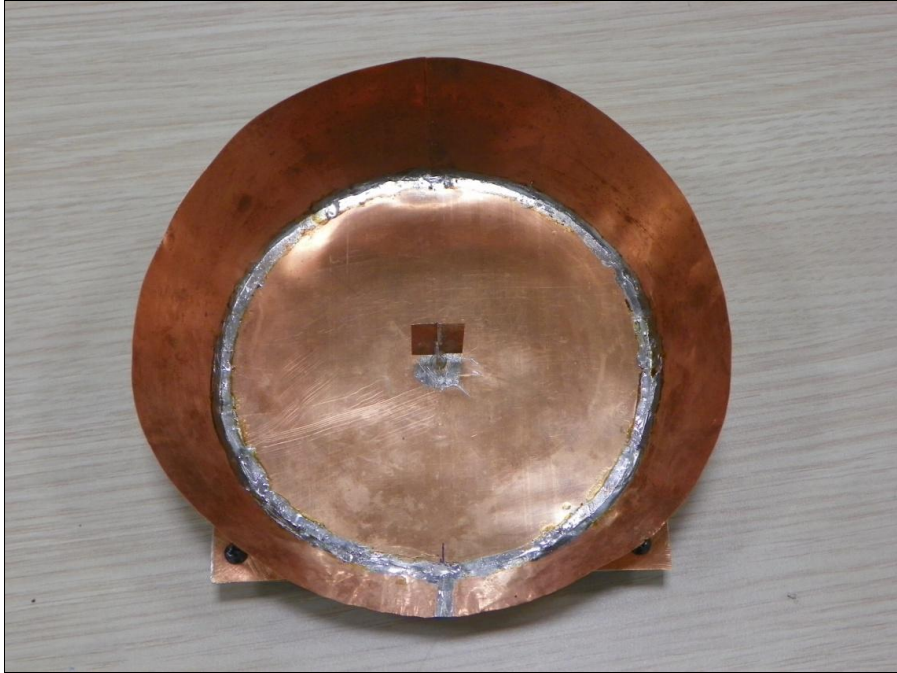


Şekil 5.4 : Parabolik toprak plakasının üst kenar çizgisinin yandan görünüşü.



Şekil 5.5 : Parabolik toprak plakasının üstten görünüşü.

Şekil 5.4'te antenin laboratuvarında yapılan modeli görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi anten bir köşegen düzlemsel ışıma plakası, altında bir toprak plakası ve onun çevresinde her açıda farklı bir yükselti ve açı değeri olan ikincil parabolik toprak plakası bulunmaktadır. Antenin bu modeli sabit bir yapılandırma göstermektedir. Bu modelle antenin çevresini saran ikincil toprak plakasını oynatmak mümkün değildir. Fakat eğer bu modelle tek bir yapılandırma için antenin çalıştığı gösterilirse, diğer mümkün olan ve bir sonraki bölümde benzetim olarak gösterilen yapılandırmaları için de çalışabilirliği anlaşılabacaktır.



Şekil 5.6 : Antenin laboratuvarında yapılan modeli.

5.3 Benzetim

Uygun antenin seçimiyle beraber bir sonraki aşama, önceden tanımlanan frekanslarda bu antenin geri dönüş kaybının (Return loss) ve ışıma örüntüsünün bulunmasıdır.

Bunu yapmak için bir anten tasarım yazılım paketi olan ANSOFT HFSS adındaki program seçildi. Bu program antenin benzetimi ve geliştirilmesi için kullanılmıştır. HFSS programı FEM tabanlı bir elektromanyetik dalga benzetim programıdır.

5.4 Ansoft HFSS Yazılımı

HFSS programı üç boyutlu olarak tanımlanan elektromanyetik dalganın frekans domain analizini yapan bir programdır. Sonlu elemanlar yöntemi (finite element method-FEM) kullanarak komponentlerin elektriksel davranışını analiz eder. HFSS kullanarak üç boyutlu tasarım yapılabilir, üç boyutta elektromanyetik dalganın davranışı görüntülenebilir (yakın ve uzak alanda) ve S parametre analizi yapılabilir. Bunun dışında antenin elektrik ve manyetik alanına dair akım dağılımları, kalite faktörü, ışıma örüntüsü, kazanç, hüzm genişliği ve yan lob seviyeleri analiz edilebilir. Mühendisler; pasif gömülü elemanlar, entegre devre(IC) paketleri, baskı devre kartı (PCB) ara bağlantıları ve anten, RF/mikro dalga bileşenleri, biyomedikal cihazlar gibi yüksek-frekans yapıların tasarımlarında HFSS'i yoğun olarak kullanırlar.

5.5 Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)

Sonlu elemanlar yöntemi cisimlerin yapısal analizi üzerine geliştirilen bir numerik yöntemdir [66]. İlk olarak matematikçi Courant [66] tarafından 1943 yılında önerilmiştir. Yöntemin elektromanyetik problemlere uygulanışı 1968 yılına kadar gider. Birçok elektromanyetik problemde, ayrık diferansiyel denklemler veya integral denklemleriyle çalışılır. Ayrık diferansiyel denklemlerin çözümünde genel olarak sonlu elemanlar yöntemi veya sonlu farklar yöntemi kullanılırken integral denklemlerin çözümünde moment yöntemi kullanılır. Diğer yöntemlerden farklı olarak sonlu elemanlar yöntemi, çözümü aranan yapının homojen olmama durumunu da hesaba katar.

Sistemlerin genel olarak homojen olmayan karakteristikte olması, birçok problemde sonlu elemanlar yöntemini, çok yönlü bir çözüm aracı olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Sonlu elemanlar analizinde problem dört adımda çözülür: 1) Çözüm alanını alt alanlara veya yapılara ayrıştırılır, 2) herhangi bir yapı için yürütücü denklem elde edilir, 3) tüm çözüm alanları ana çözüm alanında birleştirilir, 4) ve sistem denkleminin çözümü elde edilir.

5.6 Özet

Bu bölümde, hüzme kontrolü yapılabilmesine olanak tanıyan yeni bir düzlemsel monopol antenin geliştirilmesi anlatılmıştır. Bu antenin, GSM1800, UMTS2000MHz şebekelerinde dinamik kapsama alanı yönetimine olanak tanıyacak şekilde geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen monopol antenin taban toprağı üzerinde yükseltisi değiştirilebilen parabolik ikinci toprak yüzeyiyle tasarımda hem hüzme kontrolü hem de monopol antenin düşey eksenindeki boyutu küçültülmüştür. Antenin boyutu 158mm×158mm×51.4mm olması, hüzme kontrolü için kullanılan diğer anten sistemlerinin boyutlarıyla karşılaştırıldığında yer avantajı sağladığını göstermektedir.

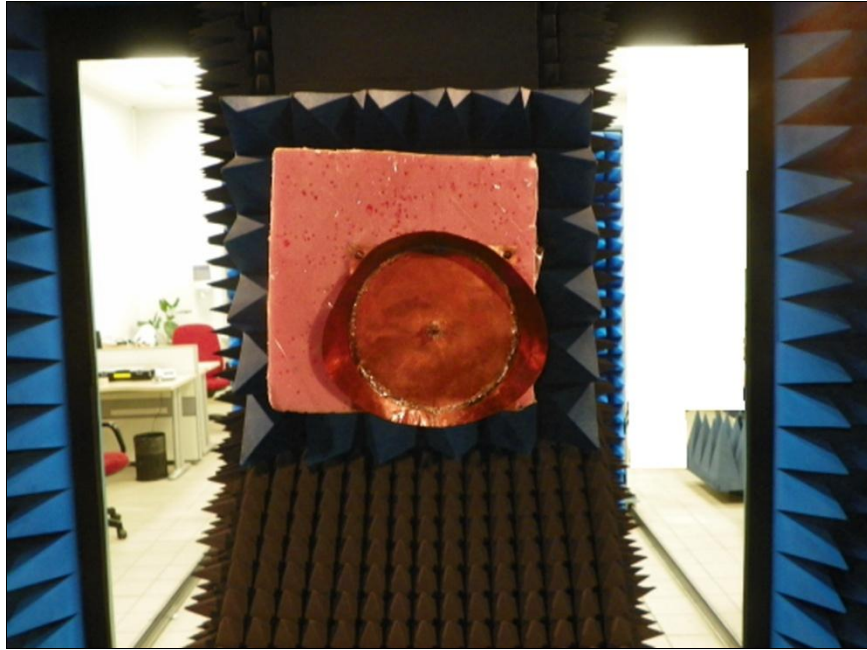
Anten sonlu elemanlar yöntemi tabanlı HFSS programı kullanılarak analiz edilmiştir. Daha sonrasında laboratuvar ortamında sabit bir yapılandırma için model anten yapılmıştır. Bir sonraki bölümde antenin benzetim ve ölçüm sonuçları verilmiştir. Bunlar üzerinden modelin tasarımı uygunluğu ve amaçlanan hüzme yönlendirme işlemine uygunluğu tartışılmıştır.

6. BENZETİM ve ÖLÇÜM SONUÇLARI

6.1 Giriş

Bu bölümde bilgisayar ortamında tasarlanan antenin, ANSOFT HFSS programı kullanılarak yapılan benzetim sonuçları ve amaçlanan antenin laboratuvar ortamında sabit bir yapılandırmada üretilen modelinin ölçüm sonuçları verilmiştir.

Antenin ışıma örüntüsü ölçümleri TÜBİTAK UEKAE anten laboratuvarında yapılmış olup ölçüm düzeneği Şekil 6.1’de görülmektedir.

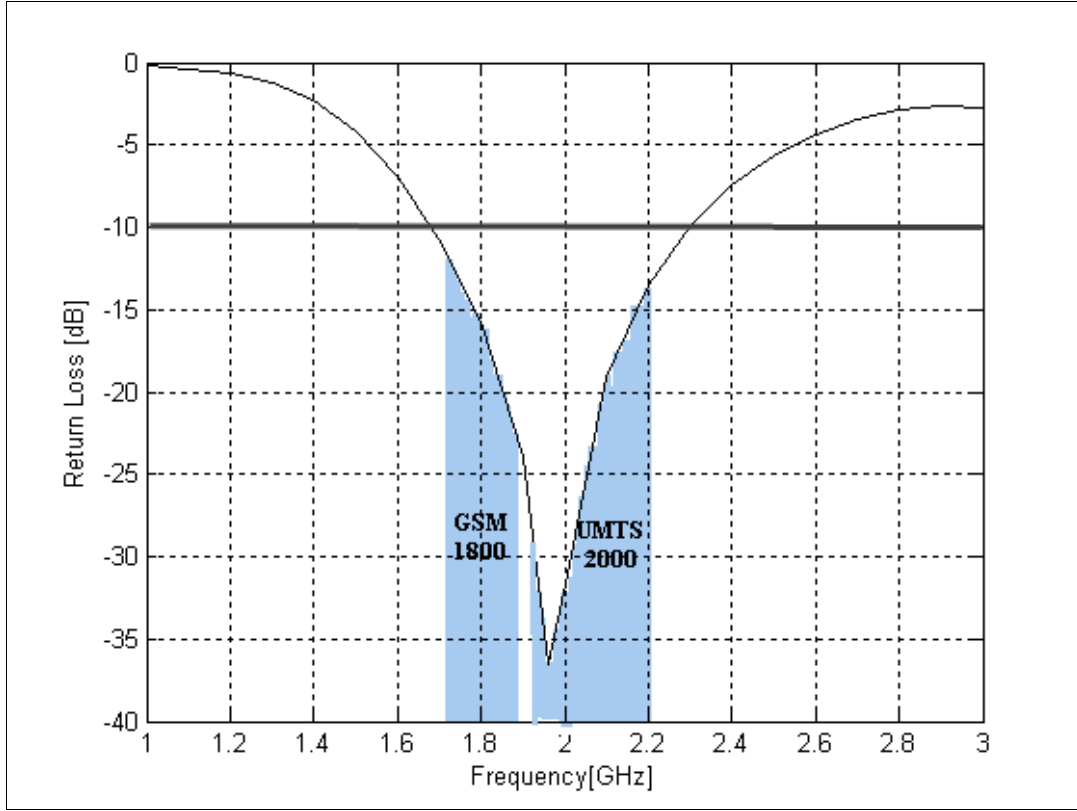


Şekil 6.1 : Yansımaz ortam laboratuvarı ölçüm düzeneği.

6.2 Antenin Geri Dönüş Kaybı (Return Loss)

Anten benzetimleri sonucu -10dB daha az geri dönüş kaybı olan frekans aralığı 1.68GHz ile 2.3GHz olarak görülmektedir. Bu aralık; GSM 1800 MHz ve UMTS 2000MHz haberleşme sistemlerinin çalışma aralığıdır [67]. Geliştirilen anten bu

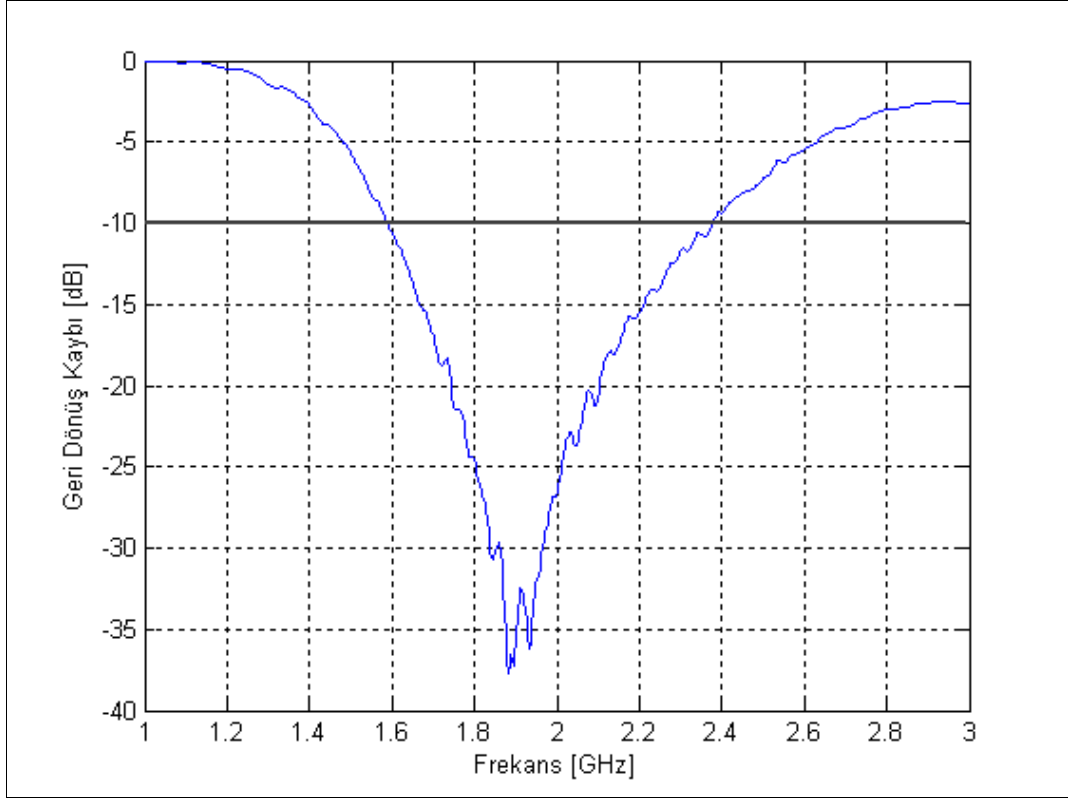
haberleşme sistemlerini destekleyen bir geri dönüş kaybı (return loss) değerine sahiptir.



Şekil 6.2 : Tasarlanan antenin simüle edilen geri dönüş kaybı.

Şekil 6.2’de tasarlanan antenin geri dönüş kaybının frekans üzerinden değişimi görülmektedir. Rezonans frekansının 1.9GHz civarında olması kullanılan toprak plakasının toplam boyutunun 160mm civarında yani tam bir dalga boyu kadar olmasından kaynaklanır [6].

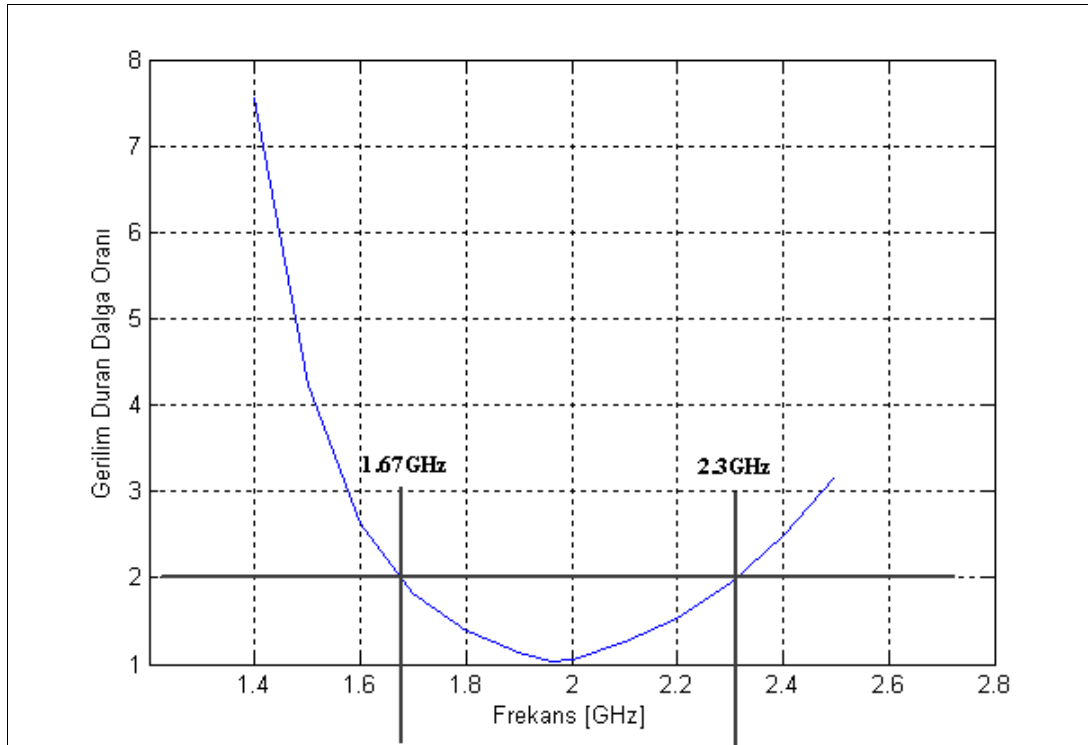
Antenin, laboratuvarında yapılan modelinin, Rodhe&Schwarz-FSH4 spektrum analizör kullanılarak ölçülen geri dönüş kaybı değerleri 1GHz-3GHz bandında Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi ölçüm sonuçları benzetim sonuçlarıyla büyük oranda örtüşmektedir.



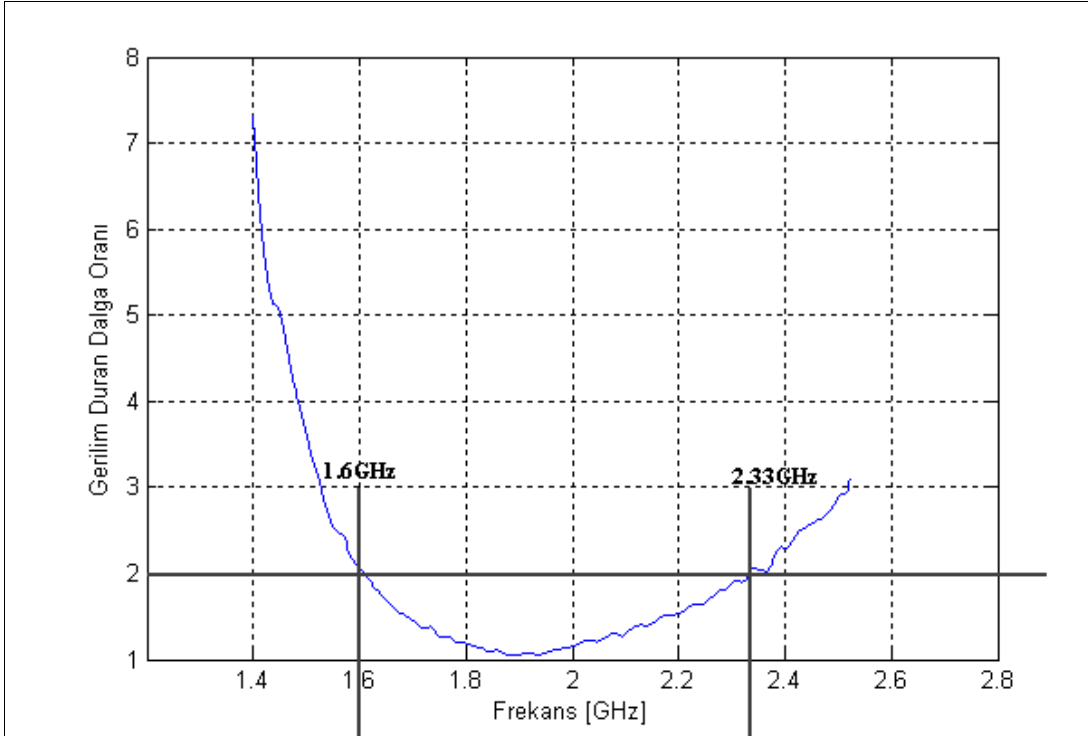
Şekil 6.3 : Tasarlanan antenin ölçülen geri dönüş kaybı.

6.3 Antenin Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR)

Antenin diğer bir temel parametresi olan VSWR değeri ise antenin empedans uyumunun bir ölçüsü olup, bu oranın 1'e yakın olmasına çalışılır. Bölüm 2'de bahsedildiği gibi bu oranın 1'e yakın olması yansıma katsayısının sıfıra yakın olması buda geri yansıyan gerilim genliğinin sıfıra yaklaştığını gösterir. Şekil 6.4'te tasarlanan antenin simule edilen VSWR değeri ve Şekil 6.5'te yapılan antenin ölçülen VSWR değerleri gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi antenin ölçülen VSWR değeri benzetim sonuçlarıyla büyük oranda örtüşmektedir.



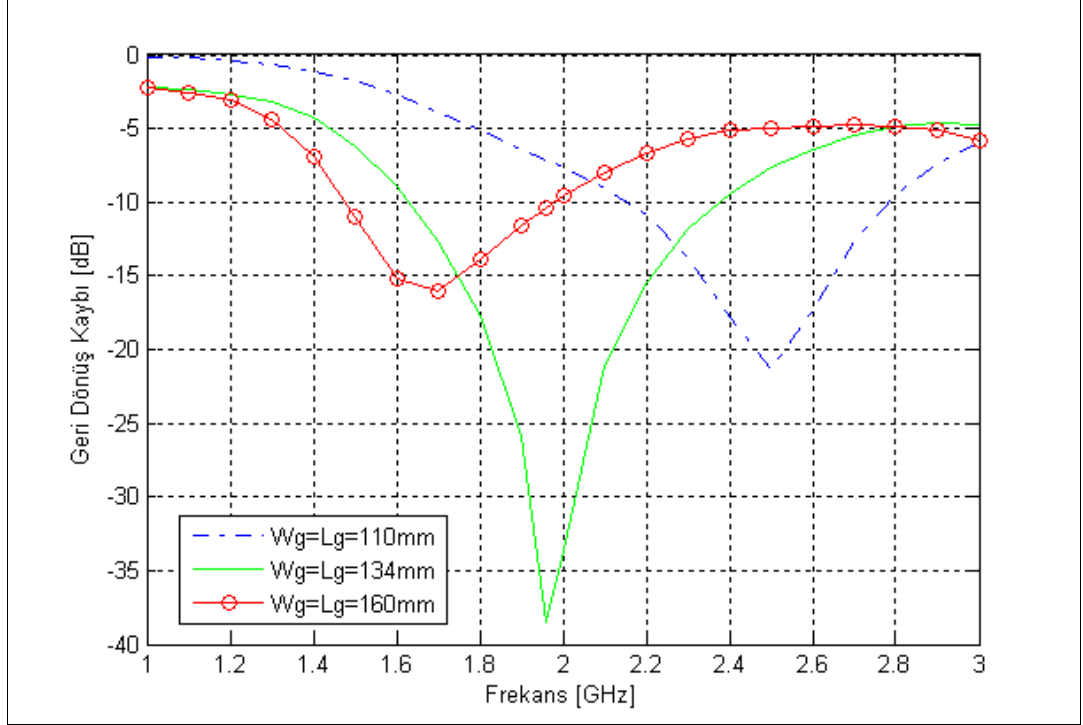
Şekil 6.4 : Antenin simule edilen derilim duran dalga oranı (VSWR) değeri.



Şekil 6.5 : Yapılan antenin ölçülen derilim duran dalga oranı (VSWR) değeri.

6.4 İkincil Parabolik Toprak Plakasının Rezonans Frekansına Etkisi

Monopol antenin toprak plakasının anten parametrelerine olan etkisi Bölüm 3'te tartışılmıştı. Çeyrek dalga boyu düzlemsel monopol anten için, yarım dalga boyunun katı boyutundaki toprak tabakası, bir ışıma elemanı gibi çalışır. Bu yüzden toprak plakasının boyutu, bu antenin empedans karakteristiğini hesap ederken üzerinde durulmuştur.



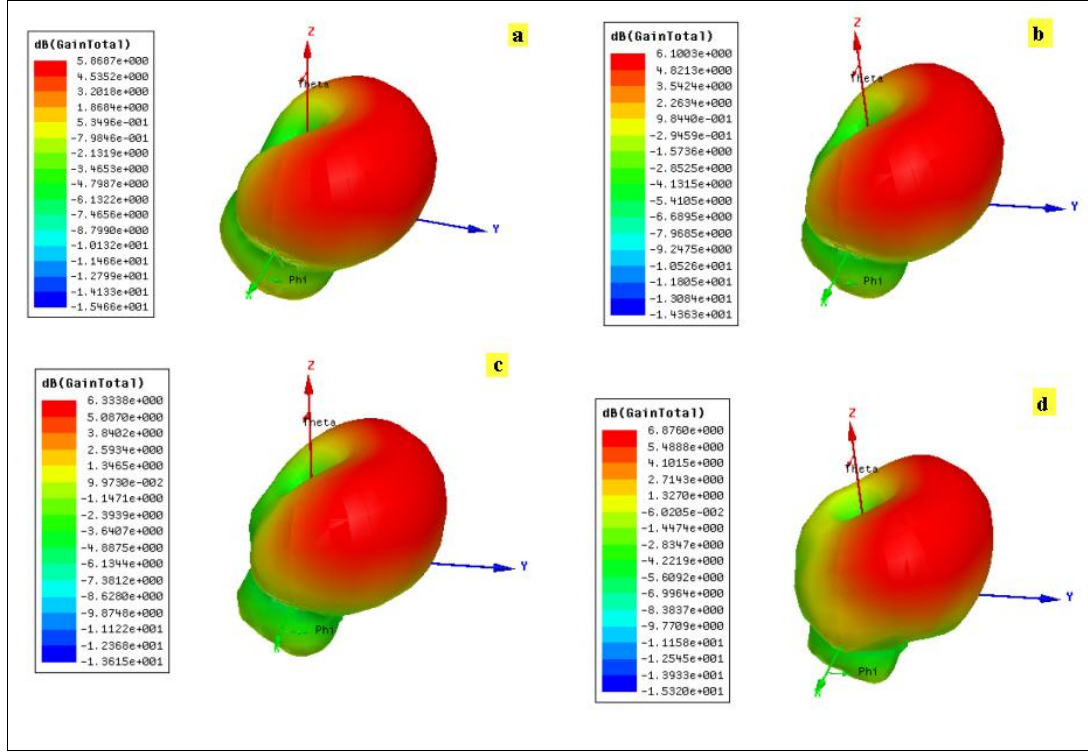
Şekil 6.6 : Anten toprak plakasının geri dönüş kaybına etkisi.

Benzetimlerde alt toprak plakasının en ve boyunun büyütülmesiyle birlikte parabolik toprak plakasının alt ve üst yarı çapıda uygun ölçüde büyütülmüştür. Toprak plakasının boyutu yarım dalga boyundan büyük olacak şekilde çeşitli değerler aldığında antenin rezonans frekansı Şekil 6.6'da görüldüğü gibi değişmektedir. Toprak plakasının boyutu büyüdüğünde rezonans frekansı düşmektedir aynı şekilde toprak plakasının boyutu küçüldüğünde rezonans frekansı artmaktadır. Antenin ışıma plakasının boyutları değişmediği için bu değişim sonucu iyi bir empedans uyumu veya geri dönüş kaybı değeri gözükmemektedir.

Geliştirilen anten için ışıma plakasının boyutları ve alt toprak plakasının boyutu istenen frekans bandında yeterli geri dönüş kaybı değerinde ışıkmaktadır.

6.5 Üç Boyutlu Uzak Alan Işıma Örüntüleri

Antenin performansını analiz ederken empedans uygunluğu (return loss) önemli bir parametredir. Bunun yanı sıra antenin diğer bir temel karakteristiği ve haberleşme ortamı için uygulanabilirliğinin ölçüsü ışıma örüntüsüdür. Şekil 6.7’de tasarlanan antenin farklı frekanslarda, üç boyutlu ışıma örüntüsü benzetimleri verilmiştir.



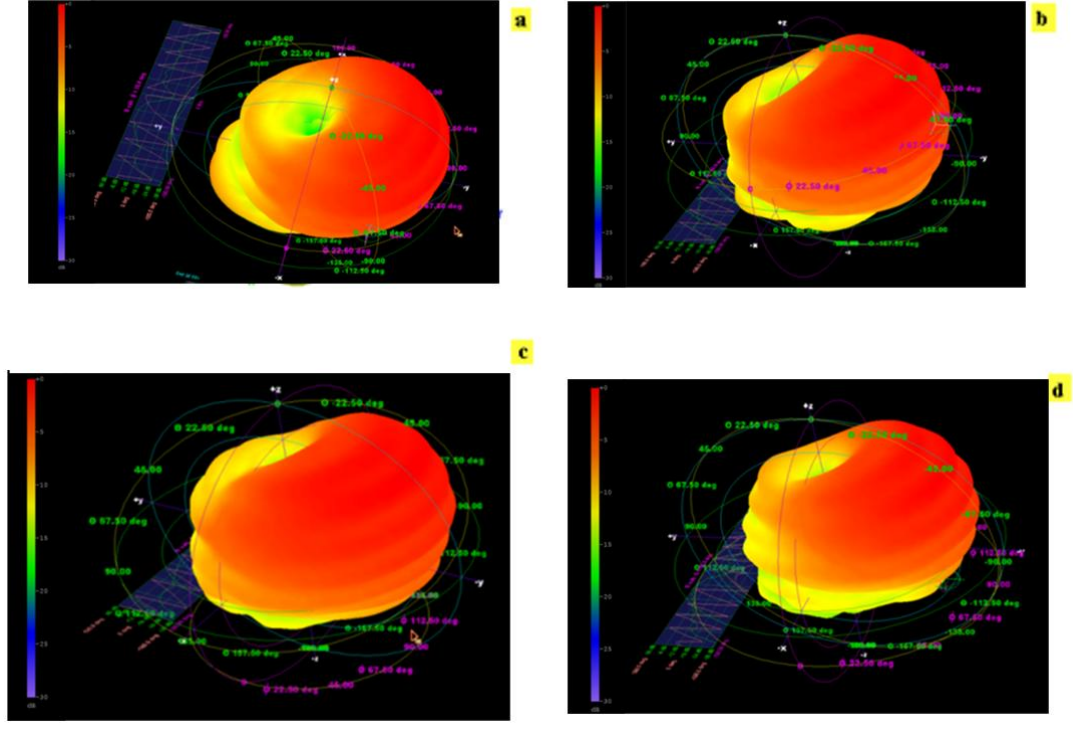
Şekil 6.7 : Benzetimi yapılan antenin üç boyutlu ışıma örüntüleri, a) 1.8GHz, b) 1.9GHz, c) 2GHz, d) 2.2GHz.

Bu örüntüler çizdirilirken, parabolik toprak plakasının $\phi = 90$ açısındaki yükselti sıfırlanmıştır ve ışıma bu doğrultuda yönlendirilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi ışıma istenilen yönde gayet iyi yönlenmiştir. Antenin ışıması yatay (azimut) eksenine göre belli bir eğimde artmaktadır. Görüldüğü gibi kazanç bu frekanslarda farklı değerler almaktadır. Hüzme yönlendirme her frekansta korunmuştur. Antenin kazancı yönlendirildiği doğrultuda maksimum olurken, yönlenmiş olduğu açının civarında yaklaşık ± 30 derece dilimde kazanç değişmezlik özelliği göstermektedir. Diğer bir değişle yarı güç bant genişliği 60 derece civarındadır.

TÜBİTAK UEKAE anten laboratuvarlarında antenin ışıma örüntüsü çıkarılmış ve sonuçlar Şekil 6.8 gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları benzetim sonuçlarıyla uyumlu çıkmıştır. Antenin hüzmesi görüldüğü gibi yönlendirilmiştir. Antenin kazancıda

benzetimlerle uyumlu olarak yine 5-7dB civarında çıkmıştır. Ölçüm sonuçlarında ise kazancın değişimi Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Tasarlanan anten, yer aydınlatması veya belli bir doğrultuda olan bölgeyi tümnden kapsanması ihtiyacına cevap verebilecek yeterlilikte bir ışınma örüntüsü olduğu görülmektedir.



Şekil 6.8 : Yapılan antenin ölçülen 3 boyutlu ışınma örüntüleri, a) 1.8GHz, b) 1.9GHz, c) 2GHz, d) 2.2GHz.

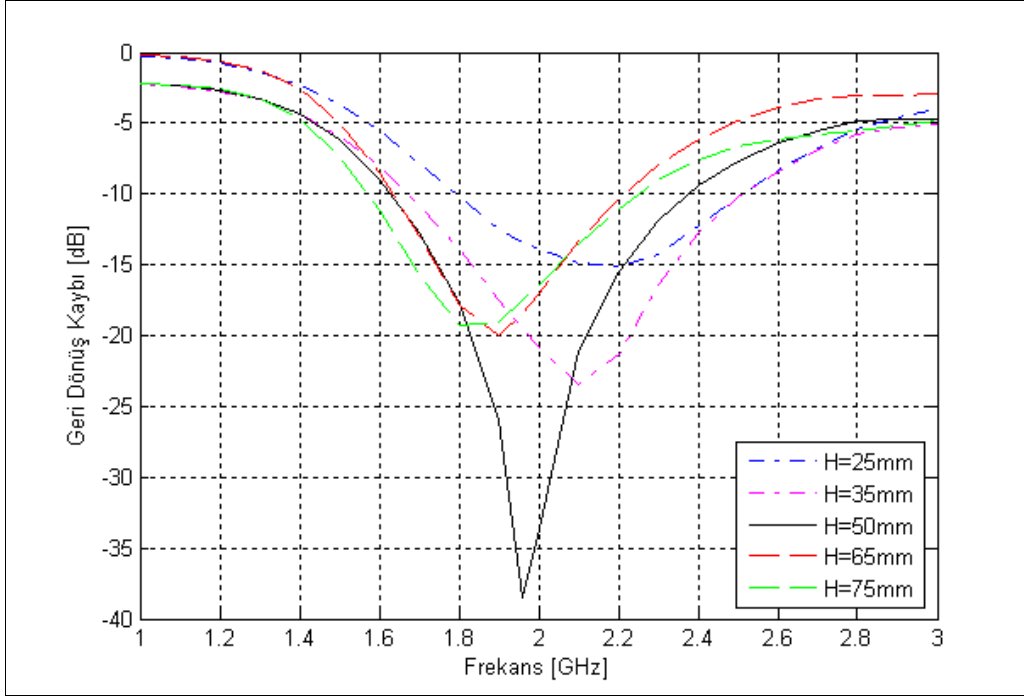
Çizelge 6.1 : Anten kazançları [dB]

Frekans [GHz]	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Ölçüm	6.6	6.8	7.2	7.6	8.1	8.5	8.9	9.4	10	10.4
Benzetim	5.6	5.8	6.1	6.3	6.6	6.87	7.5	7.81	8.24	8.52

6.6 Parabolik Toprak Plakasının Yükseltisinin Etkisi

Parabolik toprak plakasının yükseltisi antenin kazancı ve geri dönüş kaybı üzerine etkisi vardır. Şekil 6.9’da görüldüğü gibi yükselti arttıkça kazancı veya yöneltiliği artarken geri dönüş kaybı, antenin diğer parametrelerine de bağlı olduğu için, yükseltideki bu değişime farklı reaksiyon göstermektedir. Yükseltinin artması,

antenin toprak plakasının toplam alanının artması anlamına geldiğinden, yükselti arttıkça rezonans frekansı alçak frekanslara kayarken yükselti azaldıkça rezonans frekansı yüksek frekanslara kaymaktadır.

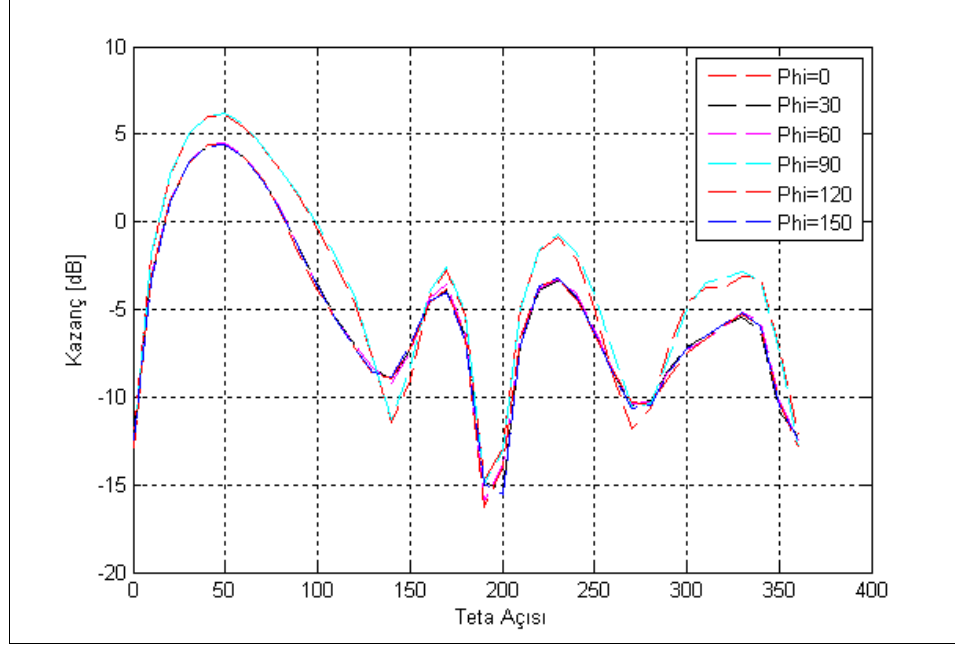


Şekil 6.9 : Parabolik toprak plakasının yükseltisinin antenin geri dönüş kaybına etkisi.

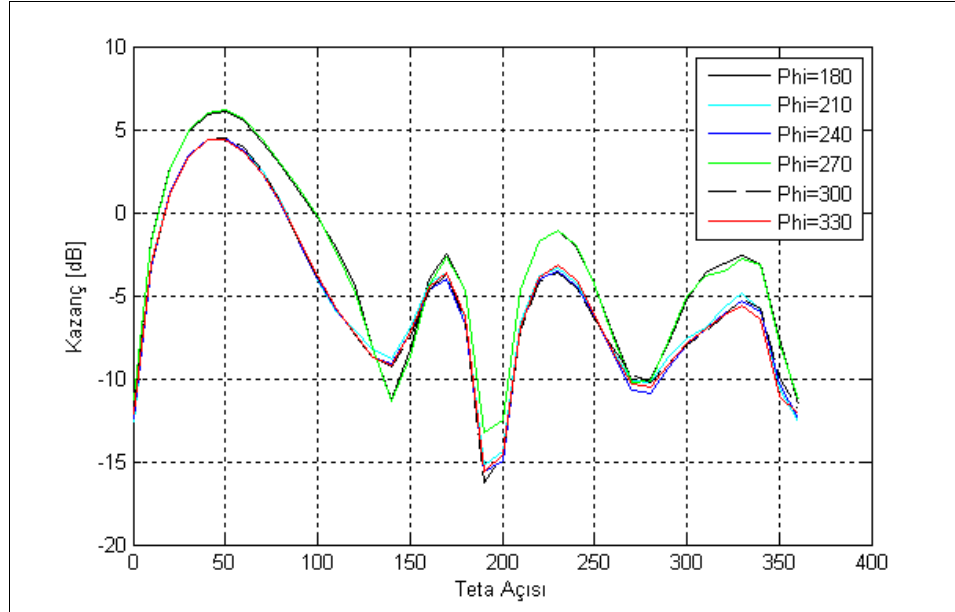
Antenin istenilen frekans bandında ışması için gerekli olan yükselti görüldüğü gibi daha önce tasarımda verilen yükselti değeri olan 50mm'dir.

6.7 Parabolik Toprak Tabakasıyla Antenin Hüzme Kontrolü

Parabolik toprak parçası bir yansıtıcı görevi görerek antenin ışmasını şekillendirmektedir. Bu şekillendirme antenin ana hüzmesinin istenilen açıya yönlendirilmesi şeklinde yapılmaktadır. Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de farklı açılarda anten ana hüzmesi yönlendirilmiş ve bunun sonucunda yatayda yönlendirildiği açıdaki (ϕ), düşey kesimde (θ açısı değişken) alanın 2GHz'te değişim benzetimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi hüzme şekillendirme işlemi sonucunda ana ışma hüzmesi büyük oranda istenilen yatay açıda, ışma özellikleri korunarak yönlendirilmiştir.



Şekil 6.10 : Farklı ϕ açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinde kazancın θ açısı üzerinden değişimi.

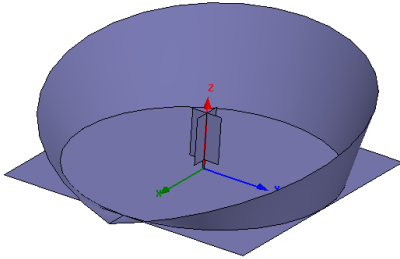
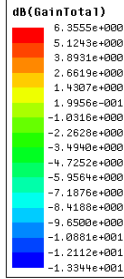
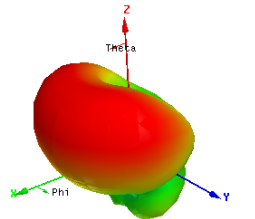
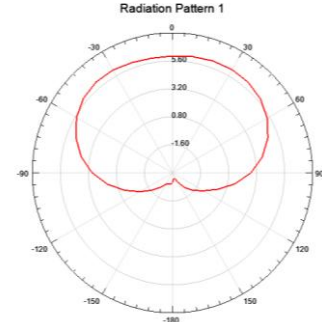
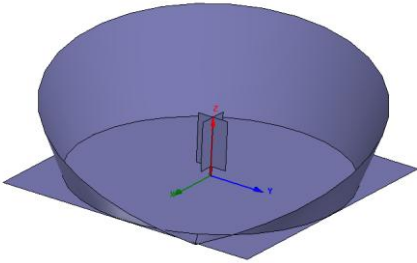
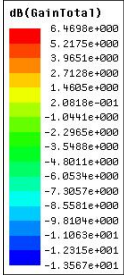
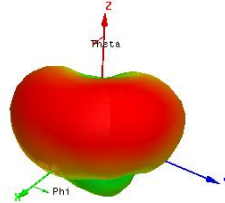
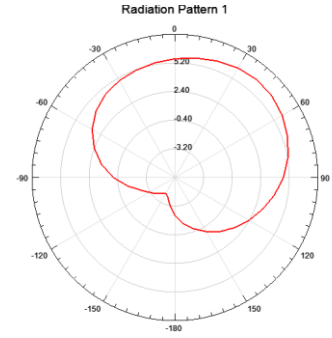


Şekil 6.11 : Farklı ϕ açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinde kazancın θ açısı üzerinden değişimi.

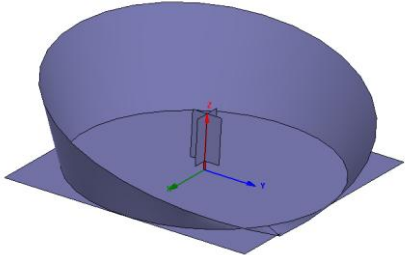
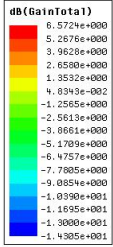
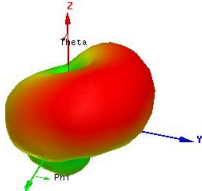
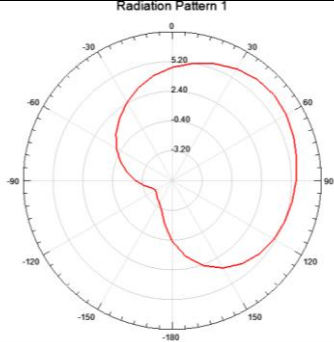
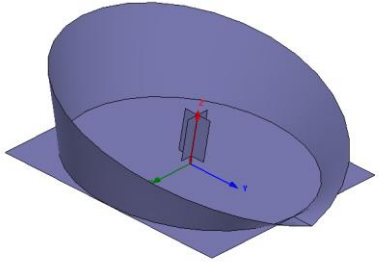
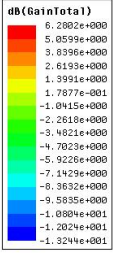
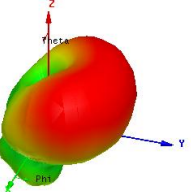
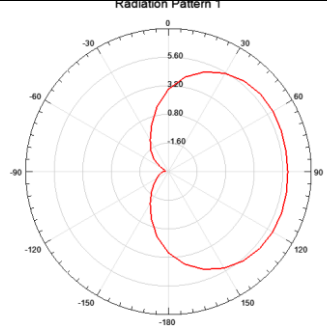
Faz dizi antenlerde yapılan hüzme kontrolünden farklı olarak bu anten bir hüzme şekillendirme devresine ihtiyaç duymaz. Böylece alınana gücü azaltan ve gürültüyü artıran bir alt sisteme göre bu anten avantaj sağlar. Parabolik toprak plakasının tasarımında Ansoft HFSS programı kullanılmıştır. Programda istenilen açıda parabolik toprak parçasının açısı sıfırlanarak, bazı açı değerleri için ışıma örüntüsünün 2GHz'teki üç boyutlu hali ve $\theta = 40$ açısındaki yatay kesimde (ϕ açısı

değişken) alanın değişimi Şekil 6.12’de gösterilmiştir. $\theta = 40$ açısının seçilmesindeki amaç ise; kazancın yatay eksen boyunca maksimum olduğu ve ışımanın yönündeki değişimin kolayca görülebildiği bir açı olmasında kaynaklanmaktadır. Antenin ışıma örüntüsü benzetim ve ölçüm sonuçlarından (Şekil 6.7, Şekil 6.8) görüldüğü gibi yatay eksene göre belli bir eğimle olmaktadır. Farklı açılarında yönlendirilme işlemi sonucunda, antenin kazancı büyük bir değişim göstermeyip 6.25dB-6.5dB arasında değerler almaktadır.

Antenin tabanındaki birinci toprak plakasının köşegen alınması ile hüzmelerin istenilen açıda yönelimliliğinin daha iyileştiği görülmüştür. Bu iyileşmeden kasıt yönlendirilmek istenilen doğrultuda arkaya olan ışımanın minimize edilmesi şeklinde yorumlanmıştır. Parabolik plakanın yatayla yaptığı açının artırılmasıyla hüzmelerin kontrolün daha da iyileştiği görülmüştür [7]. Alan bileşenleri için daha dik bir yüzeyin olması hüzmelerin kontrolünü daha etkin bir hale getirmiştir.

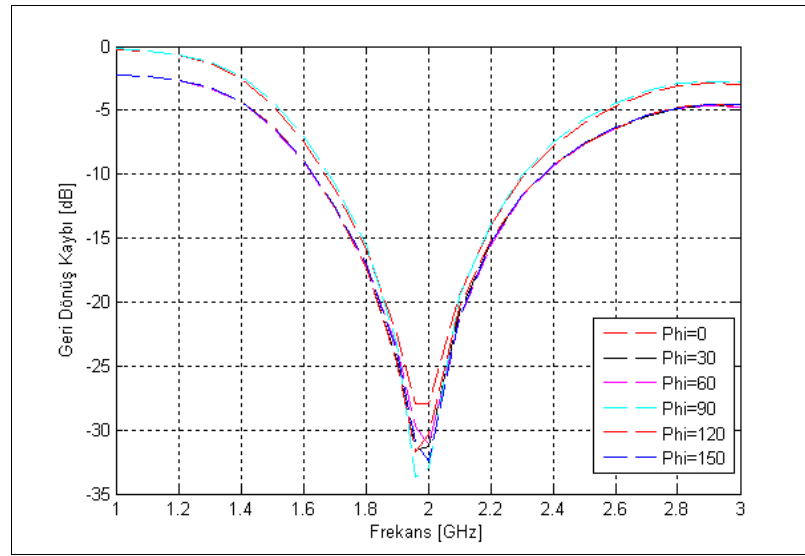
φ açısı	Tekrar konfigüre edilen anten	Üç boyutlu ışıma örüntüsü	$\theta = 40$ derecede yatayda ışıma örüntüsü
0		 	
30		 	

Şekil 6.12 : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.

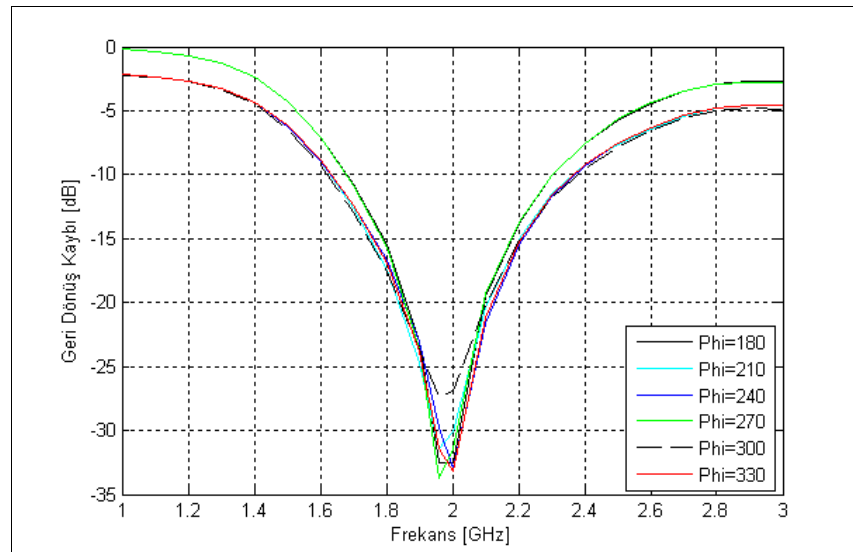
φ açısı	Tekrar konfigüre edilen anten	Üç boyutlu ışıma örüntüsü	$\theta = 40$ derecede yatayda ışıma örüntüsü
60		 	
90		 	

Şekil 6.12(devam) : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’de farklı “ ϕ ” açılarında yapılan hüzme yönlendirme işleminin antenin geri dönüş kaybı üzerine etkisinin benzetimi yapılmıştır. Görüldüğü gibi geri dönüş kaybı, kabu istenilen GSM 1800MHz ve UMTS 2000MHz bandında kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Geri dönüş kaybı farklı açılarda çok az değişim göstermektedir. Parabolik toprak plakasının çöken açısının değiştirilmesiyle elde edilen yeni anten yapılandırma antenin temel parametreleri olan geri dönüş kaybı, ışıma örüntüsü ve kazanç üzerine etkisi kabul edilebilir sınırlar içinde olmaktadır. Bu, geliştirilen antenin kullanım esnekliği açısından önemli bir sonuçtur.



Şekil 6.13 : Farklı ϕ (Phi) açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinin geri dönüş kaybına etkisi.

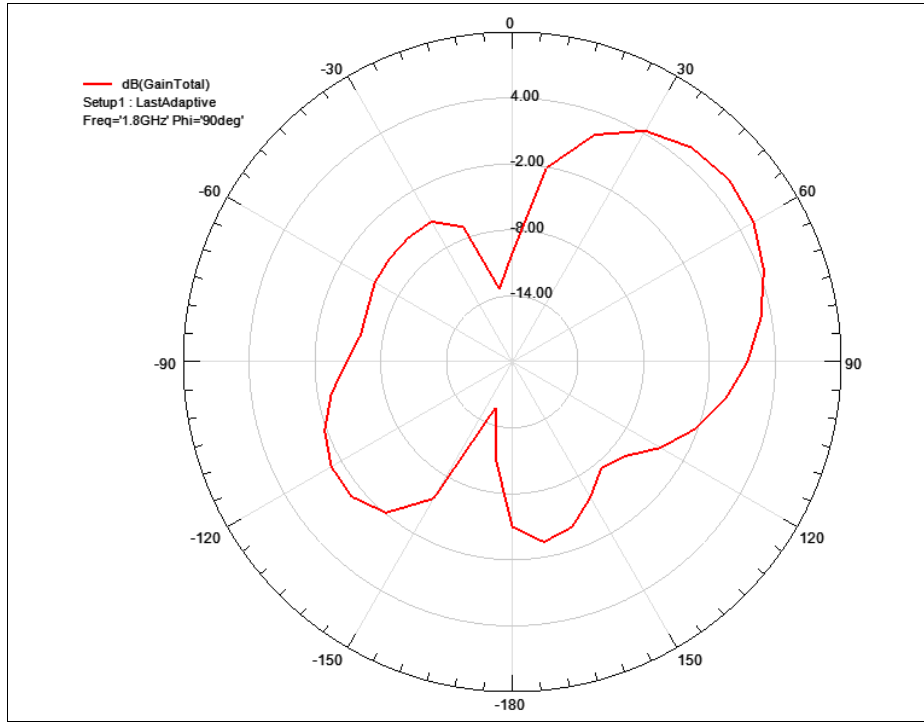


Şekil 6.14 : Farklı ϕ (Phi) açılarında yapılan hüzme yönlendirmelerinin geri dönüş kaybına etkisi.

6.8 İki Boyutlu Uzak Alan Örüntüleri

Üç boyutlu ışıma örüntüleri elektromanyetik alanın antenden tüm yönlere yayılımını göstermektedir. Antenin ışımasını karakterize eden diğer bir parametre, iki boyutlu ışıma örüntüleridir. Bunlar, uzak alanda, elektromanyetik dalganın genliğinin değişimini yatay ve düşey ekseninde göstermek için kullanılırlar. Tasarlanan anten için elde edilen iki boyutlu ışıma örüntülerinin benzetim sonuçları aşağıda verildiği gibidir.

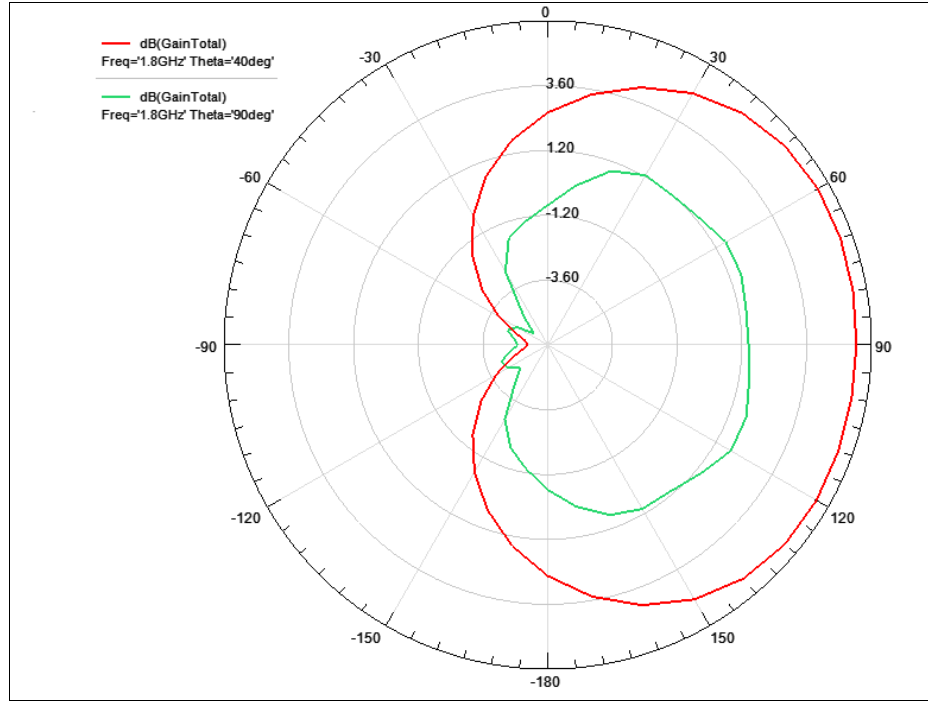
6.8.1 GSM 1800MHz



Şekil 6.15 : 1.8GHz’te düşey düzlemde ışıma örüntüsü.

Şekil 6.15’de görüldüğü gibi, düşey düzlemde üst yarı düzlemde 0 dereceden -90 dereceye kadar olan kısımda kazanç -5dB ile -13dB arasında değişirken 0 dereceden 90 dereceye kadar olan kısımda, alan bileşeninin daha baskın olduğu ve kazancın -8dB ile 6dB arasında değiştiği görülmektedir. Görüldüğü gibi, düşeyde 0-90 derecelik dilimde ışıma daha baskındır ve düşeyde yarı güç bant genişliği 55 derece olduğu ve ışımanın 30 derece ile 60 derece arasında daha da yoğunlaştığı görülmektedir. Burdan anlaşılacağı gibi istenilen hüzmeye yönlendirme işlemi sonucu

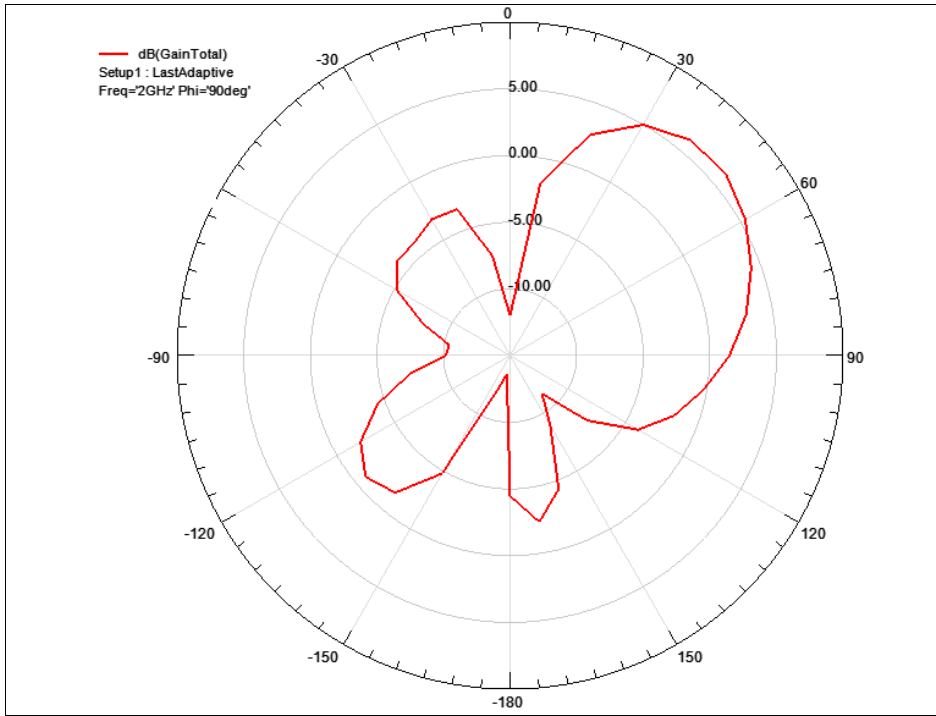
antenin düşey düzlemde θ açısının 0 ile -90 derecede ki bileşeni bastırılmış ve “ ϕ ” 90 derecede ışıma örüntüsü istenilene uygun elde edilmiştir



Şekil 6.16 : 1.8GHz’te $\theta = 0$ ve $\theta = 40$ derece açılardaki yatay düzlemdeki ışıma örüntüsü.

Şekil 6.16’da görüldüğü gibi, yatay düzlemde, yapılan hüzme yönlendirme işlemi daha rahat görülmektedir. Işımanın “ ϕ ” 90 dereceye doğru yönlendiği görülmektedir. İki farklı θ açısında, yataydaki değişimle kazancın değişimi verilmiştir.

6.8.2 UMTS 2000MHz



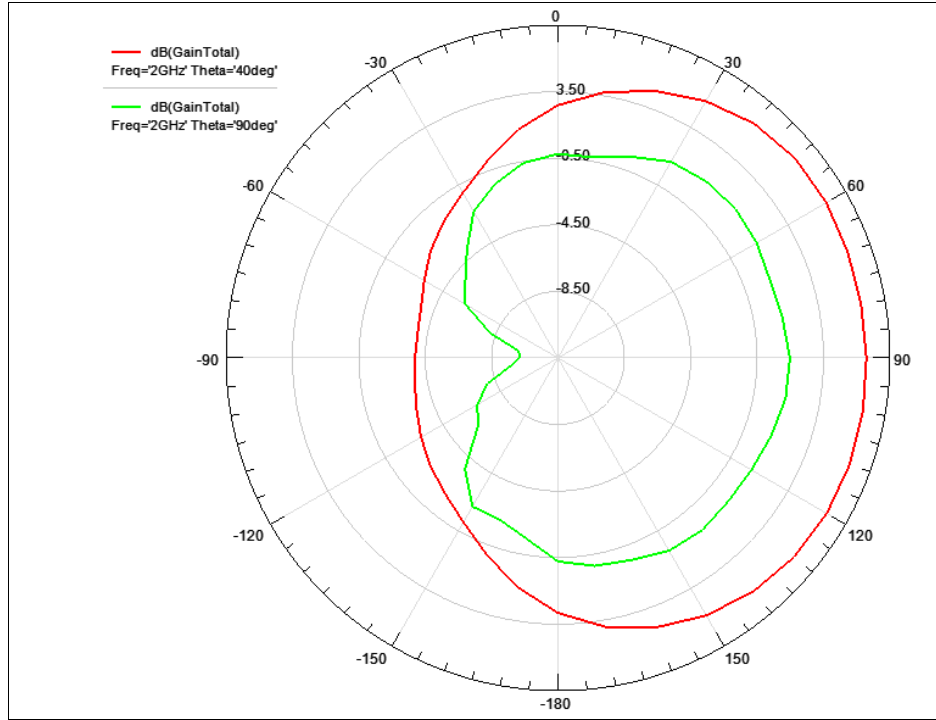
Şekil 6.17 : 2GHz’te düşey düzlemde ışıma örüntüsü.

Şekil 6.17’de görüldüğü gibi, düşeyde üst yarı düzlemde 0-(-90) derecelik dilimde, kazanç -4dB ile -12dB arasında değişirken 0 dereceden 90 dereceye kadar olan kısımda, alan bileşeninin daha baskın olduğu ve kazancın -10 dB ile 6.4dB arasında değiştiği görülmektedir. Görüldüğü gibi, düşeyde 0-90 derecelik dilimde ışıma daha baskındır ve düşeyde yarı güç bant genişliği 50 derece olduğu ve ışımanın 30 derece ile 60 derece arasında daha da yoğunlaştığı (yönlendiği) görülmektedir. Burdan anlaşılabileceği gibi istenilen hüzme yönlendirme işlemi sonucu antenin düşey düzlemde θ açısının 0 ile -90 derecede ki bileşeni bastırılmış ve “ ϕ ” 90 derecede ışıma örüntüsü istenilene uygun elde edilmiştir.

Şekil 6.18’de görüldüğü gibi, yatay düzlemde, ışımanın “ ϕ ” 90 dereceye doğru yönlendiği görülmektedir. İki farklı θ açısında, yataydaki değişimle kazancın değişimi verilmiştir. Yatayda 0 ile -180 dereceye denk gelen doğrultuda ışımanın baskın olduğu görülmektedir. Düşeyde ise 0 derece ile 90 derece arasında ışımanın baskın olduğu görülmektedir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi antenin ışıma örüntüsü, bir monopoli antenden beklendiği gibi üst yarı düzlemde baskındır. Parabolik toprak düzlemin çökertilen

kısmı “ φ ” 90 açısı olduğu için beklendiği şekilde elektromanyetik alan düşeyde üst sağ çeyrek düzlemde baskın ve yatayda ışıma sağ 0-180 derece arasında baskındır.



Şekil 6.18 : 2GHz’te $\theta = 0$ ve $\theta = 40$ derece açılardaki yatay düzlemdeki ışıma örüntüsü.

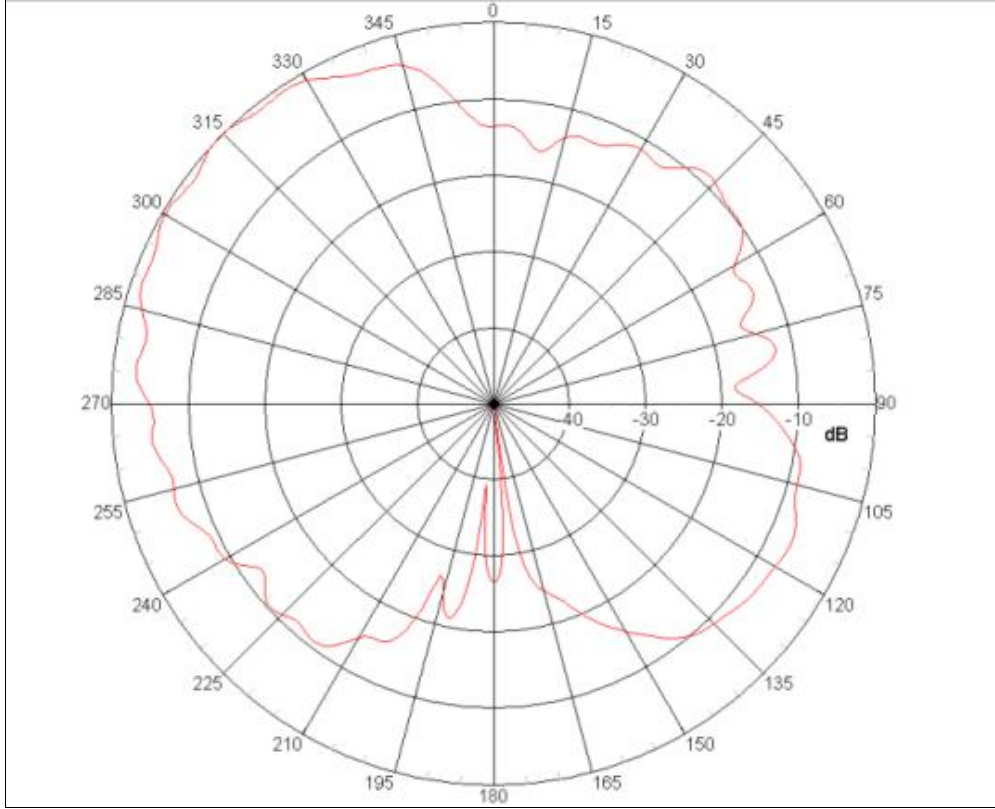
6.9 Ölçüm Sonuçları

Antenin TÜBİTAK-UEKAE anten laboratuvarında ölçülen iki boyutlu ışıma örüntüleri Şekil 6.19, Şekil 6.20, Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Benzetim sonuçlarında ışımanın yatayda 0-90 arasında yönlendiği görülmüştü, ölçüm esnasında anteni farklı konumlandırılması neticesinde bu yönlendirme olgusu ölçüm sonuçlarında çıkan ışıma örüntülerinde 0-270 derece arası veya sol üst düzlem olarak görülmektedir. Temelde ölçüm sonuçları ile elde edilmek istenene ulaşılmıştır. Ölçüm sonuçları maksimum genlik değerine göre normalize olarak verilmiştir. Bu sebeple kazanç değerleri farklı gözükabilir. Fakat ölçüm sonucu elde edilen veri tabosundan gerçek kazanç değerleri gözükmemektedir. Bu değerler Çizelge 6.1’de zaten verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi ışımanın yatayda 0-270 derece (saat yönü tersinden)

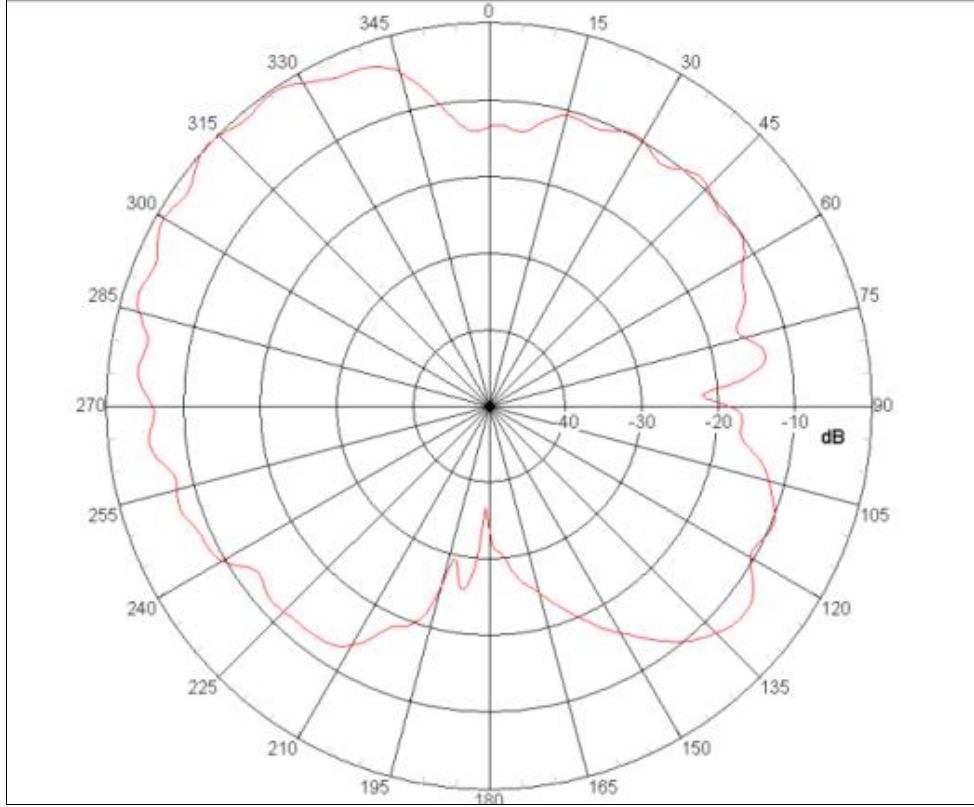
arasında yatayda 0-270 derece (saat yönü tersinden) arasında (-10dB) - 0dB arasında değişirken yine yatayda 0-180 derece arasında (-20dB) - (-10dB) arasında değiştiği

görülmektedir. Daha öncede bahsedildiği gibi kazancın maksimum olduğu nokta yatayla yaklaşık 40 derece açı yapmaktadır.

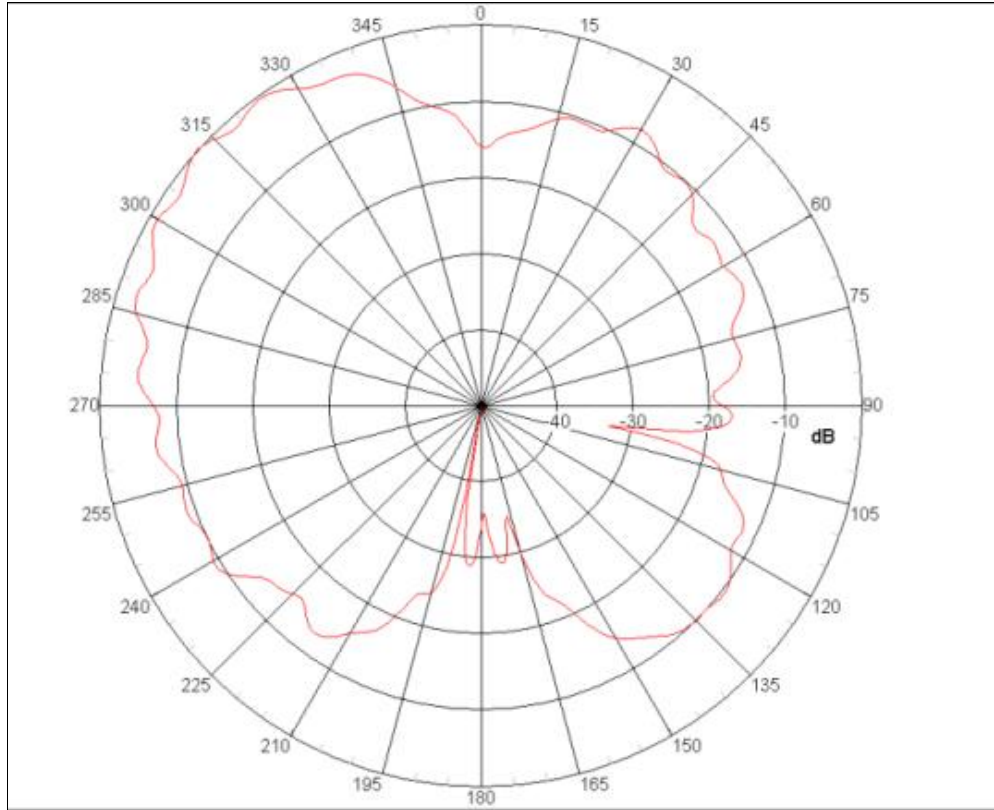
Bu ölçüm sonuçlarında da aynı şekilde görülmektedir. Antenin -3dB yarı güç bant genişliği frekansa göre, 33 ile 52 derece arasında değişmektedir. Buda ışımanın ne kadar yönlendirildiğinin bir ölçütüdür.



Şekil 6.19 : 1.8GHz’de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde).

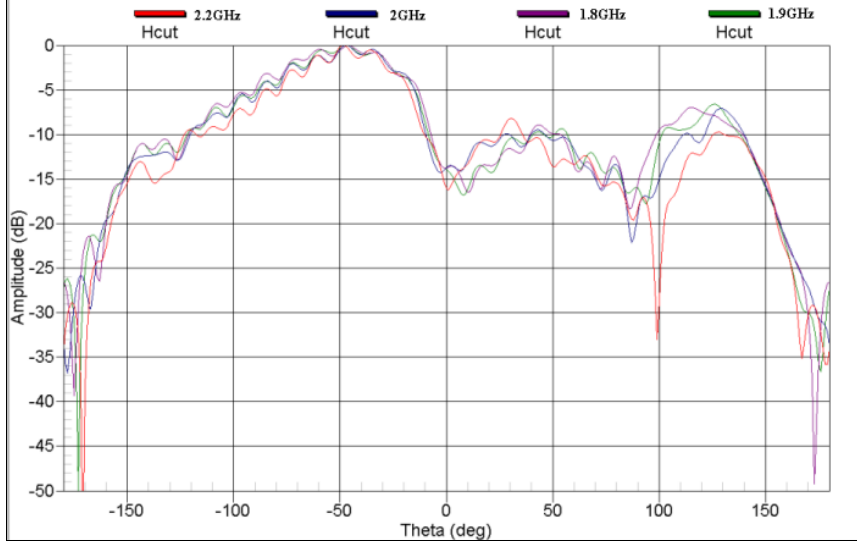


Şekil 6.20 : 2GHz’de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde).



Şekil 6.21 : 2.2GHz’de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde).

Antenin farklı frekanslardaki ışımasının yatayda değişimi kartezyen kordinatlarda aşağıda Şekil 6.22’de görüldüğü gibidir. Bu değişim daha önce Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilen yatayda farklı açılarda düşeydeki alan değişimini gösteren benzetim sonucuyla büyük oranda uyuşmaktadır.



Şekil 6.22 : Antenin 1.8-2.2GHz’de ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntülerinin kartezyen koordinatlarda gösterimi.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tezde düzlemsel monopol bir antenin tasarım parametreleri değiştirilerek antenin ana hüzme yayılım yönünü değiştirilmeye çalışılmıştır. Antene yeniden yapılandırılabilen anten özelliği kazandırılarak, antenin yatay düzlemde ışıma örüntüsü yeniden yapılandırılırken, düşey düzlemde ışıma örüntüsü, geri dönüş kaybı, ve kazancı büyük oranda sabit kalacak şekilde bu yapılmıştır.

Antenin ilk olarak HFSS benzetim programında matematik-grafik modeli oluşturulmuş daha sonra bu model üzerinden benzetim olarak hüzme kontrolünün sağlandığı gösterilmiştir. Antenin yeniden yapılandırıldıktan sonraki frekans, ışıma örüntüsü cevapları çizilmiştir. Benzetim sonuçları antenin istenilene uygun olarak, hüzmesinin istenilen yöne yönelirken, diğer çıktıların hemen hemen sabit kaldığını göstermiştir.

Daha sonra, antenin matematik modeline büyük ölçüde uygun bir model, laboratuvarıda üretilmiş ve sadece tek bir yapılandırma için antenin ışıma örüntüsü, geri dönüş kaybı ve gücü ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları antenin tek bir yapılandırma için alınmış ve bu yapılandırmadaki bilgisayar modelinin benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılmış. Anten sabit bir yapılandırma için gösterdiği performans benzetim sonuçlarını büyük ölçüde yakalamıştır. Antenin ana hüzmesi yönlendirilmiştir. Bu beklenen sonuç, antenin farklı yapılandırmalar için de benzetimlere uygun sonuçlar vereceğini göstermektedir. Eğer, antenin çevresini saran ve toprak plakasına kısa devre olan parabolik ikincil toprak plakasına, ek bir mekanizma ile hareket yeteneği kazandırılırsa, antenin ana hüzmesi istenilen yöne yönelmiş olur.

Monopol bir antenin toprak düzleminin antenin çalışması üzerine etkisi teorik olarak incelenmiş ve bununla toprak plakası değişken bir monopol antenin ışıma özelliklerinin değişeceği temellendirilmiştir. Boyu bir dalga boyundan küçük bir toprak plakası üzerindeki monopol antenin ışıma örüntüsü toprak plakası büyüdükçe ışıma maksimumunun yatayla olan açısı düşer ve eğer küçülürse bu açı büyür.

Antenin çevresini saran uygun ölçülerdeki bir iletken yüzey antenin ışımasındaki maksimum noktayı ve sıfır noktalarına doğrudan etkir. Burdan hareketle monopol düzlemsel bir antenin ışımasının yakın alandaki bir iletken yüzeyle değişimi araştırılmıştır.

Tezde yapılmak istenen, ışıması üst yarı düzlemde yönsüz olan bir antenin hüzmelerinin genişliğini belli bir açısız ölçüde kısararak bu kısılmış hüzmeyi 360 derece dönderebilmektir. Monopol antenlerle çalışılmak istendiğinden, uygun ışıma karakteristiğini verecek monopol anten tasarımına çalışılmıştır. Tasarım kriterlerimizde ilk olarak istenilen frekans cevabını vermesi ve ışıma örüntüsünün yatayda, bu frekans bandında yönsüz olması idi. Fakat literatürdeki birçok düzlemsel monopol antenin yatay düzlemde yönsüz bir ışıma örüntüsü yoktur. Yatay düzleminde yönsüz ışıma örüntüsü olan bir monopol anten tasarımı için gereken ışıma plakasına ortogonal ek plaka veya plakaların yerleştirilmesi olduğu görülmüştür. Burdan hareketle iki ışıma plakası birbirine ortogonal olacak şekilde konumlandırılmış ve uygun ölçülerde yapılarak üst yarı düzlemde yatayda yönsüze yakın bir ışıma örüntüsü elde edilmiştir. Daha sonra tekrar konfigüre edilebilir toprak plakası eklenip bu antenin ışıma örüntüsü ve frekans karakteristiği optimize edilmiştir. Ardından hüzmeler kontrolü işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak yatay ve düşey ekseninde belli bir genişliği olan anten ana hüzmeleri bu genişlik korunarak istenilen yönde çevrilebilmiştir. Bunun benzetim sonuçları elde edilmiş ve tek bir yapılandırma için antenin öngörüleni desteklediği gösterilmiştir

Antenin yeniden yapılandırılabilen toprak parçasının yapımı için SMA (Shape Memory Alloy) eyleyicilerinin (actuators) kullanabilirliği düşünülmüştür. SMA malzemesi karakteristik olarak sıcaklıkla kısalıp uzama yetisinde olan bir malzemedir. Bu malzeme uygun bir tasarımla değişken toprak plakasının yüksekliğini artırıp azaltmada kullanılabilir. Bu öngöründen hareketle AVEA İLETİŞİM HİZ. A.Ş.'ye bu fikir sunulmuş ve destek sağlanarak hareketli toprak plakasının yapımına ilişkin proje başlatılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bernhard, J. T.** 2007. Reconfigurable Antennas. Synthesis Lectures on Antennas, Vol. 2, No. 1, pp. 1-66.
- [2] **Lai, M.-I., Jeng, S.-K.** 2008. Compact pattern reconfigurable antenna array based on L-Shaped Slots and PIN diodes for adaptive MIMO systems. *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2008. AP-S 2008. IEEE pp. 1 – 4.
- [3] **Godara, L.C.** 2002. *Handbook of Antennas In Wireless Communications.*, CRC Press, New York.
- [4] **Daviu E. A.** 2008. *Analysis and Design of Antennas for Wireless Communications Using Modal Methods*. PhD Dissertation. Valencia, February Universidad Polit cnica de Valencia Departamento de Comunicaciones pp. 1-6.
- [5] **3G Americas' Board of Governor Members**, 2010. MIMO and Smart Antennas for 3G and 4G Wireless Systems. 3G Americas, pp. 44-46. May.
- [6] **Huang, Y., Boyle, K.,** 2008. *Antennas: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons, New York.
- [7] ** zsoy, K. ve Tekin,  .** 2009 Directional GPS antenna for indoor positioning applications. *Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2009 Moscow)*, Moscow, Russia
- [8] **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, 1983. *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas*. November.
- [9] **Balanis, C.A.** 1997. *Antenna Theory and Analysis*, 2nd ed., Wiley, New York.
- [10] **Stutzman**, 1998. *Antenna Theory and Design*, 2nded., Wiley, New York.
- [11] **Pozar, D. M.** 2001. *Microwave and RF Design of Wireless System*, Wiley, New York.
- [12] **Powell, J.** 2004. *Antenna Design for Ultra Wideband Radio*. Master of Science Thesis in Electrical Engineering. 7 May. Massachusetts Institute Of Technology.
- [13] **Weiner, M., M.,** 2003. *Monopole Antennas*. The MITRE Corporation Bedford, Massachusetts, U.S.A., Marcel Dekker, Inc., New York.
- [14] **Url-1** <<http://www.antenna-theory.com/antennas/monopole.php>>, alındı ı tarih 29.03.2011.
- [15] **G. L. Matthaei, L. Young, ve E.M.T. Jones**, 1964. *Microwave Filters, Impedance Matching Networks and Coupling Structures*, McGraw-Hill., New York.

- [16] **S. M. Mazinani ve H. R. Hassani**, 2009. A Novel Omnidirectional Broadband Planar Monopole Antenna With Various Loading Plate Shapes. *Progress In Electromagnetics Research, PIERS 97*, 241-257.
- [17] **Agrawall, N. P., G. Kumar, ve K. P. Ray**, 1998. Wide-band planar monopole antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. **46**, No. 2, 294-295, Feb.
- [18] **Johnson, R. C. ve H. Jasik**, 1984. *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New Yourk.
- [19] **Kumar, G. ve K. P. Ray**, 2003. *Broadband Microstrip Antenna*, Artech House, Boston.
- [20] **Singh, R., Kumar, G.** 2003. *M.Tech credit seminar report*, Electronic Systems group, EE Dept, Indian Institute of Technology, Nov., Bombay.
- [21] **Cabedo-Fabrés, M., Ferrando-Bataller, M., Valero-Nogueira, A.**, 2002. Innovative wide-band planar monopole antenna for multi-service mobile systems. *COST (European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research)*, Nice, France, 11th November.
- [22] **Chen, Z.N.** 2000. Broadband planar monopole antenna. *IEE Proc.Microw. Antennas Propag.*, 147, (6), pp. 526–528.
- [23] **Chen, Z.N., ve Chia, M.Y.W.** 2001. Impedance characteristics of EMC triangular planar monopoles', *Electron. Lett.*, 37, (21), pp. 1271–1272.
- [24] **Lau, K. L. ve K. M. Luk**, 2005. A wide-band monopolar wire-patch antenna for indoor base station applications. *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, Vol. **4**, 155-157.
- [25] **Hammoud, Poey P., ve Colomel F.** 1993. Matching the Input Impedance of a Broadband Disc Monopole. *Electronics Letters*, Vol. **29**, Feb. pp. 406-407.
- [26] **Ammann, M. J. ve Chen, Z. N.** 2003. A Wide-Band Shorted Planar Monopole with Bevel. *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*. Vol. **51**, No. 4, April.
- [27] **Herscovici, N. ve Christodoulouc C.** 2003. Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* , Vol. **45**, No.2, April.
- [28] **Lin, S.-Y.** 2003. Multi-band Planar Monopole Antenna for Handset. *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE.*, pp. 56 – 59, Vol.3, 22-27 June.
- [29] **Kerkhoff, A. ve Ling, H.** 2003. Design of a Planar Monopole Antenna for use with Ultra Wide Band having Band Notched Characteristics. *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE.*, pp. 830 – 833, Vol. **1**, 22-27 June.
- [30] **Jan, J.-Y. ve Tseng, L.-C.** 2003. Planar Monopole Antennas for 2.45/5.2 GHz Dual Band Application. *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE.*, pp. 158 – 161, Vol. **4**, 22-27 June.

- [31] Anob, P.V., Ray, K.P., Kumar, G. 2001. Wideband orthogonal square monopole antennas with semi-circular base. *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*, pp. 294 - 297 Vol. 3, 08 – 13 July.
- [32] Wong, K.-L., Wu, C.-H. ve Chang F.-S. 2005. A Compact Wideband Omnidirectional Cross-Plate Monopole Antenna. *Microwave And Optical Technology Letters*, Vol. 44, No. 6, March 20.
- [33] Valderas, D., de No, J., Melendez, J. ve Sancho, I. 2007. Design Of Omnidirectional Broadband Metal-Plate Monopole Antennas. *Microwave And Optical Technology Letters*, Vol. 49, No. 2, February.
- [34] Brown, E. R. 1998. RF-MEMS Switches For Reconfigurable Integrated Circuits. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 46, No.11 Part 2, pp. 1868-1880.
- [35] Balanis, C. A. 2008. *Modern Antenna Handbook*. John Wiley and Sons, New York.
- [36] Langer, J. C., Zou, J., Liu, C., ve Bernhard, J. T., 2003. Micromachined Reconfigurable Out Of Plane Microstrip Patch Antenna Using Plastic Deformation Magnetic Actuation. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 13 No 3, pp. 120-122, March.
- [37] Fathy, A. E., Rosen, A., Owen, H. S., McGuinty, F., Mcgee, D. J., Taylor, G.C., Amantea , R., Swain, P.K., Perlow, S. M., and Elsharbiny, M. 2003. Silicon-based reconfigurable antennas-concepts, analysis, implementation and feasibility. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* , Vol. 51, Issue 6, pp. 1650-1661, June.
- [38] Feldner, L. M., Nordquist , C. D. and Christodoulou, C. G. 2005. RF MEMS Reconfigurable Triangular Patch Antenna. *IEEE AP/URSI International Symposium*, Washington DC, USA, Vol. 2A, pp. 388-391, 3-8 July.
- [39] Behdad N. ve Sarabandi, K. 2006. Dual-Band reconfigurable antenna with a very wide tunability range. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 54, No. 2, Part 1, pp. 409-416, Feb.
- [40] Costantine J., 2009. *Design, Optimization And Analysis Of Reconfigurable Antennas*. PhD Thesis. The University of New Mexico, December.
- [41] Anagnostou, D. E., Guizhen, Z., Chrysomallis, M. T., Lyke, J. C., Ponchak, G. E., Papapolymerou, J., and Christodoulou, C. G., 2006. Design, fabrication and measurement of an RF-MEMS-based self –similar reconfigurable antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 54, No. 2,Part 1, pp. 422-432, Feb.
- [42] Patnaik, A., Anagnostou, D. E., Christodoulou C. G., and Lyke, J. C. 2005. A frequency reconfigurable antenna design using neural networks. *IEEE Antennas and Propagation society international symposium*, Piscataway, NJ, USA, Vol. 2A, pp.409-412, July.

- [43] Mak, A. C. K., Rowell, C. R., Murch R. D., and Mak, C. L. 2007. Reconfigurable multiband antenna designs for wireless communication devices. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 55, No. 7, pp. 1919-1928, July.
- [44] Poussot, B., Laheurte, J. M., Cirio, L., Picon, O., Delcroix D., and Dussopt, L. 2008. Diversity measurements of a reconfigurable antenna with switched polarizations and patterns. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 56, No. 1, pp. 31-38, Jan.
- [45] Roach, T. L., Huff, G. H. ve Bernhard, J. T. 2006. Enabling high performance wireless communication systems using reconfigurable antennas. *Military Communications Conference*, Washington, DC, USA, pp. 1-6, Oct.
- [46] Aissat, H., Cirio, L., Grzeskwiak, M., Laheurte, J.M. ve Picon, O. 2006. Reconfigurable circularly polarized antenna for short-range communication systems. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* , Vol. 54, No. 6, Part 2, pp. 2856-2863, June.
- [47] Jung, C. W., Lee M. C., Li G.P. and De Flaviis, F., 2006. Reconfigurable scan beam single arm spiral antenna integrated with RF MEMS switches. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 54, Issue 2, Part 1, pp. 455-463, Feb.
- [48] Nikolaou, S., Bairavasubramanian, R., Lugo, Jr., C., Carrasquillo, I., Thompson, D.C., Ponchak, G.E., Papapolymerou, J., ve Tentzeris, M.M., 2006. Pattern and frequency reconfigurable annular slot antenna using PIN diodes. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 54, pp. 439–448, Feb.
- [49] Topalli, K., Erdil, E., Aydin Civi, O. 2005. Reconfigurable Antenna Structures using MEMS technology. *General Assembly for the International Radio Science Union (URSI)*, New Delhi, India, 23-29 October.
- [50] Christodoulou, C., Anagnostou, D. ve Zachou, V. 2006. Reconfigurable Multifunctional Antennas. *IEEE IWAT 2006 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Metamaterials*, NY, March 6-8, pp. 176 – 179.
- [51] Oswald, M. T. Hagnes, S. C., Van Veen B. D. and Popovic, Z. 2002. Reconfigurable single-feed antennas for diversity communications. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Texas, USA, Vol. 1, pp. 469-472, 16-21 June.
- [52] Hoerner, S. ve Wong, W. Y., 1979. Improved Efficiency With a Mechanically Deformable Subreflector. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 27(5), pp. 720-723.
- [53] Legg, T. L., 1986. Some Suggestions For a Deformable Subreflector. *Memo to Algonquin Radio Observatory (ARO) Facility, Tech. Advisory Comm., Nat. Res. Council*, Ottawa, Canada.
- [54] Lawson, P.R. ve Yen, J. L., 1988. A Piecewise Deformable Subreflector for Compensation of Cassegrain Main Reflector Errors. *IEEE Trans. Antennas Propagat.* 36(10), pp. 1343-1350.

- [55] **Clarricoats, P. J. B. ve Zhou, H.**, 1991. Design and Performance of a Reconfigurable Mesh Reflector Antenna. *IEE Proc. H.*, 138(6), pp. 485-496.
- [56] **Clarricoats, P. J. B., Monk, A. D. ve Zhou, H.**, 1994. Array-fed Reconfigurable Reflector for Spacecraft Systems. *Electronics Letters*, 30(8), pp. 613-614.
- [57] **Washington, G.**, 1996. Modeling and Design of an Active Polyvinylidene Fluoride Aperture Antenna. NATO Workshop on Smart EM Antenna Structures, Brussels/Belgium, pp. 17.1-17.8.
- [58] **Washington, G.**, 1996. Smart Aperture Antennas. *Smart Mater. Struct.* No. 5, pp. 801-805.
- [59] **Washington, G.**, 1997. Aperture Antenna Shape Prediction by Feedforward Neural Networks. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 45(4), pp. 683-688.
- [60] **Yoon, H.-S., Washington, G. N., ve Theunissen, W. H.**, 2000. Analysis and Design of Doubly Curved Piezoelectric Strip-Actuated Aperture Antennas. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 48(5), pp. 755-763.
- [61] **Theunissen, W. H., Yoon, H.-S., Washington, G. N. ve Burnside, W. D.**, 1999. Reconfigurable Contour Beam Reflector Antennas Using Adjustable Subreflector and Adjustable Single Feed. *Microwave and Optical Technology Letters*, 32(6), pp. 436-446.
- [62] **Theunissen, W. H., Yoon, H.-S., Burnside, W. D., ve Washington, G. N.**, 2001. Reconfigurable Contour Beam-Reflector Antenna Synthesis Using a Mechanical Finite-Element Description of the Adjustable Surface. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 49(2), pp. 272-279.
- [63] **Cetiner, B. A., Sengul, E., Akay, E., Ayanoglu, E.** 2006. A MIMO system with multifunctional reconfigurable antennas. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 5, pp. 463-466, December.
- [64] **Louis J., Meyer, P. E.**, 2010. Electrical and Mechanical Downtilt and their Effects on Horizontal Pattern Performance. *BSA Technical Information White Paper*, CommScope, Inc.
- [65] **Zachou, V., Christodoulou, C. G., Chrisomallis, M. T., Anagnostou, D. And Barbin, S.E.** 2006. Planar Monopole Antenna with Attached Sleeves. *Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 5 No 1, pp. 286-289, Dec.
- [66] **Sadiku M., N., O.** 1989. A Simple Introduction to Finite Element Electromagnetic Problems. *IEEE Transactions On Education*, Vol. 32, No. 2, pp. 85-93, May.
- [67] **Url-2** <<http://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/casestudies/GSM-FINAL.doc>>, alındığı tarih 27.04.2011.

EKLER

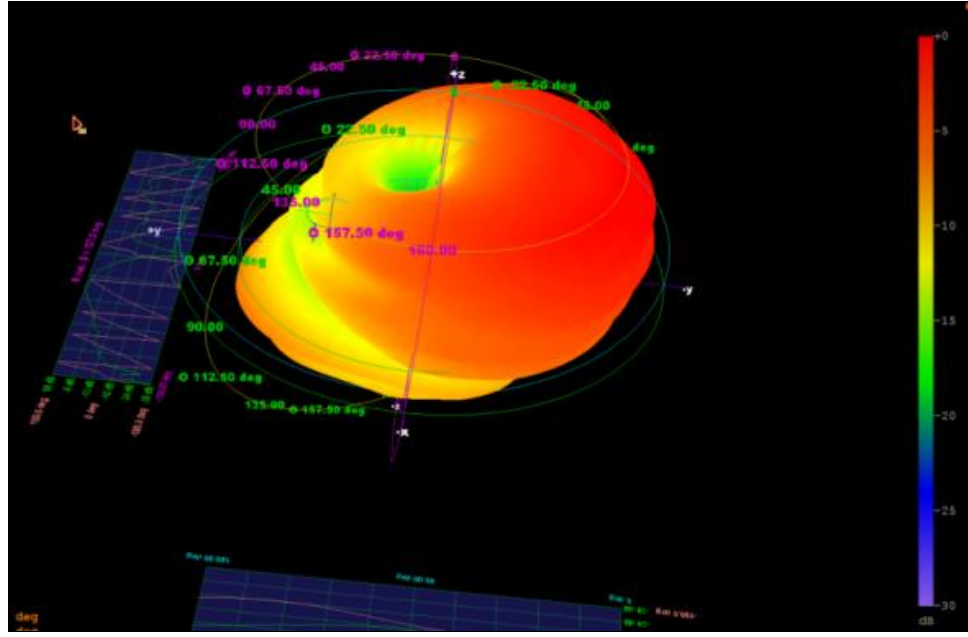
EK A.1 : Antenin üç boyutlu ışıma örüntüleri.

EK A.2 : Antenin iki boyutlu ışıma örüntüleri.

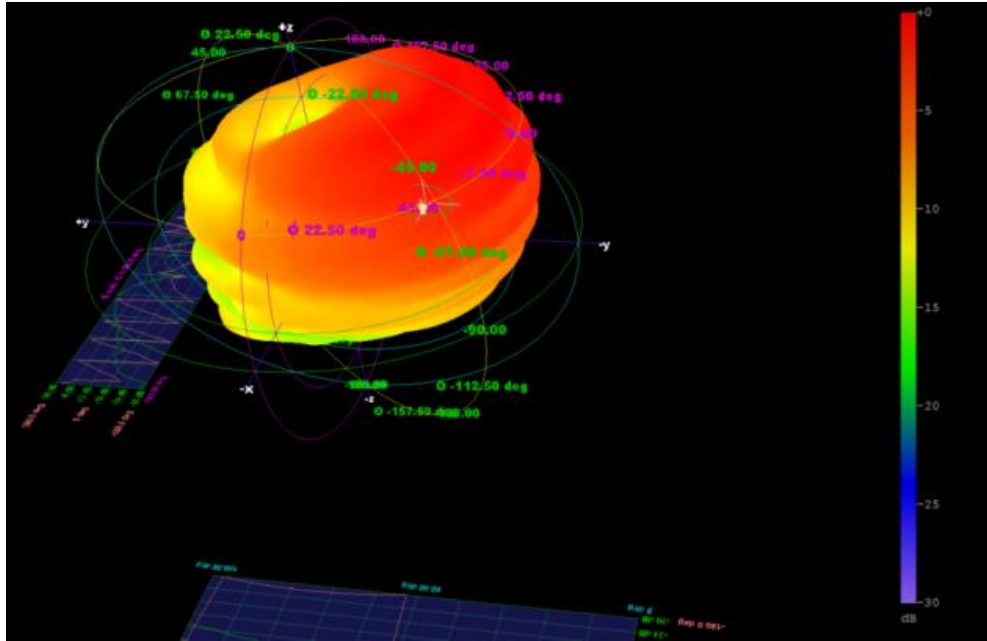
EK A.3 : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.

EK A.4 : Parabolik toprak plakasının oluşturmak için kullanılan kond.

EK A.1



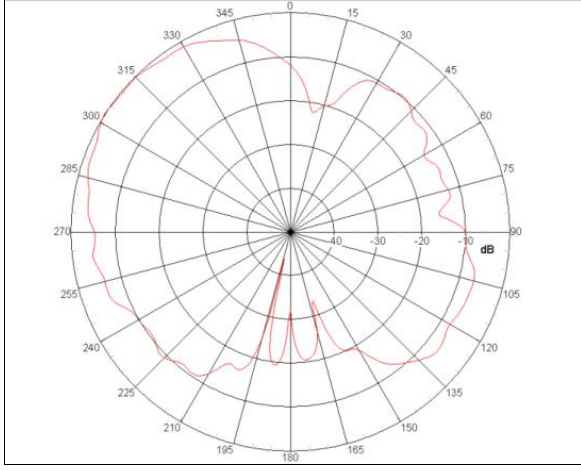
(a)



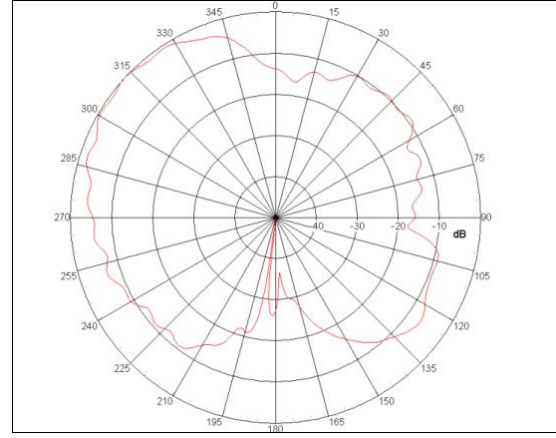
(b)

Şekil A.1 : Antenin ölçülen 3 boyutlu ışıma örüntüleri: a) 1.7GHz, b) 2.1GHz.

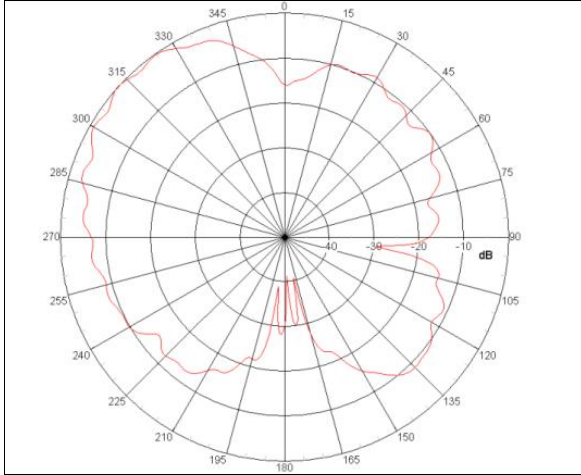
EK A.2



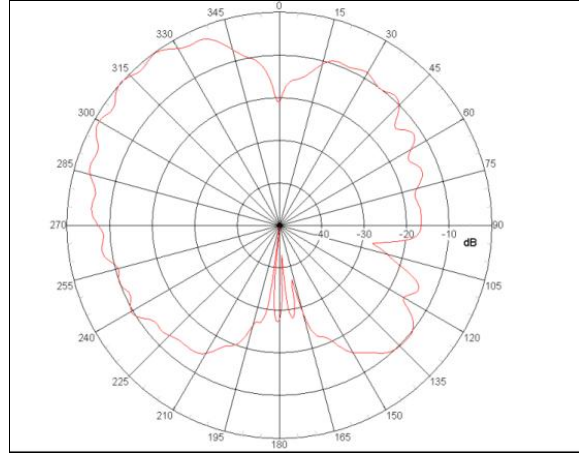
(a)



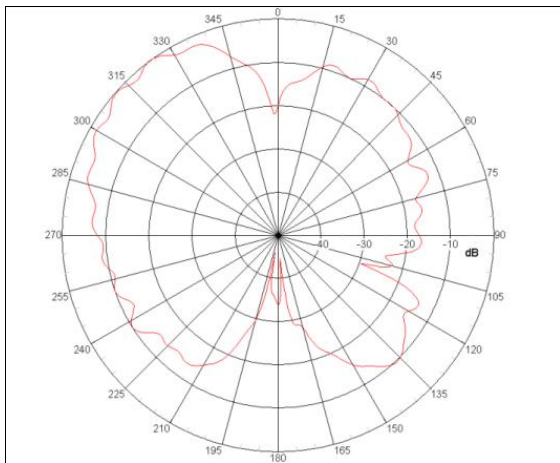
(b)



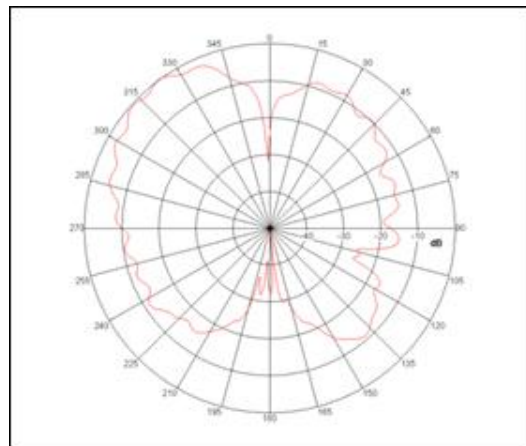
(c)



(d)



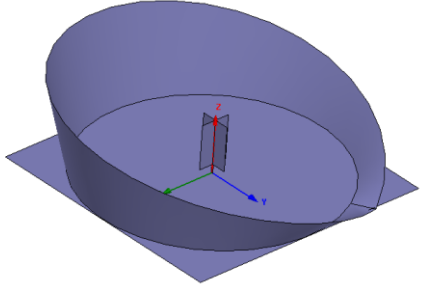
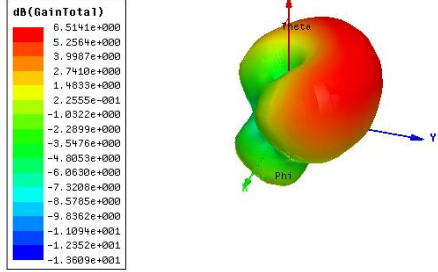
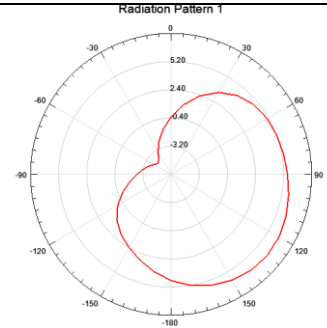
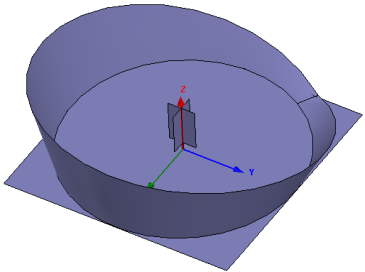
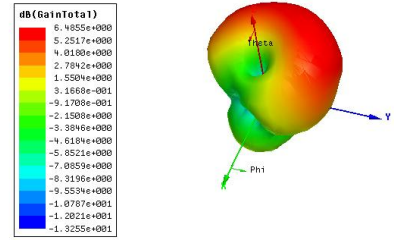
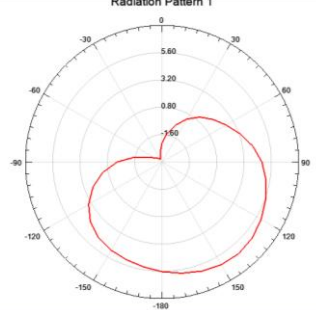
(e)



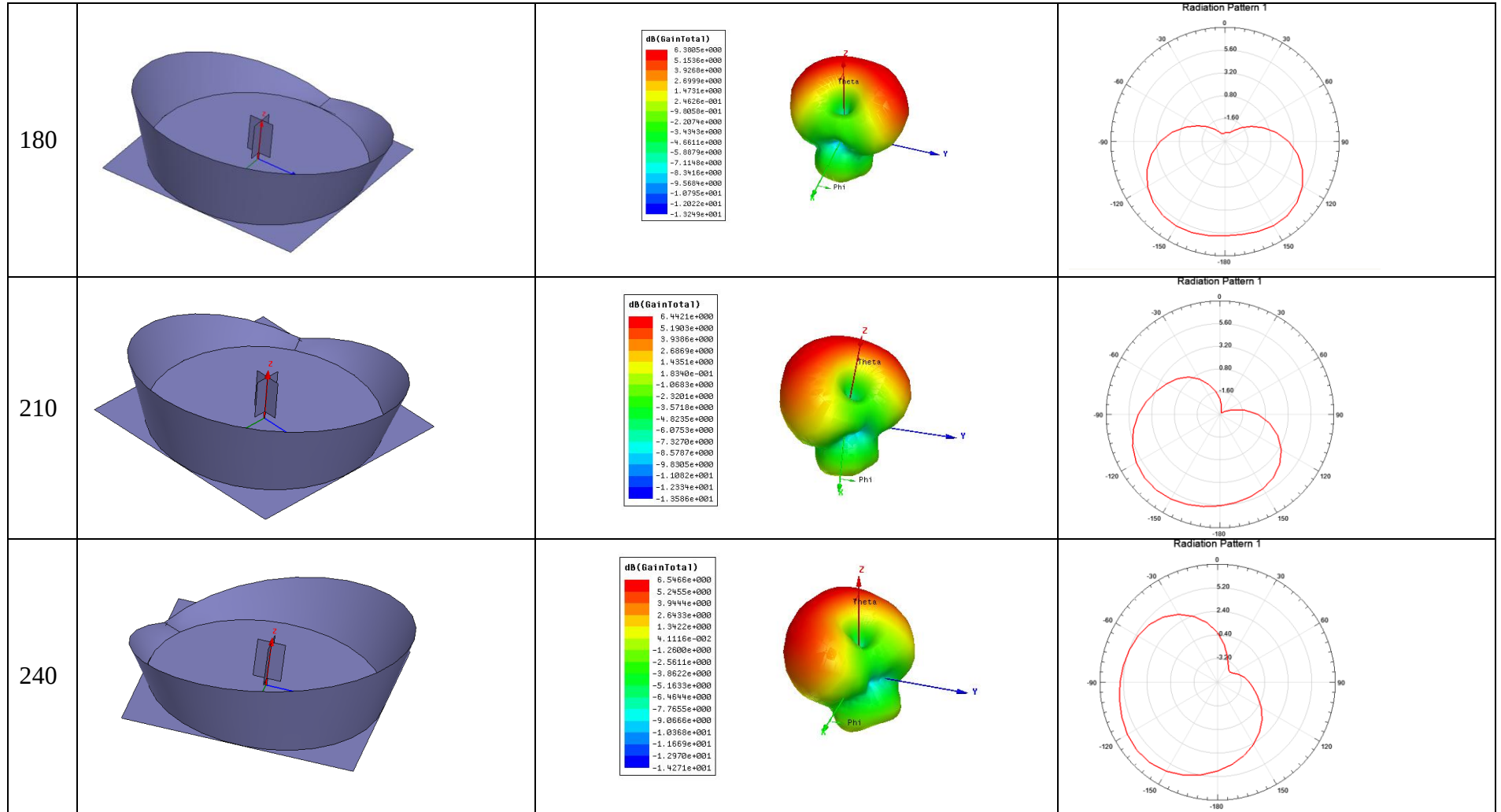
(f)

Şekil A.2 : Antenin ölçülen 2 boyutlu ışıma örüntüsü (düşey düzlemde): a) 1.7GHz, b) 1.9GHz, c) 2.1GHz, d) 2.3GHz, e) 2.4GHz, f) 2.5GHz.

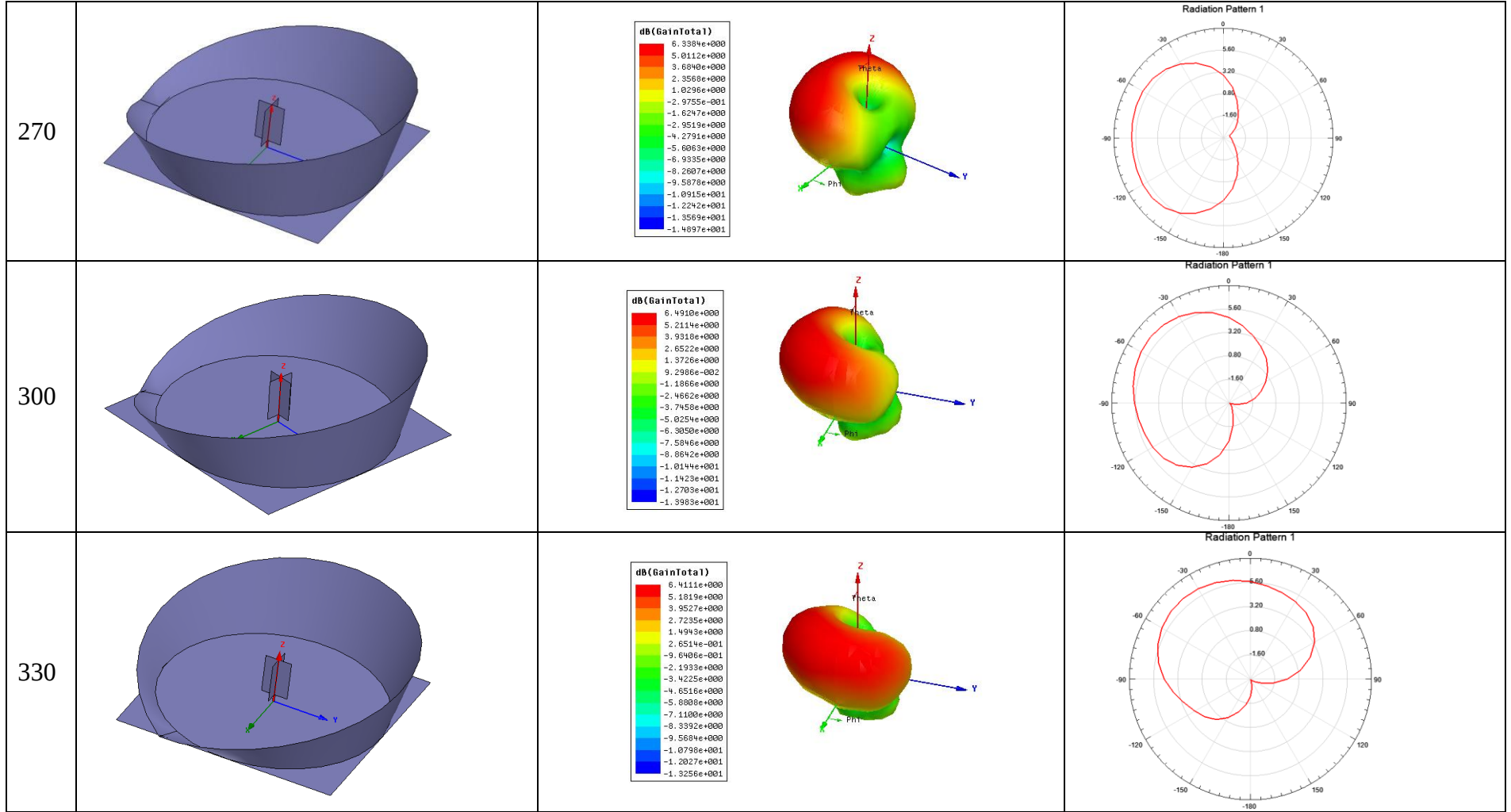
EK A.3

φ açısı	Tekrar konfigüre edilen anten	Üç boyutlu ışıma örüntüsü	$\theta = 40$ derecede yatayda ışıma örüntüsü
120			
150			

Şekil A.3 : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.



Şekil A.3(devam) : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.



Şekil A.3(devam) : Antenin farklı parabolik toprak parçası yapılandırmaları için üç boyutlu ışıma örüntüsü değişimi.

EK A.4

```
clear all
close all
clc
teta1=(55.5*pi/180);
teta2=(0*pi/180);
h=2;

for v= 0:0.01:50;
u=0:pi/180:4*pi/2;

x(:,1)=(46+v./6).*tan(teta1)*cos(u-teta2);
y(:,1)=(46+v./6).*tan(teta1)*sin(u-teta2);
z(:,1)=v.*(cos(u./4).*sin(u./4))*h;

end
figure (1)
plot3(x,y,z); grid on
title('x y z degisimi');
figure (2)
plot(x,z);grid on
title('x z degisimi');
figure (3)
plot(x,y); grid on
title('x y degisimi')
```

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Serkan Yıldız

Doğum Yeri ve Tarihi: Gümüşhane 01.05.1988

Adres: Mollahüsrev Mah., Akıfpaşa Sk., No: 2, Vefa, Fatih/İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği