

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ODAK DIŞI BESLEMELİ REFLEKTÖR ANTENLER



BURAK SERTKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. NURHAN TÜRKER TOKAN**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ODAK DIŞI BESLEMELİ REFLEKTÖR ANTENLER

Burak SERTKAYA tarafından hazırlanan tez çalışması 02.05.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliğı Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hakan PaŐa PARTAL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Cihan DÖĞÜŐEN

Yeni Yüzyıl Üniversitesi

ÖNSÖZ

Günümüzde pek çok uygulama alanı olan antenler haberleşmede hayati bir öneme sahiptir. Haberleşme sistemleri dışında askeri alanda, radar sistemlerinde de önemli bir yer tutar. Bu sebepler anten tasarımının ne kadar hassas ve ne kadar özenli bir şekilde yapılması gerektiğini göstermektedir. İşte bu kadar önemli ve hassas bir konuda bana desteklerini esirgemeyen sevgili danışman hocam Doç. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Her koşulda yanımda olan aileme, okul sürecinde gerekli anlayışı gösteren şirketim Vodafone ve çalışma arkadaşlarıma da bir teşekkürü borç bilirim.

Mayıs, 2017

Burak SERTKAYA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	5
BÖLÜM 2	
ANTENLER	6
2.1 Anten Karakteristik Parametreleri	6
2.1.1 Işıma Paterni	7
2.1.2 Işıma Gücü ve Işıma Direnci.....	8
2.1.3 Işıma Verimi	8
2.1.4 Anten Yönlendiriciliği ve Anten Kazancı	9
2.1.5 Polarizasyon.....	9
2.1.6 Giriş Empedansı	11
2.1.7 Anten Etkin Yüzeyi	11
2.2 Anten Türleri	11
2.2.1 Dipol Antenler.....	12
2.2.2 Monopol Antenler	13
2.2.3 Halka Antenler	13
2.2.4 Helisel Antenler	14

2.2.5	Mikroşerit Antenler	14
2.2.6	Horn Antenler	15
2.2.7	Reflektör Antenler	15
BÖLÜM 3		
PARABOLİK REFLEKTÖR ANTENLER VE HORN ANTENLER		17
3.1	Parabolik Reflektör Antenler	17
3.1.1	Parabolik Reflektör Antenlerin Tarihçesi.....	17
3.1.2	Parabolik Reflektör Antenlerin Kullanım Alanları.....	19
3.1.3	Reflektör Antenlerin Yapısı	19
3.1.4	Parabolik Reflektör Anten Çeşitleri	21
3.1.4.1	Odaktan Beslemeli Parabolik Reflektör Antenler	21
3.1.4.2	Odakdışı Beslemeli Parabolik Reflektör Antenler	22
3.1.4.3	Cassegrain Parabolik Reflektör Antenler	25
3.1.4.4	Gregorian Parabolik Reflektör Antenler	26
3.1.5	Parabolik Reflektör Anten Parametreleri ve Kazanç Hesabı	26
3.2	Horn Antenler	31
3.2.1	Horn Antenlerin Tarihçesi.....	31
3.2.2	Horn Antenlerin Kullanım Alanları.....	32
3.2.3	Horn Antenlerin Yapısı.....	32
3.2.4	Horn Anten Çeşitleri	33
3.2.4.1	E Düzlem Horn Antenler	33
3.2.4.2	H Düzlem Horn Antenler	34
3.2.4.3	Piramit Horn Antenler	35
3.2.4.4	Konik Horn Antenler.....	37
3.2.4.5	Oluklu Horn Antenler	37
BÖLÜM 4		
KU BAND UYDU AŞAĞI YÖN İÇİN REFLEKTÖR ANTEN TASARIMI		39
4.1	Septum Polarizör.....	40
4.2	Horn Anten.....	46
4.2.1	Doğrusal Polarize Horn Anten	46
4.2.2	Dairesel Polarize Horn Anten	51
4.3	Horn Beslemeli Reflektör Anten	54
4.3.1	Odaktan Beslemeli Reflektör Anten	54
4.3.1.1	Doğrusal Polarize Reflektör Anten	55
4.3.1.2	Dairesel Polarize Reflektör Anten	58
4.3.2	Odak-Dışı Beslemeli Reflektör Anten	62
4.3.2.1	Doğrusal Polarize Reflektör Anten	62
4.3.2.2	Dairesel Polarize Reflektör Anten	65
BÖLÜM 5		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		69
KAYNAKLAR		72



SİMGE LİSTESİ

A	Etkin Açıklık
D	Yönlendiricilik
η	Anten Verimi
λ	Dalga Boyu
d	Parabolun Derinliği
P	Güç
I	Akım
G	Anten Kazancı
$f(\theta, \phi)$	Alan Işıma Paterni
$F(\theta, \phi)$	Güç Işıma Paterni
$ I_0 $	Akımın Maksimum Genliği
$P_{I\dot{s}}$	Işıma Gücü
P_{in}	Antenin Giriş Gücü
L	Antenin Boyu
d_{max}	Reflektör Yüzeyin Maksimum Derinliği
H	Parabolün Merkez Yüksekliği

KISALTMA LİSTESİ

CST	Computer Simulation Technology
DDO	Duran Dalga Oranı
EM	Elektromagnetik
EO	Eksensel Oran
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
KDDI	Kokusai Denshin Denwa Incorporation
NTT	Nippon Telegraph and Telephone Corporation
YGHG	Yarım Güç Hüzme Genişliği

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Anten ışıma paterni [2]	7
Şekil 2. 2 Dipol anten [5]	12
Şekil 2. 3 Monopol anten [5]	13
Şekil 2. 4 Helisel anten geometrisi	14
Şekil 2. 5 Mikroşerit anten yapısı	14
Şekil 2. 6 Horn anten konfigürasyonları a) E-düzlem b) H-düzlem c) Konik d) Piramit [6]	15
Şekil 2. 7 Parabol ve paraboloid	16
Şekil 2. 8 Parabolik reflektör anten besleme biçimleri a) Odaktan besleme b) Odak dışı besleme c) Cassagrain besleme d) Gregorian besleme.....	16
Şekil 3. 1 Hertz tarafından bulunan ilk parabolik anten, 1888 a) Yandan görünüm b) Üstten görünüm [7]	18
Şekil 3. 2 Stanford üniversitesindeki parabolik reflektör anten.....	19
Şekil 3. 3 Parabolik reflektör antenin yapısı.....	20
Şekil 3. 4 Odaktan beslemeli parabolik anten yapısı.....	22
Şekil 3. 5 Odakdışı beslemeli parabolik anten yapısı	22
Şekil 3. 6 Odaktan beslemeli reflektör antenlerde besleme anteni bloklama etkisi .	23
Şekil 3. 7 Uniform beslemeli parabolik reflektör anten	24
Şekil 3. 8 Tipik horn anten ışıması	24
Şekil 3. 9 İdeal yansıma ile tipik horn anten yansımasının karşılaştırılması.....	25
Şekil 3. 10 Cassegrain parabolik anten yapısı	25
Şekil 3. 11 Gregorian parabolik anten yapısı.....	26
Şekil 3. 12 Parabolik reflektör anten parametreleri	26
Şekil 3. 13 Parabolik reflektör anten parametreleri arasındaki geometrik ilişki	27
Şekil 3. 14 Odak-dışı beslenen reflektör anten geometrisi	29
Şekil 3. 15 Horn anten	31
Şekil 3. 16 Harold Ewen'ın horn anteni.....	32
Şekil 3. 17 Horn antenin yapısı.....	33
Şekil 3. 18 E düzlem horn anten [12]	34
Şekil 3. 19 H düzlem horn anten [12].....	35
Şekil 3. 20 Piramit horn anten.....	36
Şekil 3. 21 Konik horn anten geometrisi	37
Şekil 3. 22 Oluklu horn anten geometrisi [12]	38

Şekil 4.1	Septumlu dalga kılavuzu a) Önden görünüm b) Yandan görünüm c) Perspektif görünüm (Birimler milimetredir)	42
Şekil 4.2	Septumlu dalga kılavuzunda elektrik alanın değişimi (a) $z=0\text{mm}$; (b) $z=10\text{mm}$; (c) $z=15\text{mm}$; (d) $z=20\text{mm}$; (e) $z=40\text{mm}$; (f) $z=45\text{mm}$; (g) $z=55\text{mm}$	43
Şekil 4.3	Geri dönüş kaybının frekans ile değişimi	43
Şekil 4.4	Septumlu dalga kılavuzunun merkez frekansında 3 boyutlu yönlendiricilik paterni.....	44
Şekil 4.5	Septumlu dalga kılavuzunun normalize kazanç paterni (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.....	44
Şekil 4.6	Septumlu dalga kılavuzunun normalize kazanç paterni (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.....	45
Şekil 4.7	Doğrusal polarize horn anten (a) Önden görünüm; (b) Yandan görünüm; (c) Perspektif görünüm (Birimler milimetredir)	47
Şekil 4.8	Doğrusal polarize horn antende y-z düzleminde alan dağılımı (a) elektrik alan; (b) magnetik alan	48
Şekil 4.9	Doğrusal polarize horn antenin geri dönüş kaybının frekans ile değişimi ...	48
Şekil 4.10	Doğrusal polarize horn antenin merkez frekansında 3 boyutlu yönlendiricilik paterni.....	49
Şekil 4.11	Dairesel horn antenin (septumsuz) normalize kazanç paterni (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.....	49
Şekil 4.12	Dairesel horn antenin (septumsuz)eksensel oranı (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.....	50
Şekil 4.13	Septumlu dairese horn anten (a) Önden görünüm; (b) Yandan görünüm; (c) Perspektif görünüm.	51
Şekil 4.14	Septumlu dairese horn antenin merkez frekansında 3 boyutlu yönlendiricilik paterni.....	52
Şekil 4.15	Septumlu dairese horn antenin geri dönüş kaybının frekans ile değişimi..	52
Şekil 4.16	Septumlu dairese horn antenin normalize kazanç paterni (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.	53
Şekil 4.17	Dairesel polarize dairese horn antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi.....	54
Şekil 4.18	Parabolik reflektör antenin 3 dB hüzme genişliği ile f/D oranı ilişkisi [12]..	55
Şekil 4.19	Eksenden beslenen doğrusal polarize reflektör anten	55
Şekil 4.20	Doğrusal polarize reflektör antenin geri dönüş kaybı	56
Şekil 4.21	Eksenden beslenen doğrusal polarize reflektör antenin ışım paterni.....	56
Şekil 4.22	Doğrusal polarize odaktan beslenen reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi	57
Şekil 4.23	Doğrusal polarize odaktan beslenen reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi	58
Şekil 4.24	Eksenden beslenen dairese polarize reflektör anten	59
Şekil 4.25	Dairesel polarize odaktan beslenen reflektör antenin geri dönüş kaybı.....	59
Şekil 4.26	Dairesel polarize odaktan beslenen reflektör antenin ışım paterni	60
Şekil 4.27	Dairesel polarize odaktan beslenen reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi	60

Şekil 4. 28	Dairesel polarize odaktan beslenen reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi	61
Şekil 4. 29	Odak-dışı beslenen doğrusal polarize reflektör anten	63
Şekil 4. 30	Doğrusal polarize reflektör antenin geri dönüş kaybı	63
Şekil 4. 31	Odak-dışı beslenen doğrusal polarize reflektör antenin ışınma paterni	63
Şekil 4. 32	Doğrusal polarize odak-dışı beslenen reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi	64
Şekil 4. 33	Doğrusal polarize reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi.....	65
Şekil 4. 34	Odak-dışı beslenen dairesele polarize reflektör anten	66
Şekil 4. 35	Dairesel polarize reflektör antenin geri dönüş kaybı	66
Şekil 4. 36	Odak-dışı beslenen dairesele polarize reflektör antenin ışınma paterni	67
Şekil 4. 37	Dairesel polarize odak-dışı beslemeli reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi	67
Şekil 4. 38	Dairesel polarize odak-dışı beslemeli reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi	68

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1	Septumlu dalga kılavuzunun performans parametreleri.....45
Çizelge 4. 2	Doğrusal polarize horn antenin performans parametreleri.....50
Çizelge 4. 3	Septumlu dairesel horn antenin performans parametreleri..... 53
Çizelge 4. 4	Doğrusal polarizeli odakta beslenen reflektör antenin performans parametreleri..... 57
Çizelge 4. 5	Dairesel polarizeli reflektör antenin performans parametreleri..... 61
Çizelge 4. 6	Doğrusal polarizeli reflektör antenin performans parametreleri..... 64
Çizelge 4. 7	Dairesel polarizeli odak-dışı beslemeli reflektör antenin performans parametreleri..... 68
Çizelge 5. 1	Tasarlanan yapıların performanslarının karşılaştırılması.....70

ODAK DIŞI BESLEMELİ REFLEKTÖR ANTENLER

Burak SERTKAYA

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: DoÇ. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Parabolik anten, radyo, televizyon, uydu haberleşmesi ve radarlar için kullanılan yüksek kazançlı reflektör antendir. Elektromagnetik spektrumun yüksek frekans bölgelerinde çalışabilirler. Reflektör antenlerin geniş bir kullanım alanı vardır. Uydu sistemleri, uzay uygulamaları, radar uygulamaları, baz istasyonları uygulamaları, karasal mikrodalga sistemleri kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Parabolik reflektör antenler aktif ve pasif kısım olmak üzere iki kısımdan oluşur. Antenin pasif kısmı yansıtıcı olarak kullanılan yüzeydir. Parabolik reflektör antenin beslemesi reflektör antenin aktif kısmını oluşturur.

Horn antenler, en temel mikrodalga antenlerinden birisidir. Hem yerde hem de uzayda mikrodalga haberleşmesinde kullanılmaktadır. Geometrik yapısından dolayı iyi bir yönlendiricilik sağlar. Boyutlarının artmasıyla yönlendiriciliği ve dolayısıyla kazancı artar. Düşük kayıp nedeniyle yönlendiriciliği kazançla neredeyse eş değerdir. Askeri alanda, radar sistemlerinde düşman uçaklarını yakalamada, uçaklarda ve uzay araçlarında, uzay araştırma projelerinde, sağlık alanında vücut taramasında ve astronomide kullanılmaktadır. Kayıpları azaltmak ve verimi artırmak için çeşitli konfigürasyonlar türetilmiŐtir. Bunlara örnek olarak E düzlem, H düzlem, konik, piramit, oluklu horn antenler örnek olarak verilebilir. Horn antenler, reflektör ve lens antenlerin besleme anteni olarak da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Ku bandında çalışan odak ve odak dışından horn anten ile beslenen reflektör anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda empedans uyumsuzluğunu ve saçılma kayıplarını azaltmak için normal horn yerine oluklu horn konfigürasyonu kullanılmıştır. Ayrıca “septum polarizör” adı verilen yapı kullanılarak polarizasyonu dairesel polarizasyona dönüştürmek amaçlanmıştır. Dairesel polarizasyonun, lineer polarizasyon karşısında faraday etkisi, atmosferik etkilere karşı dirençli olmak, kurulumda kolaylık, bağlantı güvenilirliği gibi çeşitli avantajları vardır. Septum polarizör sayesinde eksensel oranı 1'e yaklaşmıştır. Tasarlanan bu horn anten ile 50cm yarıçaplı parabolik reflektör anten odak dışından ve odaktan beslenerek iki farklı konfigürasyon gerçekleştirilmiştir, performansları karşılaştırılmıştır. Odak dışı beslemenin, odakdan beslemeye göre duran dalga oranının düşük olması, düşük çapraz polarizasyon, besleme anteni ile reflektör anten arasında yüksek izolasyon gibi avantajları vardır.

Anahtar Kelimeler: Anten, besleme, elektromanyetik dalga, haberleşme, horn anten, odak dışı, oluklu, parabol, reflektör, septum polarizör



OFFSET FED PARABOLIC REFLECTOR ANTENNAS

Burak SERTKAYA

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Nurhan TÜRKER TOKAN

Parabolic antennas are the antennas that are used in radio, television, satellite communications and radar applications. They have high gain. They can be operated at the high frequency band of electromagnetic spectrum. They are widely used. Satellite systems, space applications, radar applications, base station applications and ground microwave systems are examples that parabolic reflector antennas are used. They have two parts as active part and passive part. The passive part of the antenna is the surface used as reflector. Active part is feeding antenna.

Horn antennas are the one of the simplest microwave antennas. It is used both at ground and space in microwave communication. Because of its geometrical structure, it provides high directivity. So it has high gain as well. Because of low loss, its directivity is almost same with its gain. They are used in military applications, friend or foe detection radar systems, aircrafts and space vehicles, satellite research projects, health applications for scanning the body and astronomy. Horn antennas are configured in different forms such as E plane, H plane, conical, pyramidal and also in corrugated form for decreasing the losses and increasing the efficiency of antenna.

In this thesis, off-axis and on-axis fed parabolic reflector antenna operating at Ku and X band is designed. To decrease impedance mismatching and scattering losses, corrugated horn antenna configuration is used instead of classical horn configuration. Besides septum polarizer was used to convert polarization to circular polarization. Circular

polarization has some advantages over linear polarization which can be summarized as Faraday effect, resistance to atmospheric conditions, easy set-up and secure connection. Septum polarizer provides lower inverse axial ratio, close to 1. Parabolic reflector antenna that has 50 cm radius is fed on axis and off axis using corrugated horn antenna. Their performance is compared as well. Off-axis fed reflector has some advantages over on-axis fed such as lower standing wave ratio, lower cross polarization, isolation between feed antenna and reflector surface.

Keywords: Antenna, communication, corrugated, electromagnetic wave, feed, horn antenna, off-axis, parabole , septum polarizer



1.1 Literatür Özeti

Haberleşme tarih boyunca insan hayatında her zaman önemli bir yere sahiptir. Haberleşme, kısaca bir bilginin bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Geçmişten günümüze çeşitli haberleşme metodları kullanılmıştır. Çok eski çağlarda insanlar dumanla haberleşmekte iken, zamanla güvercinleri eğiterek hayvanlardan faydalanmışlardır. Bunun yanı sıra ulakların kullanılması da tarih boyunca haberleşmeyi sağlayan yöntemler arasında yerini almıştır. Bayrak ve ışık da tarih boyunca uzak mesafe haberleşmesinde kullanılan yöntemlerdendir. 1700' lü yılların sonunda telgrafın icadı, 1800' lü yıllarda elektrikli telgraf ve telefonun icadı ile insanlar seslerini elektrikli teller üzerinden uzak mesafelere göndermeye başlamışlardır. Özellikle 19. yüzyılın sonlarında ve 20. yüzyılda teknolojinin ilerlemesi ile antenler keşfedilmiştir ve haberleşmede önemli bir yer almıştır. Antenlerin keşfi ile uzak mesafeler ile kablosuz haberleşme sağlanmıştır. Özellikle dünya savaşları gibi sebepler insanları teknoloji üzerinde düşünmeye ve yeni şeyler üretmeye mecbur kılmıştır. Yakın geçmişte yapılan çalışmalar antenlerin teknolojik olarak gelişmelerini hızlandırmıştır.

Günümüzde antenler haberleşme sistemlerinde hayati bir öneme sahiptir. Bunun yanında haberleşme sistemleri dışında, savunma sanayisinde radar sistemlerinde de oldukça önemli bir yere sahiptir. Kablosuz haberleşme sistemlerinde veriyi alma ve gönderme görevi antenlere aittir. Bu kapsamda günümüze kadar olan süreçte geliştirilen çeşitli anten türleri mevcuttur. Dipol antenler, monopol antenler, halka

antenler, helisel antenler, mikroşerit antenler, horn antenler, reflektör antenler örnek olarak verilebilir. Genel anten yapıları 2. bölümde tanıtılmıştır.

Antenler genel olarak lineer ya da eliptik polarizasyonludur. Dairesel polarizasyon eliptik polarizasyonun özelleştirilmiş durumudur. Dairesel polarizasyonun, lineer polarizasyon karşısında Faraday etkisi, atmosferik etkilere karşı dirençli olmak, kurulumda kolaylık, bağlantı güvenilirliği gibi çeşitli avantajları vardır. Faraday etkisi lineer polarizasyonda ve C bandı gibi düşük frekanslarda kendini göstermektedir. Yağmur, kar, buz gibi atmosferik etkiler sebebiyle sinyalde bozulma konusunda dairesele polarizasyonlu sinyaller daha dayanıklıdır. Dairesel polarizasyonun kullanıldığı uydu sistemlerinde bağlantı sağlanması için antenin doğru açığa bakması yeterlidir, bu da kurulum aşamasında avantaj sağlamaktadır. Bunun dışında bağlantı kurulurken hizalama ve girişim açısından risk dairesele polarizasyonda daha azdır.

Lineer polarizasyonlu anten ile dairesele polarizasyon üretmek için doğru açılarda ve çeyrek dalga faz farkı ile beslenen bir yayıcı koymak gerekmektedir. Çeyrek dalga faz farkı verilmesi ile ikinci yayıcı tepe noktasına ulaştığında diğeri sıfırdan geçmekte veya tam tersi ikinci yayıcı sıfırdan geçerken diğeri yayıcı tepe noktasına ulaşmaktadır. Böylece elektrik alan düz bir hat üzerinde ilerlemek yerine dairesele bir şekilde ilerlemektedir. Elektrik alanın yol aldığı yayılım doğrultusuna göre sağ el ve sol el dairesele polarizasyon olarak adlandırılır.

Horn antenler, yaygın olarak kullanılan mikrodalga antenlerden biridir. Yönlü bir radyasyon paterni vardır ve anten kazancı yüksektir. Horn antenler, verici modda iken radyo dalgalarının dalga kılavuzundan serbest uzaya yayılmasını ve alıcı modda iken serbest uzaydaki radyo dalgalarının dalga kılavuzunda toplanmasını sağlamaktadır. Askeriyede, radar sistemlerinde, uçak ve uzay araçlarında, sağlık alanında kullanılmaktadır. Bütün bu kullanım alanları dışında reflektör antenlerin ve lens antenlerin besleme anteni olarak kullanılması gibi çok önemli bir kullanım alanı da mevcuttur. Horn antenler, konik horn antenler, piramit horn antenler, E düzlem horn antenler, H düzlem horn antenler, oluklu horn antenler gibi çeşitli formlarda karşımıza çıkmaktadır. Horn antenler ve türleri ile ilgili detaylı inceleme 3. bölümde yer almaktadır.

Reflektör antenler dar huzmeye ve yüksek kazançta sahip olmalarından ötürü haberleşme sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Reflektör antenler uydu sistemlerinde, uzay uygulamalarında, GSM haberleşme sistemlerinde ve radar sistemlerinde kullanılmaktadır. Reflektör antenler, pasif ve aktif olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Pasif kısmı yansıtıcı yüzey, aktif kısım ise genellikle besleme antenidir. Aktif ve pasif kısımlar çeşitli konfigürasyonlarla karşımıza çıkmaktadır. Yansıtıcı yüzeyin değiştirilmesi ile özel ışınım karakteristikleri elde edilebilir. Reflektör antenler besleme türlerine göre odaklı beslemeli reflektör antenler, odak dışı beslemeli reflektör antenler, Cassagrain reflektör antenler ve Gregorian reflektör antenler olarak dört farklı yapı ile karşımıza çıkmaktadır. Bu yapılar ile ilgili detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde verilecektir.

Yazılım dünyasındaki gelişmeler ile birlikte antenler için tasarım ve simülasyon programları açığa çıkmıştır. Bu programların gelişmiş özellikleri sayesinde bilgisayar ortamında gerçeğe çok yakın simülasyonlar gerçekleştirilebilmektedir. Yazılım programları sayesinde tasarımlar daha kolay, hızlı ve maliyetsiz bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Tasarım dışında optimizasyon alanında da bu yazılımlardan faydalanılabilmektedir. Bu tez kapsamında yapılacak olan anten tasarımları için sonlu integrasyon metoduna dayalı simülasyon programı olan CST Mikrodalga Studio programından yararlanılacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Uydu teknolojisi çok hızlı gelişmektedir ve uydu haberleşmesi için yapılan uygulamaların sayısı sürekli artmaktadır. Uydu haberleşmesi sadece radyo haberleşmesi için değil, aynı zamanda astronomi, hava durumu tahmini, yayın ve birçok uygulama alanına sahiptir. Uydu haberleşmesinde kullanılabilecek frekans bantları çok çeşitlidir. Yüksek frekans bandında çalışmak, daha geniş bant genişliği sunarken yağmur, kar, buz gibi atmosferik etkiler sebebiyle sinyalde bozulmalara karşı elverişlidir. Uyduların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte düşük frekans bantlarında sıkışıklık ciddi bir mesele haline almıştır. Yeni teknolojiler üzerinde çalışılmaktadır ve bu çalışmalar ile birlikte daha yüksek bantlar kullanılabilecektir. Bu tezin amacı kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan, Ku bandında çalışan, dual dairesel polarizasyonlu,

yüksek kazançlı reflektör anten tasarlamaktır. Tasarlanan reflektör anten hem odaktan hem de odak dışından beslenecektir ve sonuçlar gözlemlenecektir.

Tezin ikinci bölümünde anten parametreleri ve anten türleri tanıtılacaktır. Anten parametreleri matematiksel olarak ifade edilecektir. Ayrıca tanıtılan anten türlerinin tarihçesine, kullanım alanlarına, alt türlerine, geometrik yapılarına ve matematiksel ifadelerine yer verilecektir. Bu bölümde elde edilen genel bilgiler sonraki bölümlere temel oluşturmaktadır ve anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır.

Üçüncü bölümde tezin ana amacı olan reflektör antenler ve horn antenlere detaylı bir şekilde yer verilecektir. Reflektör antenlerin tarihçesi, kullanım alanları ve yapılarından bahsedilecektir. Reflektör antenler odak beslemeli, odak dışı beslemeli, Cassagrain ve Gregorian olmak üzere 4 türe ayrılıp, her bir tür matematiksel ve yapısal olarak incelenecektir. Ayrıca reflektör antenlerin besleme anteni olarak kullanılan horn antenlerin de tarihçesine, kullanım alanlarına yer verilecektir. Horn antenlerde E düzlem, H düzlem, piramit, konik ve oluklu horn antenler olarak gruplandırılıp yapısal ve matematiksel olarak incelenecektir. Bu bölüm ile elde edilen bilgiler son bölüm olan tasarım ve simülasyonlara yön verilmesini sağlayacaktır.

4. bölümde, 2. ve 3. bölümde yapılan literatür araştırması ve detaylı incelemeler doğrultusunda, CST Mikrodalga Studio programı kullanılarak reflektör anten tasarlanacaktır ve simülasyon sonuçları incelenecektir. CST programı, yüksek frekans bileşenlerinin 3 boyutlu elektromagnetik simülasyonu için hazırlanmış özel bir yazılım aracıdır. İlk olarak CST programı ile besleme anteni tasarlanıp simüle edilecektir. Daha sonra bu besleme anteni kullanılarak, reflektör anten odak ve odak dışı beslemeli olarak iki türde tasarlanıp, simüle edilecektir. Anten tasarımında besleme anteni olarak oluklu horn anten ve bu anten içerisinde polarizasyonun daireselliğini artırmak için septum polarizör yapısı kullanılacaktır. Septum polarizör, giriş portuna aktarılan lineer polarizasyonlu ışareti, çıkış portuna dairesel polarizasyonlu olarak iletir. Septum polarizör kullanılması eksensel oranın çalışılan frekans bandı boyunca 1' e yaklaşmasını sağlar. Avrupa'da 10.7 GHz ve 12.75 GHz aralığı Ku bandı uydu aşağı bağlantı frekansları olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle tasarlanan antenlerin Ku bandında çalışması hedeflenmektedir.

1.3 Hipotez

Odakdışı beslemek pek çok avantaja sahiptir. Bunlar arasında duran dalga oranının düşük olması, düşük çapraz polarizasyon, besleme anteni ile reflektör anten arasında yüksek izolasyon sayılabilmektedir. Horn antenin dış yüzeylerinin duvarlarının genişlemesi dalga kılavuzu ile serbest uzay arasındaki empedans uyumsuzluğunun azalmasını sağlar.



ANTENLER

Antenler, elektromanyetik dalgaları alan ya da yayan cihazlardır. Radyo dalgalarını kullanma biçimine göre alıcı ya da verici karakteristikli antenlerden bahsedilebilir. Alıcı antenler, boşluktaki elektromanyetik dalgaları toplayarak elektrik sinyallerine dönüştürürken; verici antenler, elektrik sinyallerini elektromanyetik dalgalara dönüştürerek etrafına yayar [1].

2.1 Anten Karakteristik Parametreleri

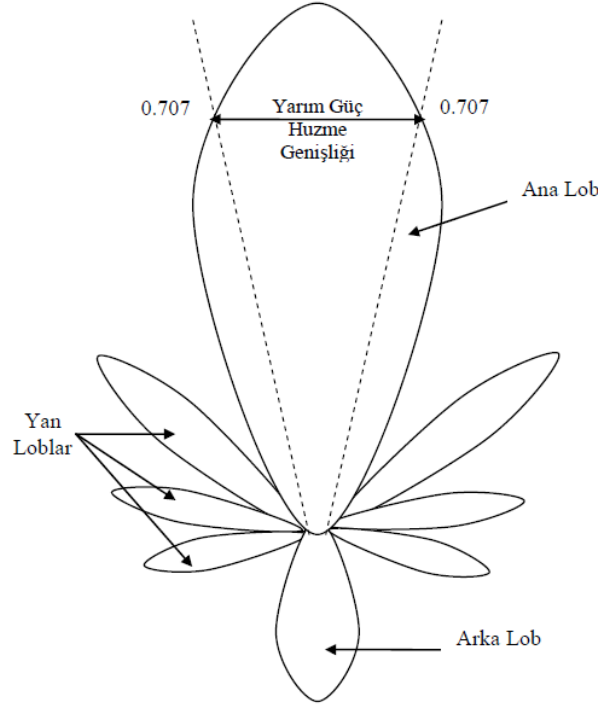
Haberleşme sistemlerinde kalite ve karakteristik özellikleri antenler belirler. Haberleşme sistemlerinde haberleşme kalitesinin yüksek olması için ilk olarak ortam koşullarına ve amaca göre tercih edilen özel durumlar iyi bir şekilde belirlenip, bu durumlarda en yüksek performans gösteren antenler sistem için tercih edilmelidir. Aksi takdirde antenlerin gösterdiği düşük performans sebebiyle haberleşme kalitesi istenilen düzeylere ulaşamayacaktır. Amaca uygun anten seçimi için genel olarak anten karakteristikleri bilinmelidir. Bu anten karakteristikleri sayesinde anten çeşitlerinin ortam koşullarına göre gösterdikleri performans hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Anten karakteristik parametrelerini şu şekilde sıralayabiliriz [2].

- Işıma paterni
- Işıma gücü ve ışıma direnci
- Anten yönlendiriciliği ve anten kazancı
- Polarizasyon

- Giriş empedansı
- Anten etkin yüzeyi

2.1.1 Işıma Paterni

Işıma paterni, antenin ışımaya özelliklerinin matematiksel fonksiyon veya grafik olarak tanımlanmasıdır. Işıma paterni genellikle uzak alan için hesaplanır. Işıma paterninden yararlanarak, bir antenin hangi yönde ışımaya yaptığını belirleyebiliriz. Işıma paterni ana lob, yan loblar ve arka lob olmak üzere 3 bölgeden oluşmaktadır. Şekil 2.1’ de ışımaya paterni bölgeleri ile birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 Anten ışımaya paterni [2]

Ana lob antenin ışımaya yaptığı yönü göstermektedir. Yan loblar anten ışımaya sırasında saçılma etkisiyle oluşmaktadır. Yan loblar istenmeyen bir etkidir ve mümkün olduğunca minimize edilmelidir. Ana lobun 180 derece gerisinde de arka lob oluşmaktadır.

$f(\theta, \phi)$ alan ışımaya paterni ve $F(\theta, \phi)$ güç ışımaya paterni olmak üzere, güç ifadesi matematiksel olarak elektrik alan ile magnetik alanın çarpımından elde edilir. Elektrik alan ile magnetik alan birbirine öz empedans (η) ile bağlıdır. Bu nedenle alan ve güç

ışma paternleri şekil olarak birbirlerine benzemektedirler. $\eta=1$ olarak ele aldığımızda uzak alan için güç ışıma paterni

$$F(\theta, \varphi) = |f(\theta, \varphi)|^2 \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir.

2.1.2 Işıma Gücü ve Işıma Direnci

Işıma direnci, antenin dışarı yayınladığı toplam gücün, devreden çektiği akımın etkin değerinin karesine oranıdır. Antenin uzaya aktardığı güce ise ışıma gücü denir. I_{eff} etkin akım değeri, I_0 akımın maksimum genliği, $P_{IŞ}$ ışıma gücü olmak üzere; ışıma gücünün ifadesi (2.2) ve (2.3) no' lu eşitliklerde gösterilmektedir.

$$P_{IŞ} = I_{eff}^2 R_{IŞ} \quad (2.2)$$

$$P_{IŞ} = \frac{|I_0|^2}{2} R_{IŞ} \quad (2.3)$$

Işıma gücü farklı biçimde yazılacak olursa;

$$P_{IŞ} = \frac{1}{2} \int \text{Re} \{ \vec{E} \times \vec{H}^* \} d\vec{s} \quad (2.4)$$

olarak elde edilir. Burada \vec{E} ve \vec{H} , sırasıyla elektrik alan ve magnetik alan fazörüdür.

2.1.3 Işıma Verimi

Işıma verimi, ışıma gücünün, kaynaktan çekilen güce oranı olarak tanımlanmaktadır. Anten kaynaktan çektiği gücün tamamını ışıyamaz, bir kısmı kayba uğrar. Isıl kayıp, empedans uyumsuzluğu antenin veriminin düşüren etkenlerdir. Bu değerlerin mümkün olabildiğince küçük olması gerekmektedir. Antenin giriş gücü P_{in} , antenin yayınladığı toplam güç $P_{IŞ}$, ısı kayıp direnci R_L ve ışıma direnci R_r olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimsizdir.

$$e_r = \frac{P_{IŞ}}{P_{in}} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.5)$$

2.1.4 Anten Yönlendiriciliği ve Anten Kazancı

Antenin yönlendiriciliği, belirtilen yöndeki ışıma şiddetinin, tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine oranıdır. Ortalama ışıma şiddeti aynı zamanda antenden yayılan toplam gücün $4\pi'$ ye bölümüne eşittir. Antenin yönlendiriciliği hesaplanırken eğer bir yön belirtilmemişse maximum ışıma şiddetinin yönüne göre hesaplama yapılır. Yani matematiksel olarak (2.6) no' lu eşitlikteki gibi ifade edilir;

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{I\dot{s}}}$$
 (2.6)

Eğer yön belirtilmemişse 2.7 no' lu eşitlik ile ifade edilir.

$$D_{\max} = D_0 = \frac{U|_{\max}}{U_0} = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{I\dot{s}}}$$
 (2.7)

Yönlendiricilik kazancı, antenin ışıma şiddeti yoğunluğunun, izotropik bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğuna oranıdır.

2.1.5 Polarizasyon

Polarizasyon, elektrik alanın zaman domenindeki davranış biçimidir. Genel olarak doğrusal ve eliptik olmak üzere 2 çeşittir. Eliptik polarizasyonun özel durumu olan dairesel polarizasyonda 3.çeşit olarak kabul edilebilir.

Doğrusal polarizasyonda elektrik alan vektörünün yönünde herhangi bir değişiklik olmaz. Ancak genlik değerinde değişiklikler olabilir. Elektrik alanın düzlemlerle yaptığı açıya göre dikey ve yatay polarizasyon olarak iki özel hal alabilir. Eğer elektrik alan düzleme dik ise düşey polarizasyon, düzleme paralel ise yatay polarizasyon olarak isimlendirilir.

Eliptik polarizasyonda, elektrik alan vektörünün yönü sabit değildir ve değişmektedir. Elektrik alan vektör bileşenleri arasında faz farkı vardır ve bu faz farkı sebebi ile bileşenlerden birinin değeri artarken diğerinin azalmaktadır. Bu sebeple elektrik alan vektörünün yönü değişmektedir. Elektrik alan vektörünün dönüş yönüne göre sağ el eliptik polarizasyon ve sol el eliptik polarizasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Baş parmağın yayılım doğrultusunu gösterdiği durumda elektrik alan saat yönünde dönüyorsa sol el

eliptik polarizasyonu, saat yönünün tersine dönüyorsa sağ el eliptik polarizasyonu adını alır.

Matematiksel olarak, z yönünde propagasyon yapan bir düzlem dalganın elektrik alan vektörü (2.8) no' lu eşitlikteki gibi ifade edilir.

$$\vec{E}(z, t) = \vec{a}_x \cdot E_x(z, t) + \vec{a}_y \cdot E_y(z, t) \quad (2.8)$$

(2.8)' de verilen eşitliğin alan bileşenlerini açarsak (2.9) ve (2.10) no'lu eşitlikler elde edilir.

$$\vec{E}_x(z, t) = \text{Re}[E_x^- \cdot e^{j(\omega t + kz)}] = \text{Re}[E_{x0} \cdot e^{j(\omega t + kz + \varphi_x)}] = E_{x0} \cdot \cos(\omega t + kz + \varphi_x) \quad (2.9)$$

$$\vec{E}_y(z, t) = \text{Re}[E_y^- \cdot e^{j(\omega t + kz)}] = \text{Re}[E_{y0} \cdot e^{j(\omega t + kz + \varphi_y)}] = E_{y0} \cdot \cos(\omega t + kz + \varphi_y) \quad (2.10)$$

E_{x0} and E_{y0} sırasıyla x ve y bileşenlerinin maximum genlik değerleridir. Doğrusal polarizasyonlu bir dalga için iki bileşen arasındaki faz farkı, n pozitif tam sayı olmak üzere;

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = n\pi \quad (2.11)$$

olarak ifade edilir.

Dairesel polarizasyonlu bir dalga için iki bileşenin genlikleri eşit ve faz farkı $-\pi/2$ veya $\pi/2$ ' nin katlarıdır. x ve y yönündeki elektrik alan bileşenleri ve genlikleri eşit olmak üzere faz farkı, sağ el dairesel polarizasyon için (2.12) no'lu eşitlikte, sol el dairesel polarizasyon için (2.13) no'lu eşitlikte gösterilmiştir.

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad (2.12)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad (2.13)$$

Eliptik polarizasyonlu bir dalga için iki bileşenin genlikleri farklı ve aralarındaki faz farkı $\pi/2$ nin tek katlarıdır. x ve y yönündeki elektrik alan bileşenleri ve genlikleri farklı olmak üzere faz farkı, sağ eliptik için (2.14) no' lu eşitlikte, sol eliptik için (2.15) no'lu eşitlikte gösterilmiştir.

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad (2.14)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x = -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi \quad (2.15)$$

2.1.6 Giriş Empedansı

Anten, besleme noktasında iki kapılı bir devrenin giriş kapısı gibi davranmaktadır. Antenin uçlarındaki empedans değeri giriş empedansı olarak isimlendirilir. Antenin girişindeki gerilim değerinin akım değerine oranı ile giriş empedansı değeri elde edilir (herhangi bir yük yokken). Anten ile iletim hattı arasında maksimum enerji aktarımı olabilmesi için iletim hattının empedans değeri ile antenin giriş empedans değeri uyumlu olmalıdır. Eğer uygunluk sağlanamazsa kaynak yönüne doğru yansıyan dalgalar oluşur. Bu da sistemin verimini olumsuz olarak etkiler.

2.1.7 Anten Etkin Yüzeyi

Anten etkin yüzeyi uzaydaki serbest elektromagnetik dalgalardan anten uçlarına güç aktarabilme yeteneğidir. Verici antenden gönderilen sinyal boşlukta küresel olarak yayılır. R verici antene olan uzaklık olmak üzere alıcı antene gelen güç yoğunluğu

$$S_i = P_{iS} / (4\pi R^2) \quad (2.16)$$

olarak ifade edilebilir.

Alıcı anten yukardaki formüldeki kadar dalgayı kendi üzerinde toplamaya çalışır. Bu toplama kabiliyetine anten etkin yüzeyi adı verilir. Açıklık tipi antenlerde açıklık yüzeyleri doğrultusunda boşluktaki elektromagnetik dalgaları anten ucuna iletir. Etkin açıklık A , etkin açıklık yüzeyi A_e , açıklık verimi e_A olmak üzere ;

$$A_e = Ae_A \quad (2.17)$$

olarak ifade edilir. Alıcı tarafta elde edilen güç, gelen güç yoğunluğu ile etkin açıklığın çarpımı ile elde edilir.

2.2 Anten Türleri

Antenler pek çok başlık altında sınıflandırılabilir. Uygulama alanlarına göre, ışıma özelliklerine göre, yapısal özelliklerine göre, frekans bantlarına göre türlere ayırabiliriz.

Uygulama alanlarına göre radyo/televizyon yayınları, haberleşme, yön tayini, radar, astronomi olarak gruplara ayırabiliriz. Işıma özelliklerine göre izotropik, yelpaze biçimli ışımaya diyagramlı, kalem biçimli ışımaya diyagramlı, doğrusal, eliptik veya dairesel polarizasyonlu olmak üzere gruplara ayırabiliriz. Bu çalışmada antenler yapısal özelliklerine göre sınıflara ayrılarak incelenecektir.

Antenleri yapısal özelliklerine göre genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

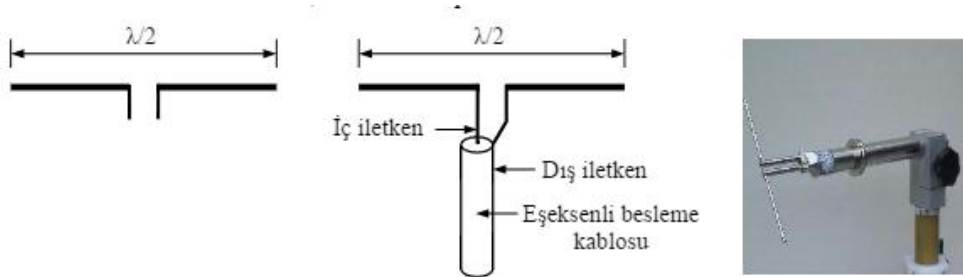
- Dipol Antenler
- Monopol Antenler
- Halka Antenler
- Helisel Antenler
- Horn Antenler
- Reflektör Antenler
- Mikroşerit Antenler

2.2.1 Dipol Antenler

Yaygın olarak kullanılan en basit anten tipidir [3,4]. İki eş iletken elemandan oluşmaktadır. Genellikle bu iki iletken eleman aynı eksen üzerine yerleştirilir ve besleme gerilimi bu iki iletkenin uçlarına uygulanır [5]. İletken olarak genelde metal tel kullanılır. Uzunluklarına göre kısa dipol, yarım dalga dipol olmak üzere çeşitleri vardır.

Kısa dipol (Hertz dipol), iki iletkenin toplam uzunluğu L nin $\lambda/2$ den kısa olduğu dipol çeşitidir. Anten orta noktasından beslenir.

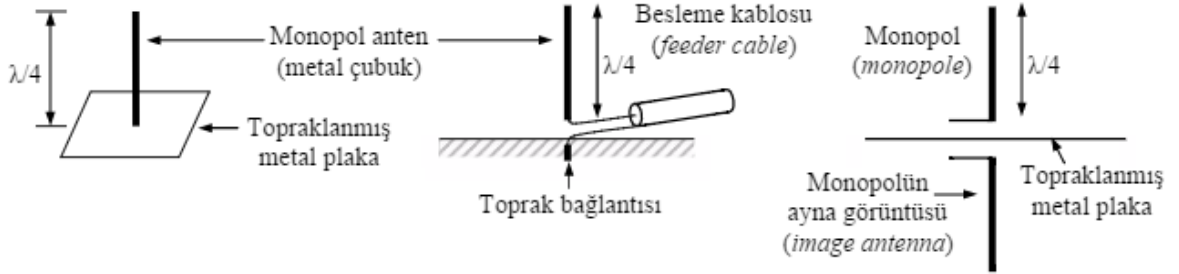
Yarım dalga dipol antenin uzunluğu $\lambda/2$ 'ye eşittir. Rezonans empedansı 73Ω 'dur.



Şekil 2. 2 Dipol anten [5]

2.2.2 Monopol Antenler

Toprak plakası adı verilen bir iletken plaka üzerine genellikle dik olarak ve iletken plaka ile elektriksel temas ettirilmeden monte edilen düz bir metal çubuk çubuktan oluşur.



Şekil 2. 3 Monopol anten [5]

Vericiden gelen sürücü sinyal uygulanır veya alıcı anten için alıcıya çıkış sinyali monopolün alt ucu ile yüzey arasına alınır. Anten beslemesinin bir ucu monopolün alt ucuna diğer kısmı da zeminin (ground plane) üzerine bağlanır. Orta kısmından beslenen iki tane birbiriyle aynı telden oluşan dipol antenlerden farklı yapıya sahiptir.

1895 yılında radyo öncülerinden Guglielmo Marconi tarafından icat edilmiştir. Marconi vericinin bir ucunu havaya yönelmiş uzun bir tele bağlandığında ve diğer ucunda toprağa bağlanmasıyla daha uzun mesafelere sinyal gönderebileceğini keşfetmiştir. Bu yüzden bazen Marconi antenler de denir.

2.2.3 Halka Antenler

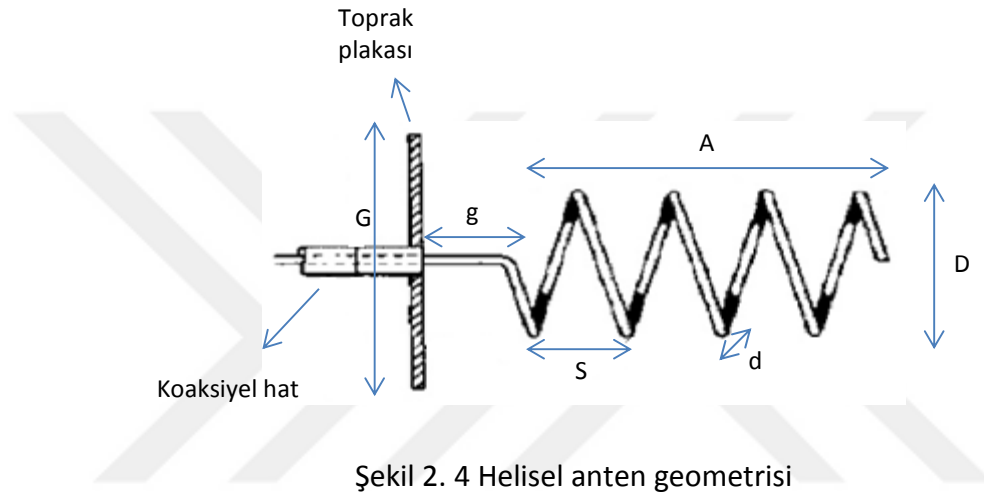
Bir diğer basit ve ucuz anten tipi de halka antenlerdir. Dairesel, eliptik, dikdörtgen, kare, üçgen gibi çeşitli formda halka anten mevcuttur. Analiz ve üretimdeki kolaylığından dolayı dairesel formdaki loop antenler daha popüler ve yaygındır. Tek başına veya dizi olarak kullanılabilir.

Genelde iki sınıfa ayrılırlar. Toplam iletken uzunluğu dalga boyundan çok küçük olan antenler küçük loop antenler, toplam iletken uzunluğu dalga boyuna göre mukayese edilebilir uzunlukta olanlar ise büyük loop antenler olarak adlandırılırlar. Küçük loop antenlerde iletken uzunluğu 0.055λ ile 0.1λ arasındadır [6]. Bu antenlerde akım dağılımı,

antenin her yerinde aynı genlikte ve fazdadır. Büyük loop antenlerin uzunluğu ise en az dalga boyunun yarısı kadardır. Akım anten boyunca aynı genlik ve fazda değildir.

2.2.4 Helisel Antenler

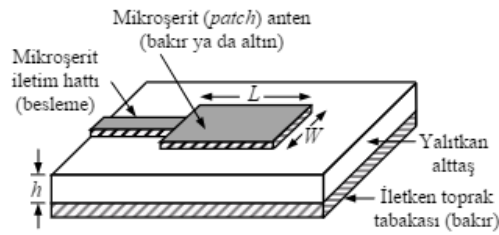
Helisel (Helix) antenler, toprak bir tabandan koaksiyel kablo ile beslenen düz bir telin düzgün bir silindir üzerine sarılarak helis teli haline getirilmiş geometriye sahiptirler. Helisel antenin üç boyutlu geometrisi ele alındığında düzgün bir doğru, bir daire ve bir silindirden oluştuğu görülmektedir. GPS uygulamalar en yaygın kullanım alanıdır.



Şekil 2. 4 Helisel anten geometrisi

2.2.5 Mikroşerit Antenler

İletken bir toprak düzlemi üzerindeki yalıtkan tabaka ve onun üzerinde bulunan ışıma alanı denilen ince bir iletken tabakadan oluşur.

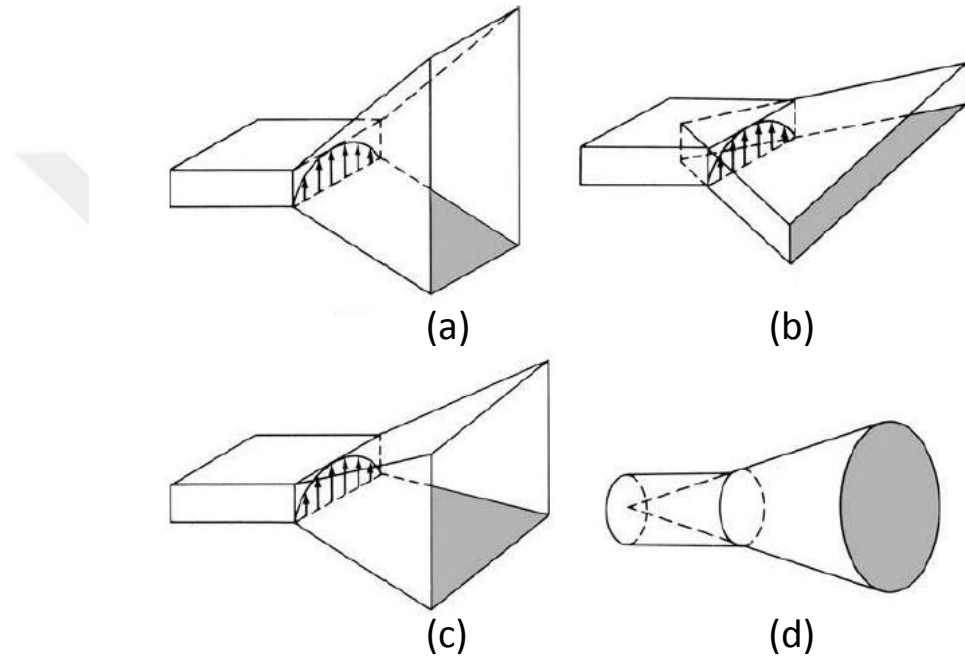


Şekil 2. 5 Mikroşerit anten yapısı

Performansının yüksek olabilmesi için yalıtkanı ilişkin dielektrik sabitinin 10' dan küçük olması istenir. Işıma alanı ideal iletken olup, bakır veya altından yapılmıştır. Kablosuz sistemler, uydu haberleşmesi, biomedikal ölçümler, uzaktan algılama sistemleri gibi kullanım alanları vardır.

2.2.6 Horn Antenler

En basit ve muhtemelen en yaygın olarak kullanılan mikrodalga antenlerden biri de horn antenlerdir. İlk olarak 1800' lü yılların sonunda açığa çıkmıştır. Reflektör ve lens antenlerin beslemesinde de kullanılır. Hem yerde hem de uzayda mikrodalga haberleşmesinde kullanılmaktadır. Bunun dışında askeriyede, radar sistemlerinde, uzay araştırma projelerinde ve sağlık alanında vücut taramalarında kullanılmaktadır. Çeşitli formlarda karşımıza çıkabilmektedir. Şekil 2. 6'da horn anten formları gösterilmiştir.

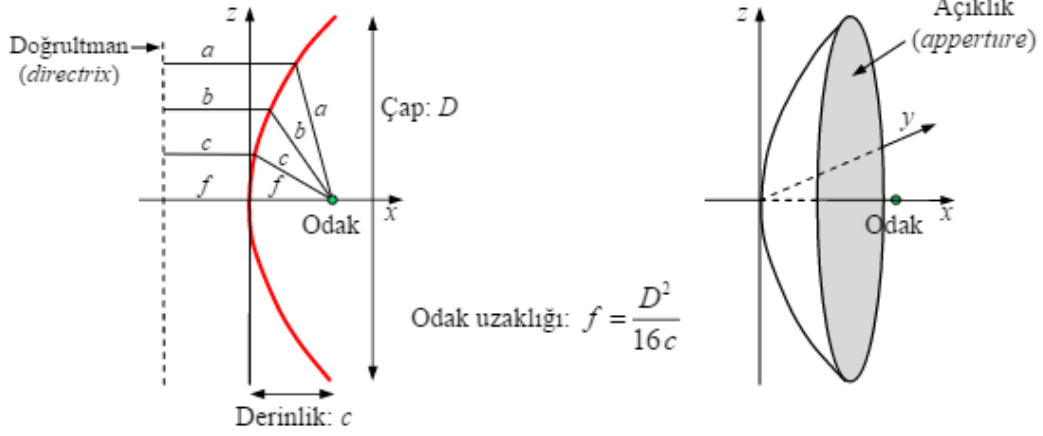


Şekil 2. 6 Horn anten konfigürasyonları a) E-düzlem b) H-düzlem c) Konik d) Piramit [6]

2.2.7 Reflektör Antenler

En yaygın olarak kullanılan türü parabolik reflektör anten olup uzay araştırmalarında, karasal mikrodalga sistemlerinde ve birçok alanda kullanılır. Parabol, bir düzlemde alınan sabit bir d doğrusu ile sabit bir F noktasından eşit uzaklıktaki noktaların geometrik yerleştirilmesidir. Bu sabit noktaya odak (focus), doğrultman (directrix) denir.

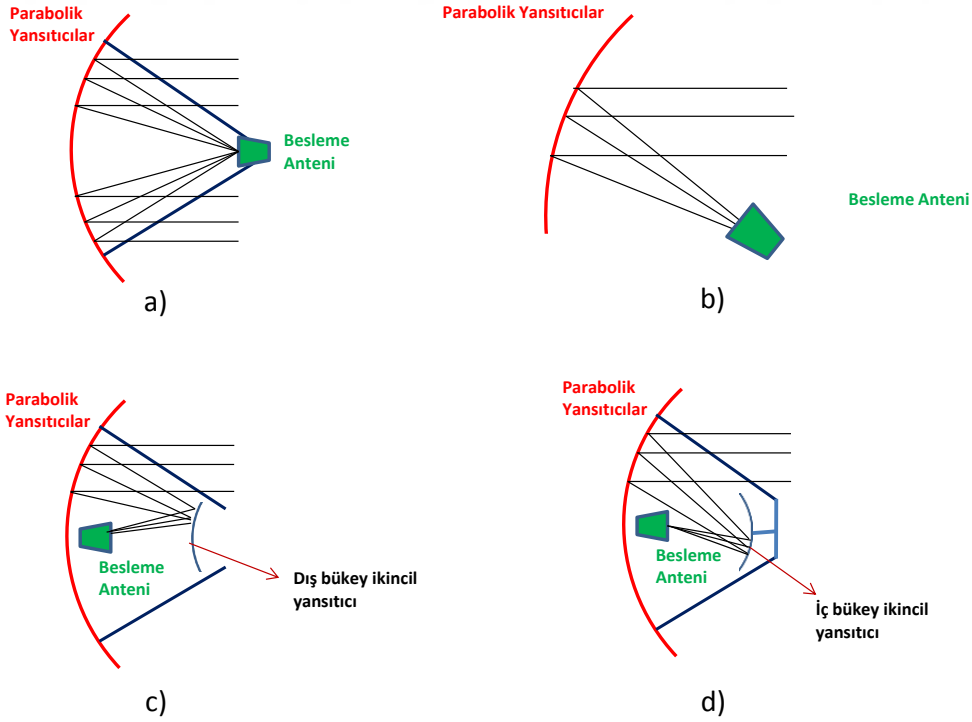
Parabolik yansıtıcı yüzey bir parabolün ekseni etrafında döndürülmesi ile elde edilen yüzeydir; buna paraboloid denir. Paraboloidin x eksenine dik kesiti daire şeklindedir. Buna anten açıklığı denir. Şekil 2. 7' de parabol ve paraboloid verilmiştir.



Şekil 2. 7 Parabol ve paraboloid

Parabolik reflektörlü anten beslenme yöntemleri şu şekildedir:

- Odaktan ya da önden besleme (axial or front feed)
- Odak dışı ya da ofset besleme (off axis or offset feed)
- Cassegrain besleme (Cassegrain feed)
- Gregorian besleme (Gregorian feed)



Şekil 2. 8 Parabolik reflektör anten beslenme biçimleri a) Odaktan besleme b) Odak dışı besleme c) Cassagrain besleme d) Gregorian besleme

PARABOLİK REFLEKTÖR ANTENLER VE HORN ANTENLER

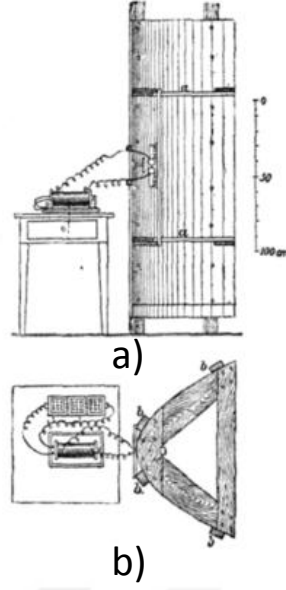
Parabolik reflektör antenler, uydu haberleşmesi ve radar uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Bu bölümde reflektör antenler ve reflektör antenlerin beslemelerinde kullanılan horn antenler detaylı bir şekilde incelenecektir.

3.1 Parabolik Reflektör Antenler

Parabolik anten, radyo, televizyon, uydu haberleşmesi ve radarlar için kullanılan yüksek kazançlı reflektör antendir. Elektromagnetik spektrumun yüksek frekans bölgelerinde çalışabilirler.

3.1.1 Parabolik Reflektör Antenlerin Tarihçesi

İlk parabolik anten Heinrich Hertz tarafından 1888 yılında üretilmiştir. Odak uzaklığı 0.12 metre, genişliği 1.2 metre, açıklığı 2 metre ve çalışma frekansı 450 MHz' dir. Yansıtıcı olarak çinko malzeme kullanılmıştı ve tahta çerçeveyle desteklenmişti [7]. Besleme için dipol anten kullanmıştı. Ancak 2. Dünya Savaşı'ndan sonra mikrodalga frekansları kullanılmaya başlayana kadar yaygın bir şekilde kullanılmamaktaydı. Bunun sebebi radyonun ilk evrelerinde düşük frekansların kullanılması ve bu frekansların parabolik reflektör anten için uygun çalışma frekansı olmamasıdır.



Şekil 3. 1 Hertz tarafından bulunan ilk parabolik anten, 1888 a) Yandan görünüm b) Üstten görünüm [7]

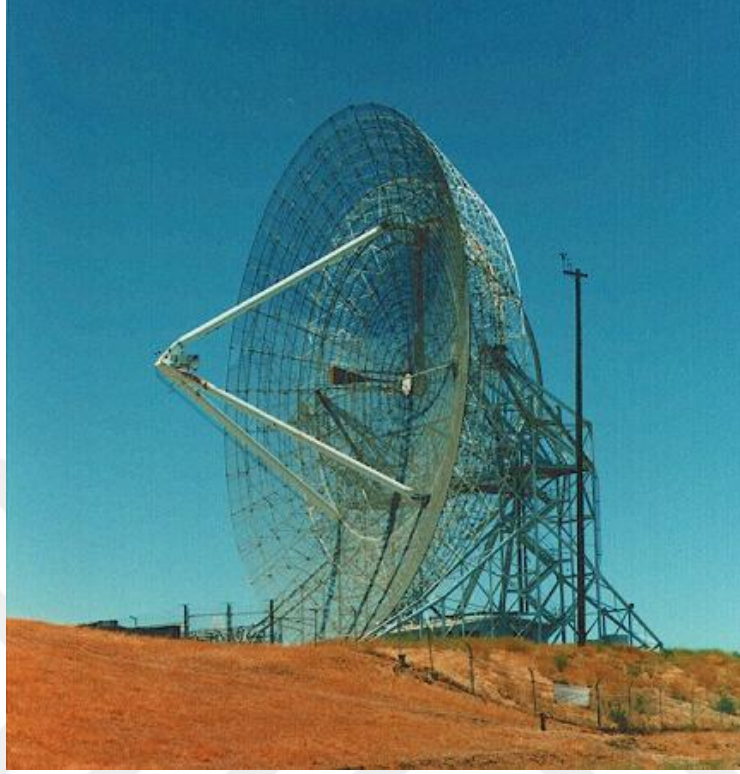
Radyonun öncülerinden Guglielmo Marconi, 1930 yıllarda UHF transmisyon araştırmalarında parabolik reflektörü kullanmaya başlamıştır. İlk geniş parabolik reflektör anten, 1937 yılında Grote Reber tarafından üretilmiştir. Üretilen bu anten 9 metre çapa sahiptir [8].

Özellikle 2. Dünya Savaşı döneminde, radar teknolojisindeki gelişmeler, parabolik reflektör anten araştırmalarına büyük bir ivme kazandırmıştır [8]. Savaş sonrası, çok büyük reflektör antenler radyo teleskop olarak üretilmiştir. 1962 yılında West Virginia’da 100 metrelik çapa sahip bir parabolik anten Green Bank Radyo Teleskopu adıyla üretilmiştir.

1960’lı yıllarda mikrodalga haberleşme ağlarında, kıtalar arası telefon görüşmeleri ve televizyon yayınlarında, reflektör antenler yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. 1962 yılında ilk olarak İngiltere’de uydu haberleşmesinde kullanılmak üzere reflektör anten üretilmiştir. Bu antenin üretilme amacı, Telstar uydusu ile haberleşmeyi sağlamaktı. Cassegrain anten 1963 yılında Japonya’da NTT, KDDI ve Mitsubishi Electric tarafından üretilmiştir. 1970’lerde bilgisayar üzerinde geliştirilen uygulamalar ile çok farklı formlarda reflektör antenler üretilmiştir.

3.1.2 Parabolik Reflektör Antenlerin Kullanım Alanları

Reflektör antenlerin geniş bir kullanım alanı vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:



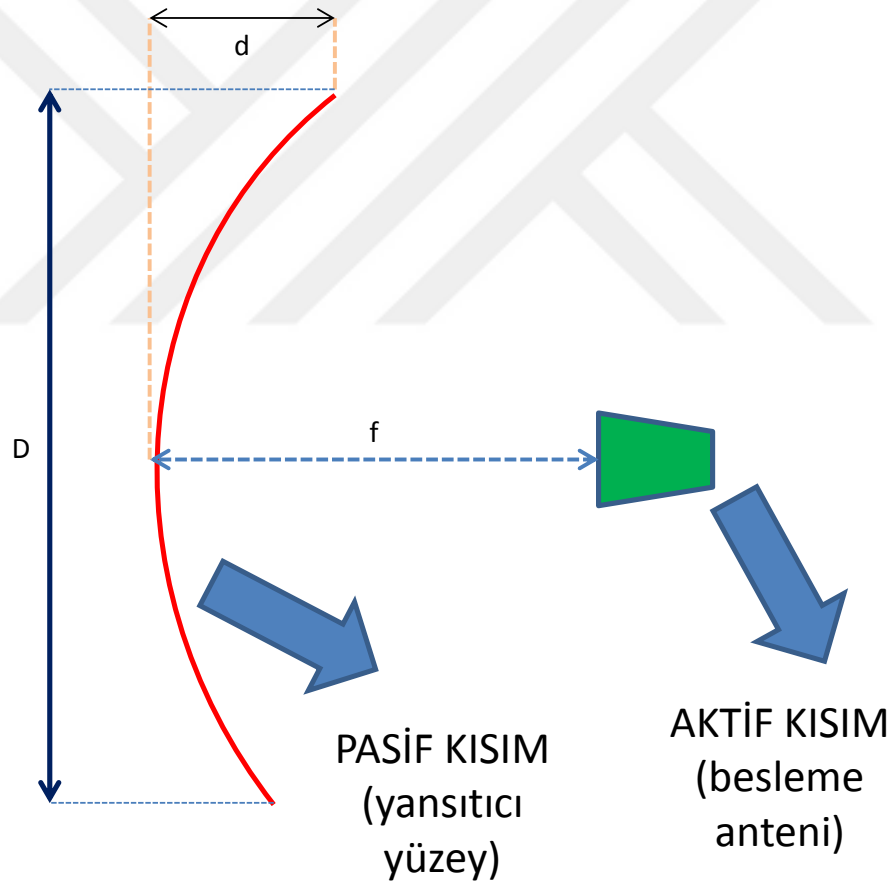
Şekil 3. 2 Stanford üniversitesindeki parabolik reflektör anten

- Karasal mikrodalga sistemleri
- Uydu sistemleri
- Uzay uygulamaları
- Radar uygulamaları
- Baz istasyonlarının haberleşmesi

3.1.3 Reflektör Antenlerin Yapısı

Parabolik reflektör antenler, aktif ve pasif kısım olmak üzere iki kısımdan oluşur. Antenin pasif kısmı yansıtıcı olarak kullanılan yüzeydir. Yansıtıcı yüzey herhangi bir kaynak içermez, üzerine gelen EM dalgaları yansıtmakla görevlidir. Bu yansıma optik kurallarına göre gerçekleşmektedir. Pasif kısım için genellikle metal levha kullanılır. EM dalgaları iyi yansıtmak için seçilen malzeme türü önemlidir. Seçilen malzemenin,

iletkenliği yüksek ve pürüzsüz olması tercih sebebidir. Levha dışında sahip olunan koşullar doğrultusunda ızgara biçiminde de olabilir. Reflektör antenin birkaç derece yer değiştirmesi haberleşmeyi olumsuz etkileyebilir hatta imkansız hale getirebilir. Bu nedenle büyük çaplı reflektör antenlerin rüzgar alan yerlerde pasif kısımda levha yerine ızgara tercih edilir. EM dalgalar dalga kılavuzu içerisinde belirli bir kesim frekansı değerine sahiptir. Eğer çalışılan frekans bu kesim frekansının altında bir değerde ise, EM dalgalar kılavuz içinde hareket edemeden sönümlenirler. Iızgara tipi reflektör kullanıldığında, bu bilgiden yola çıkılarak, ızgaralar arası mesafe hesaplanır. Teorik olarak, çalışma frekansı, ızgara aralıklarına göre belirlenen kesim frekansından düşük olduğu sürece, ızgaralar arası boşluklar elektromanyetik dalgalar için ayna görevi görür. Pratikte ise sağlıklı bir iletişim için ızgara aralıkları $\lambda/10$ 'dan küçük seçilmelidir.



Şekil 3. 3 Parabolik reflektör antenin yapısı

Parabolik reflektör antenin beslemesi, reflektör antenin aktif kısmını oluşturur. Besleme anteni, reflektör antenin kullanım alanına göre farklılık göstermektedir. Eğer amaç yan lobları az, kazancı yüksek bir reflektör anten elde etmek ise besleme olarak seçilecek antenin yönlendiricilik kazancınının yüksek olması gerekmektedir. Besleme için en sık tercih edilen anten horn antendir. Besleme anteninden en iyi verimi elde edebilmek için, besleme antenin ışınma alanıyla, yansıtıcı yüzeyin alanı yeterince örtüşmelidir. Bu nedenle tasarım yaparken besleme anteninin yansıtıcı yüzeye olan uzaklığı ve parabolik yansıtıcı yüzeye göre konumu dikkate alınmalıdır. Besleme anteni, parabolik yansıtıcı yüzeyin odak noktasında olabileceği gibi, çok daha farklı konumlarda da olabilmektedir.

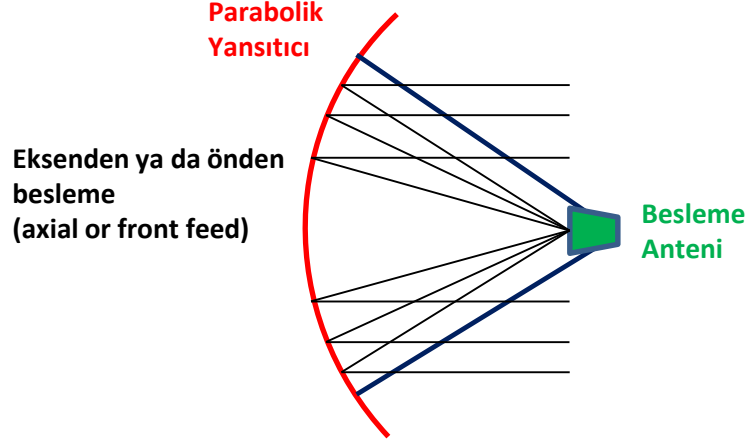
3.1.4 Parabolik Reflektör Anten Çeşitleri

Parabolik reflektör antenler kendi içinde besleme anteninin konumuna göre dörde ayrılır.

- Odaktan beslemeli reflektör antenler
- Odak dışı beslemeli reflektör antenler
- Cassagrain reflektör antenler
- Gregorian reflektör antenler

3.1.4.1 Odaktan Beslemeli Parabolik Reflektör Antenler

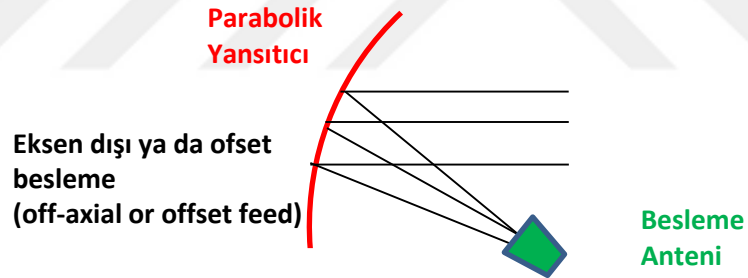
Odaktan beslemeli parabolik reflektör antenler, eksen simetrik parabolik reflektör anten olarak da bilinmektedir. Bu tip antenlerde besleme anteni odak noktasındadır ve pasif kısım olan yansıtıcı yüzeyin derinliği fazladır ve küreseldir. Önden beslemeli reflektör antenler de denir. Şekil 3.4' de odaktan beslenen reflektör anten ve ışınları gösterilmektedir.



Şekil 3. 4 Odaktan beslemeli parabolik anten yapısı

3.1.4.2 Odakdışı Beslemeli Parabolik Reflektör Antenler

Odakdışı beslemeli parabolik reflektör antenlerde, odakta beslenen parabolik reflektör antenlerin aksine, besleme anteni odak noktasında değildir. Genel olarak odak noktasının 23-24 derece uzağındadır. Yansıtıcı yüzeyin derinliği azdır ve eliptik bir şekil alır.

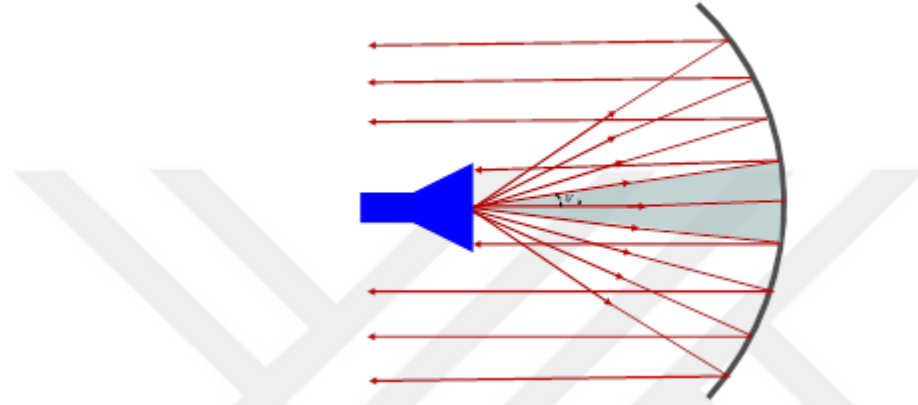


Şekil 3. 5 Odakdışı beslemeli parabolik anten yapısı

Odaktan beslemeli ile odakdışı beslemeli parabolik reflektör antenlerin farklı karakteristik özellikleri vardır. Bu nedenle kullanım alanları değişiklik gösterebilmektedir. Odaktan beslemeli antenler gökyüzüne daha geniş açıyla bakar ve yansıtıcı yüzey daha yuvarlak ve merkez bombesi daha fazladır. Odakdışı beslemeli antenler ise ufuk açısına daha fazla bakarlar. Yansıtıcı yüzey, elips şeklinde olmasından dolayı daha az bombelidir. Bu özelliklerden dolayı aynı işlevi görmek üzere tasarlanan odakdışı beslemeli antenin boyutu, odakta beslemeli antene göre daha küçüktür.

Türkiye’de evlerde televizyon yayını için kullanılan parabolik reflektör antenler, odakdışı beslemeli parabolik reflektör antenlerdir.

Odaktan beslemeli reflektör antenlerde, besleme antenin konumu sebebiyle gelen radyo dalga huzmesinin yol üzerinde bulunmaktadır ve gelen dalgayı kısmen engellemektedir. Bu antenin açıklık verimini ve kazancını olumsuz olarak etkilemektedir. Parabolik anten odak dışından beslenerek bu tip sorunların üstesinden gelinmektedir.



Şekil 3. 6 Odaktan beslemeli reflektör antenlerde besleme anteni bloklama etkisi

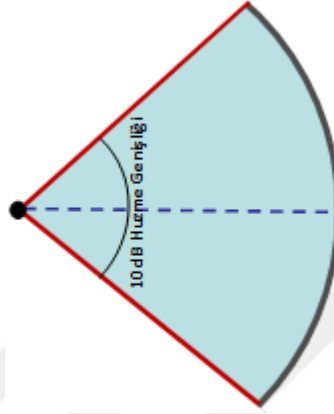
Odakdışı beslemeli anten dizaynı Ku bandı ev uydu televizyon antenleri gibi, küçük boyutlu parabolik reflektör antenlerde geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bir diğer uygulama alanı da doğrudan yayın yapan ve televizyon sinyallerini yer yüzündeki evlere ulaştırılmasını sağlayan antenlerdir. Aynı zamanda radar sistemlerinde de geniş bir kullanım alanı mevcuttur.

Odak dışı beslemeli reflektör antenlerin tasarımı, odaktan beslemeli antenlere göre daha zordur. 1970’ li yıllara kadar bu tasarım zorlukları sebebiyle odak dışı beslemeli antenlerin kullanımı radar uygulamaları ile sınırlıydı. Ancak 1970’ li yıllardan sonra bilgisayar tasarım programlarının gelişmesiyle bu sınırlama ortadan kalkmıştır ve odak dışı beslemeli antenler geniş bir kullanım alanına kavuşmuştur.

Odak dışı beslemek duran dalga oranı (DDO)’nı azaltır. Daha büyük f/D oranının kullanımını sağlamaktadır. Bunların dışında bastırılmış yan lob, besleme ile anten arasında yüksek izolasyon gibi avantajlara da sahiptir. Ancak odak dışı beslemek, eğer lineer polarizasyonlu bir besleme anteni ile besleniyorsa, antenin ışımada çapraz

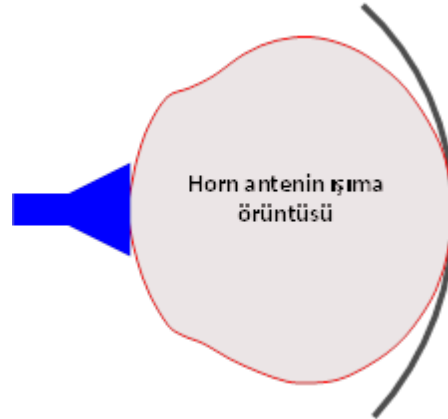
polarizasyona sebep olmaktadır. Yüksek çapraz polarizasyon ana lobdaki verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Eğer besleme anteni dairesel polarizasyonlu ise çapraz polarizasyonu azaltır.

Parabolik reflektör antenlerde tasarım yapılırken, maksimum verim için besleme antenin ışınması ile reflektör yüzeyin örtüşmesi gerekmektedir.



Şekil 3. 7 Uniform beslemeli parabolik reflektör anten

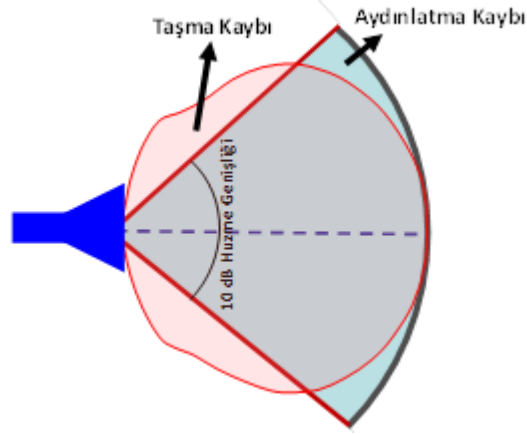
Uniform beslemeli anten besleme anteni olarak kullanıldığında yansıtıcı yüzey üzerine yapılan ışınma Şekil 3. 7' de gösterilmiştir. Şekil 3. 7' deki yansınma şekline yaklaşıldıkça verim artmaktadır. Şekil 3.8' de tipik horn anten ışınması gösterilmiştir.



Şekil 3. 8 Tipik horn anten ışınması

Şekil 3. 9'da ise ideal senaryo ile tipik horn antenin yansınması kıyaslanmıştır. Kırmızı ile gösterilen bölge taşınma kaybı, mavi ile gösterilen bölge aydınlatma kaybını göstermektedir. Eğer uniform dağılımlı ışınma ile yansıtıcı yüzeyin tüm bölgelerine ulaşılmazsa yansıtıcı yüzeyin aydınlatılmayan bölgeleri olacaktır ve bu bölgeden

faýdalanılamayacaktır. Bunun yanı sıra, uniform dağılımlı ışıma ile ulaşılan noktaların dışına taşılırsa verim olumsuz yönde etkilenmektedir.



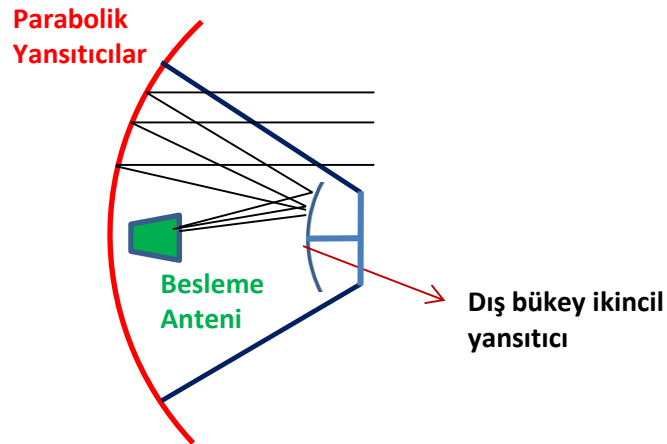
Şekil 3. 9 İdeal yansıma ile tipik horn anten yansımasının karşılaştırılması

Şekil 3. 9'da gösterilen kırmızı bölgenin genişlemesi yan lobların oluşmasına, mavi bölgenin genişlemesi ana lobun zayıflamasına sebep olmaktadır.

3.1.4.3 Cassegrain Parabolik Reflektör Antenler

Uydu takibi ve haberleşmesinde performansı arttırmak amacıyla iki reflektörlü sistem tasarımları ortaya atılmıştır. Bu çalışmalar doğrultusunda Cassegrain tipi antenler tasarlanmıştır. Bu yapı özellikle optik teleskopların dizaynında kullanılmıştır [9].

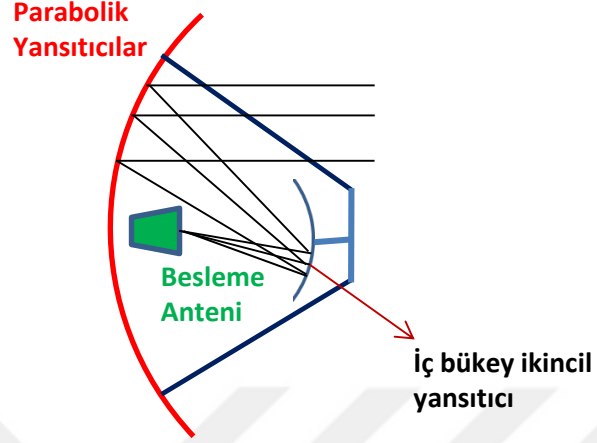
Bu anten tipinde 2 adet yansıtıcı yüzey mevcuttur. Besleme anteni birinci yansıtıcı yüzey tarafındadır. İkinci yansıtıcı yüzey dış bükeydir [10].



Şekil 3. 10 Cassegrain parabolik anten yapısı

3.1.4.4 Gregorian Parabolik Reflektör Antenler

Gregorian antenler de yapı olarak cassegrain antenlere çok benzemektedir. Yapısal olarak farkı ikincil yansıtıcı yüzeyin dış bükey değil de iç bükey olmasıdır.



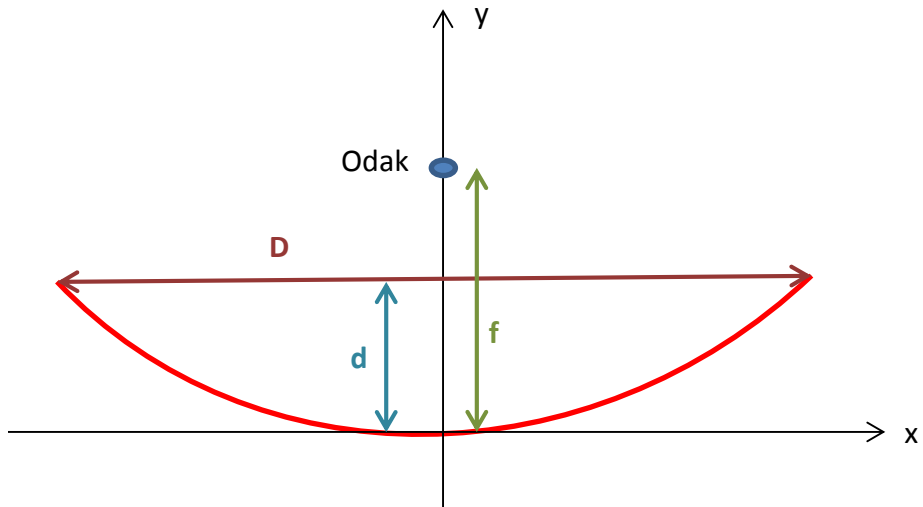
Şekil 3. 11 Gregorian parabolik anten yapısı

3.1.5 Parabolik Reflektör Anten Parametreleri ve Kazanç Hesabı

Parabolik reflektör anten tasarımı için 3 önemli parametre aşağıdaki gibidir:

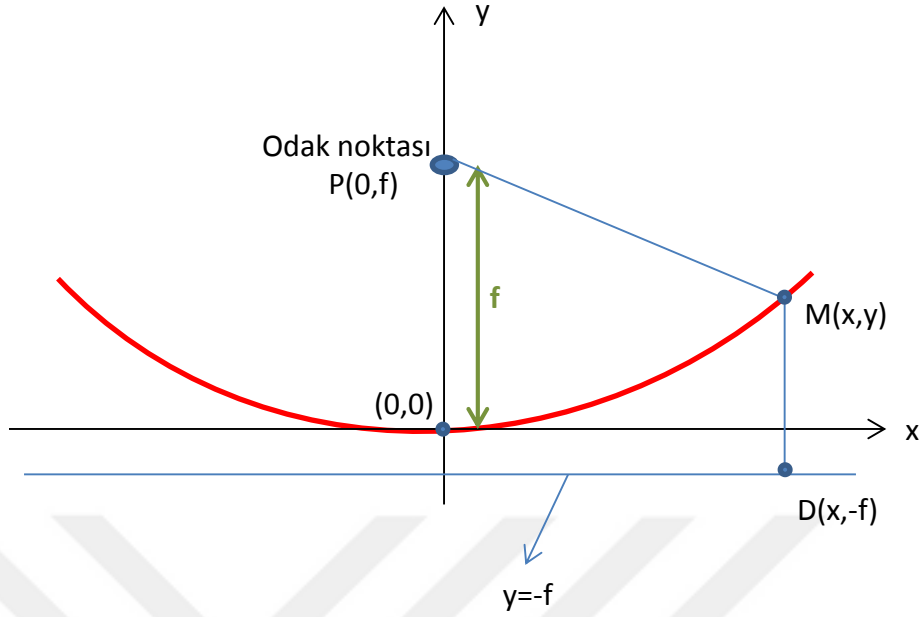
- Odak uzaklığı (f)
- Çap uzunluğu (D)
- Derinlik (d)

Bu 3 parametre Şekil 3. 12' de gösterilmiştir.



Şekil 3. 12 Parabolik reflektör anten parametreleri

Bu parametrelerin birbirleri olan ilişkisi Şekil 3.13' de gösterilmiştir.



Şekil 3. 13 Parabolik reflektör anten parametreleri arasındaki geometrik ilişki

Parabol üzerinde, odak noktasına ve $y=-f$ doğrusuna eşit uzaklıktaki $M(x,y)$ noktası için analitik geometrideki iki nokta arasındaki uzaklık formülünü kullanarak, iki değeri birbirine eşitlersek (3.1) numaralı eşitlik elde edilir.

$$\sqrt{(x-0)^2 + (y-f)^2} = \sqrt{(x-x)^2 + (y-(-f))^2} \quad (3.1)$$

Kare açılımlarını yaptığımızda (3.2) numaralı eşitlik elde edilir.

$$x^2 + y^2 + f^2 - 2yf = f^2 + 2yf \quad (3.2)$$

(3.2) numaralı eşitlikte sadeleştirme işlemlerini yaparsak

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (3.3)$$

olarak elde ederiz.

$(D/2,d)$ ve $(-D/2,d)$ noktaları parabol üzerinde noktalardır. Buna göre (3.3) numaralı eşitlikte yerine konularak (3.4) numaralı eşitlik elde edilir.

$$f = \frac{D^2}{16d} \quad (3.4)$$

Bu ifadeden görüldüğü üzere parabolik antenin odak uzaklığı, çapının ve derinliğinin bir fonksiyonudur.

G_{dBi} , parabolik reflektör anten dBi cinsinden kazancı, A, parabolik reflektör antenin metrekare cinsinden açıklık yüzeyi alanı, e, anten verimliliği olmak üzere kazanç ve yüzey alanı ifadeleri (3.5) ve (3.6) numaralı eşitliklerde gösterilmiştir. (3.5) numaralı eşitlikte r reflektörün yarıçapını, (3.6) numaralı eşitlikte yer alan λ ise dalga boyunu ifade etmektedir.

$$A = \pi r^2 \quad (3.5)$$

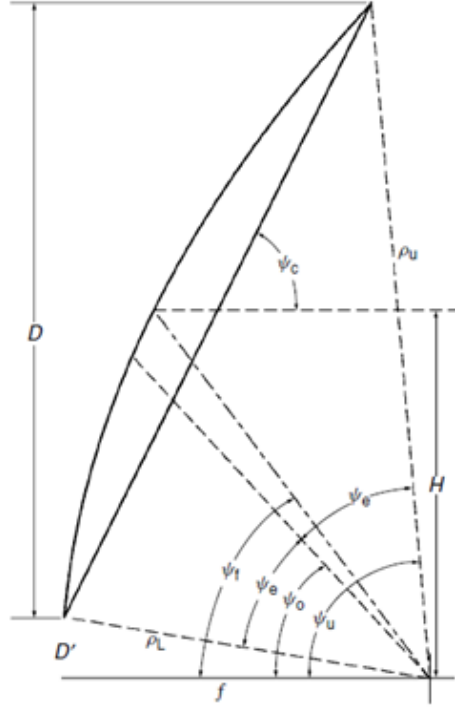
$$G_{dBi} = 10 \log_{10} \left[e \frac{4\pi}{\lambda^2} A \right] \quad (3.6)$$

(3.6) numaralı eşitlikte anten açıklığı yerine, πr^2 yazılması ile (3.7) numaralı eşitlik elde edilir. Bu eşitlikte D, reflektör çapını ifade eder.

$$G_{dBi} = 10 \log_{10} \left[e \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte de görüldüğü üzere parabolik reflektör antenin kazancı, çap uzunluğu ve çalışma frekansı ile doğru orantılıdır.

Besleme antenini odak dışına konumlandırmak, blokaj kaybı, yan loblar sebebiyle oluşan kırım ve çapraz polarizasyon gibi pek çok soruna çözüm bulmaktadır. Şekil 3.14' de odak dışı beslenen reflektör antenin geometrisi gösterilmektedir. Yukarıda bahsedilen parametreler odaktan besleme için tamamen geçerli iken odak-dışı beslenen reflektör anten için bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir.



Şekil 3. 14 Odak-dışı beslenen reflektör anten geometrisi

Yansıtıcı yüzey paraboloid yapıdadır ve küresel olarak gelen dalga yüzeye çarpıp yansdıktan sonra düzlem dalga olarak iletir.

ψ_0 parabolanın eksenini ile reflektör konisinin merkezi arasındaki açı, ψ_e ise paraboloidin alt ve üst sınırları arasındaki açı, D paraboloidin çapı, f odak uzaklığı ve H yükseklik olmak üzere

$$D' = H - D/2 \quad (3.8)$$

olarak ifade edilebilir.

$$\psi_0 = \tan^{-1} \frac{16fH}{16f^2 + D^2 - 4H^2} = \tan^{-1} \frac{2f(D + 2D')}{4f^2 - D'(D + D')} \quad (3.9)$$

$$\psi_e = \tan^{-1} \frac{8fD}{16f^2 - D^2 + 4H^2} = \tan^{-1} \frac{2fD}{4f^2 + D'(D + D')} \quad (3.10)$$

(3.8) no' lu denklemden yola çıkılarak 3.9 ve 3.10 no' lu denklemler elde edilmektedir.

ψ_c reflektör yüzeyinin bir ucundan diğer ucuna olan mesafesinin, z eksenini ile yaptığı açı olmak üzere (3.11) no' lu denklem elde edilir.

$$\psi_c = \tan^{-1} \frac{2f}{H} = \tan^{-1} \frac{4f}{2D' + D} \quad (3.11)$$

Paraboloidin bir ucundan diğer ucuna olan mesafe L olup (3.12) ve (3.13) no' lu eşitlikte verilen a_e ve b_e sırasıyla L nin x ve y eksenindeki bileşenleridir.

$$a_e = \frac{D}{2 \sin \psi_c} \quad (3.12)$$

$$b_e = \frac{D}{2} \quad (3.13)$$

Offset açısına bağlı olarak f/D oranı 3.14 no lu denklemde gösterilmiştir.

$$\frac{f}{D} = \frac{\cos \psi_e + \cos \psi_0}{4 \sin \psi_e} \quad (3.14)$$

$L = 2a_e$ olmak üzere, reflektörün derinliğinin x ve y eksenindeki konumuna göre (3.15) no' lu denklemde verilmiştir.

$$d(x, y) = \frac{2fL^3}{D(L^2 - D^2)} \left[\sqrt{1 + \frac{x D^2 \sqrt{L^2 - D^2}}{fL^3} + \frac{D^2(L^2 - D^2)}{4f^2L^4} \left(\frac{D^2}{4} - y^2 \right)} - 1 - \frac{x D^2 \sqrt{L^2 - D^2}}{2fL^3} \right] \quad (3.15)$$

(3.15) no' lu denklemde x yerine $x_b = -\frac{D^2 \sqrt{L^2 - D^2}}{16fL}$ yerleştirildiğinde reflektörün maksimum derinliği d_{max} (3.16) no' lu denklemdeki gibi elde edilmektedir.

$$d_{max} = \frac{D^3}{16fL} \quad (3.16)$$

D , L ve d_{max} için elde ettiğimiz denklemlerden yola çıkarak idak uzaklığı ve offsetin merkez yüksekliği (3.17) ve (3.18) no' lu denklemlerde gösterilmektedir.

$$f = \frac{D^3}{16Ld_{max}} \quad (3.17)$$

$$H = 2f \sqrt{\frac{L^2}{D^2} - 1} \quad (3.18)$$

3.2 Horn Antenler

En temel mikrodalga antenlerinden birisidir. En basit anten tiplerinden biri olan dikdörtgen horn anten Şekil 3. 15' de gösterilmiştir.



Şekil 3. 15 Horn anten

3.2.1 Horn Antenlerin Tarihçesi

İlk olarak J. Chunder Bose tarafından 1897 yılında Londra Royal Enstitüsünde tanıtıldı. Çalışma frekansı 60 GHz' dir. Guglielmo Marconi ilk kıtalararası kablosuz transmisyonu başardığı zaman horn antenlere olan ilgi azalmaya başladı. O zaman, uzun mesafe transmisyonlarında daha alçak frekansların uygun olduğu ve horn antenin bu bakımdan yetersiz kaldığı anlaşıldı. Bu ilgisizlik, 2. Dünya Savaşı döneminde araştırma ve geliştirmelerin mikrodalga frekansları üzerinde tekrar yoğunlaşmasına kadar devam etti. 2. Dünya Savaşı sırasında mikrodalga teorisi araştırmacılar arasında popüler hale geldi ve hakkında daha çok makale yazılmaya başlandı. Horn anten üzerine yazılan ilk gerçek makale olan 'Theory of the Electromagnetic Horn' olup, Barrowve ve Chu tarafından 1939' da yazılmıştır [11].



Şekil 3. 16 Harold Ewen'ın horn anteni

1951 yılında çekilmiş olan Harold Ewen ve onun tasarladığı horn anteni Şekil 3. 16' da gösterilmiştir. 1962 yılında Kay tarafından oluklu horn anten icat edildi. Bu anten radyo teleskop ve uydu antenleri gibi mikrodalga antenlerde besleme anteni olarak yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandı.

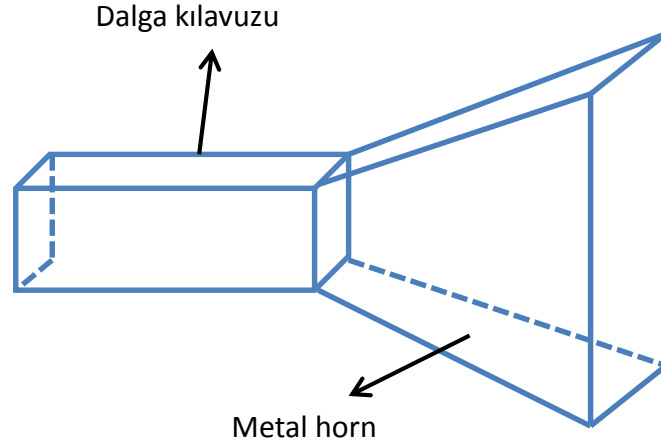
3.2.2 Horn Antenlerin Kullanım Alanları

Horn antenler en temel mikrodalga antenlerindedir. Hem yerde hem de uzayda mikrodalga haberleşmelerinde kullanılmaktadır. Askeriyede, radar sistemlerinde düşman uçaklarını yakalamada, uçaklarda ve uzay araçlarında, uzay araştırma projelerinde, sağlık alanında vücut taramasında ve astronomide kullanılmaktadır.

3.2.3 Horn Antenlerin Yapısı

EM dalgaların uzaya yayılması ve uydular tarafından gönderilen dalganın alınabilmesi için bir ucu açık dalga kılavuzları kullanılmaktadır. Hava ile dalga kılavuzunun manyetik geçirgenlik ve dielektrik katsayısının farklı olması sebebiyle istenmeyen yansımalar

oluşmaktadır. Bunu engellemek adına yapısal olarak çıkış kısmı mekanik olarak genişletilir.



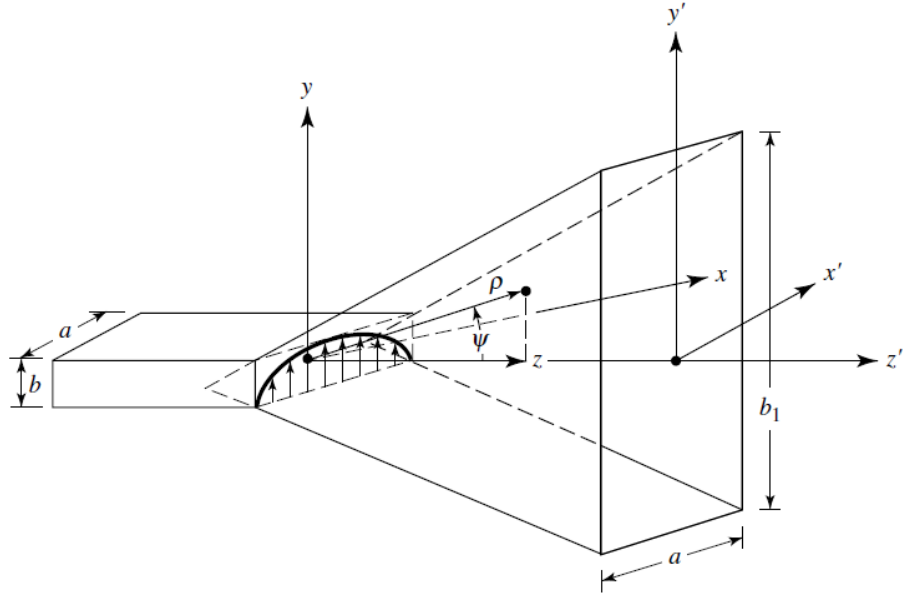
Şekil 3. 17 Horn antenin yapısı

Horn antenler, geometrik yapılarından dolayı iyi bir yönlendiricilik sağlar. Boyutlarının artmasıyla yönlendiriciliği ve dolayısıyla kazancı artırır. Düşük kayıp nedeniyle horn antenlerin yönlendiriciliği kazançla neredeyse eş değerdir.

3.2.4 Horn Anten Çeşitleri

3.2.4.1 E Düzlem Horn Antenler

E-düzlem horn antenlerde, dalga kılavuzunun dar olan kısmı genişler ve yataydaki boyutu sabit kalır. Şekil 3. 18' de E düzlem horn anten yapısı yer almaktadır.



Şekil 3. 18 E düzlem horn anten [12]

E düzlem horn antenin açıklık alanı denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\vec{E}(x, y) = E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{A}\right) e^{-j8\pi s \frac{y^2}{B^2}} \vec{a}_y \quad (3.19)$$

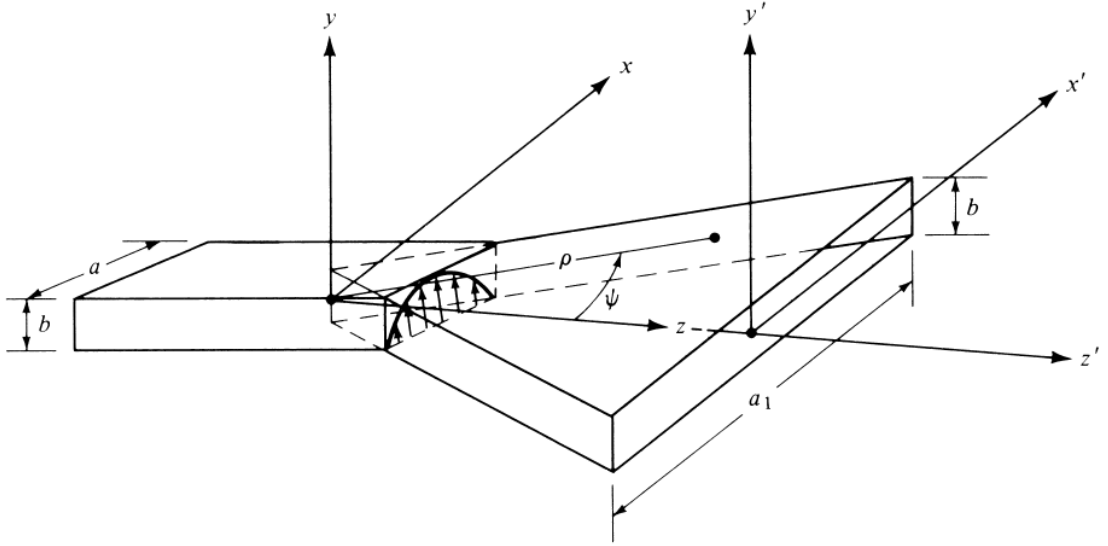
Denklemden görüldüğü üzere elektrik alan faz hatasından etkilenmektedir. s değeri faz sapmasını, A ve B açıklık boyutlarını y ekseninde göstermektedir.

$$s = \frac{B^2}{8\lambda\rho_E} \quad (3.20)$$

(3.20) numaralı eşitlikde ρ_E akım yoğunluğunu göstermektedir.

3.2.4.2 H Düzlem Horn Antenler

Bu tip horn antenlerde ise dalga kılavuzunun geniş olan kenarı genişler ve dikey olan kenarın boyutu sabit kalır. Şekil 3. 19' da H düzlem horn anten geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 3. 19 H düzlem horn anten [12]

Açıklık alan denklemi (3.21) numaralı denklemde ifade edilmiştir.

$$\vec{E}(x, y) = E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{A}\right) e^{-j8\pi t \frac{x^2}{A^2}} \cdot \vec{a}_y \quad (3.21)$$

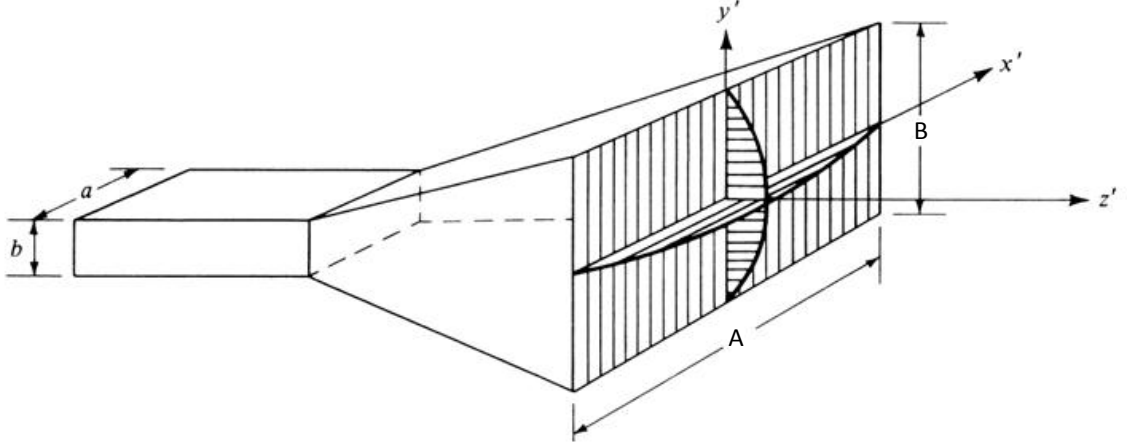
Yukardaki denklemde t faz farkını göstermektedir. Faz farkını hesaplamada aşağıda verilen (3.22) numaralı eşitlik kullanılmaktadır.

$$t = \frac{A^2}{8\lambda\rho_H} \quad (3.22)$$

Bu eşitlikde A açıklık boyutunu, ρ_H akım yoğunluğunu, λ ise çalışılan dalga boyunu ifade etmektedir.

3.2.4.3 Piramit Horn Antenler

Piramit horn antenlerde E-düzlem ve H-düzlem horn antenlerin aksine dalga kılavuzunun her iki boyutu da genişlemektedir. Şekil 3. 20' de piramit horn anten verilmiştir. Açıklıkdaki alan denklemi aşağıdaki (3.12) numaralı eşitlik ile gösterilmektedir.



Şekil 3. 20 Piramit horn anten

$$\vec{E}(x, y) = E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{A}\right) e^{-j8\pi s \frac{y^2}{B^2}} e^{-j8\pi t \frac{x^2}{A^2}} \vec{a}_y \quad (3.23)$$

(3.23) numaralı denklemden de anlaşılacağı üzere açıklıkdaki elektrik alan her iki alandaki faz hatasından etkilenmektedir. Piramit tipi horn antenlerde besleme uçlarının dalga kılavuzunun açık uca olan mesafesi L 'nin küçük kenarlar a, b ve büyük kenarlar A, B nin aşağıdaki geometrik koşulları sağlaması gerekmektedir.

$$\rho_H \left(1 - \frac{a}{A}\right) = \rho_E \left(1 - \frac{b}{B}\right) = L \quad (3.24)$$

Antenin yönlendiriciliği E ve H düzlemlerinin yönlendiriciliğinin kombinasyonu olarak elde edilmektedir. Matematiksel olarak (3.25) numaralı eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$D_p = \frac{\pi}{32} \left(\frac{\lambda}{A} D_E\right) \left(\frac{\lambda}{B} D_H\right) \quad (3.25)$$

Bu denklemde D_E ve D_H , sırasıyla E düzlem ve H düzlem yönlendiriciliğini, D_p ise piramit hornun yönlendiriciliğini ifade etmektedir. Kazanç hesaplaması yapılırken standart bir piramit horn antende, (3.26) ve (3.27) numaralı eşitlikler kullanılarak tasarım yapılmaktadır.

$$A = \sqrt{3\lambda \rho_H} \quad (3.26)$$

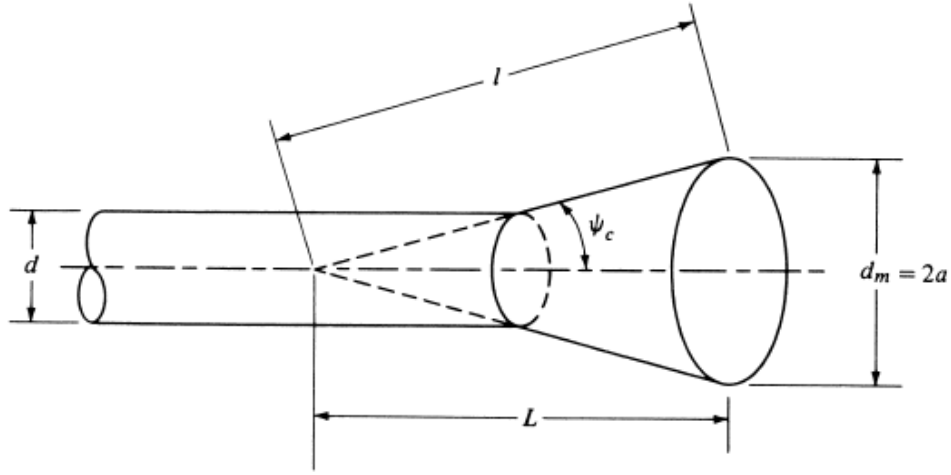
$$B = \sqrt{3\lambda \rho_E} \quad (3.27)$$

Buradan yola çıkılarak kazanç ifadesi (3.28) numaralı eşitlik ile ifade edilir.

$$G = \varepsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} A_p = \frac{1}{2} \frac{4\pi}{\lambda^2} AB \quad (3.28)$$

3.2.4.4 Konik Horn Antenler

Konik horn antenler pratik olarak kullanılan bir diğer horn anten tipidir. Konik horn anten geometrisi Şekil 3.21' de verilmiştir. E ve H düzlem horn antenler dikdörtgen bir dalga kılavuzu ile beslenirken konik horn antenlerde genellikle besleme olarak dairesel dalga kılavuzları kullanılmaktadır.



Şekil 3. 21 Konik horn anten geometrisi

ε_{ap} açıklığın etkin değeri ve C açıklığın çevresi olmak üzere yönlendiricilik kazancı hesaplanırken (3.29) numaralı eşitlik ile hesaplanabilmektedir.

$$D_c(dB) = 10 \log_{10} \left[\varepsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi a^2) \right] \quad (3.29)$$

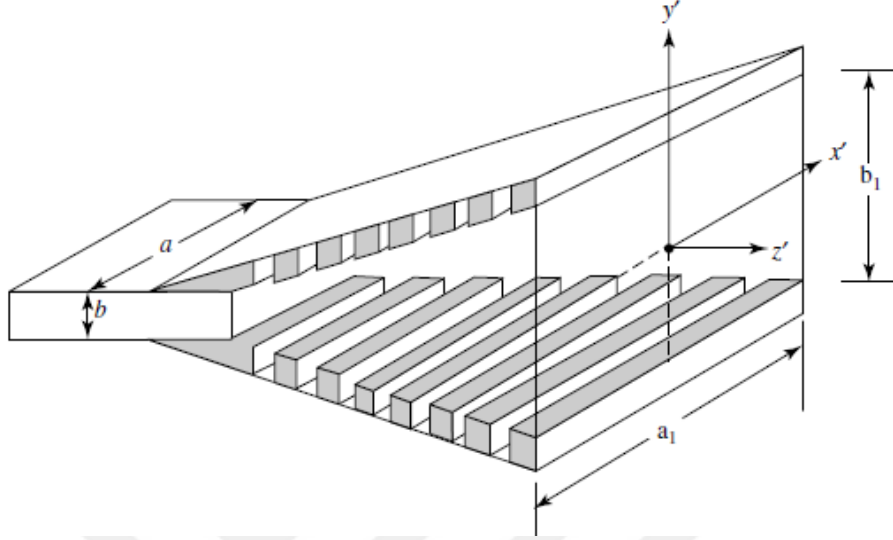
s maximum faz hatası değeri (3.30) numaralı eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$s = \frac{d_m^2}{8\lambda l} \quad (3.30)$$

3.2.4.5 Oluklu Horn Antenler

Horn anten araştırmaları 1960' lı yıllarda büyük bir önem kazanmıştır. Amaç astronomi ve uydu haberleşmesinde kullanılan büyük reflektör antenlerde çapraz polarizasyon kayıplarını azaltıp, açıklık verimini artırmaktır. Bu kapsamda oluklu horn antenler

üretilmeye başlanmıştır. Geleneksel horn antenler %50-60 mertebelerinde açıklık verimine sahiptir. Ancak oluklu horn antenlerde açıklık verimi %75-80 mertebelerindedir. Oluklu horn anten geometrisi Şekil 3. 22' de gösterilmiştir.



Şekil 3. 22 Oluklu horn anten geometrisi [12]

Etkili bir oluklu yüzey elde edebilmek için dalga boyu başına en az 10 slot gerekmektedir [1]. Oluk genişliği(w), serbest uzay dalgaboyundan (λ_0) ve slot derinliğinden daha küçük olması gerekmektedir. Genellikle w değeri serbest uzay dalboyununun onda birinden daha küçüktür.

$$w < \frac{\lambda_0}{10} \quad (3.31)$$

Oluklu horn antenlerde, normal horn antenlere göre çapraz polarizasyon ve yan lob seviyesi daha düşüktür. Bu da ana hüzme dışından gelen gücün bastırılmasını sağlamaktadır.

KU BAND UYDU AŞAĞI YÖN İÇİN REFLEKTÖR ANTEN TASARIMI

Uydu teknolojisindeki gelişmeler her geçen gün artmaktadır. Bunun sebebi uyduların sadece radyo haberleşmesinde değil aynı zamanda astronomi, hava tahmini, yayın, haritalama gibi pek çok uygulama alanında kullanılmasıdır. Kullanılabilir uydu frekans bantlarının çeşitliliği sebebiyle frekans bantları için çeşitli düzenlemeler getirilmiştir. Yüksek frekans bantları her ne kadar geniş bant genişliğine imkan verse de yağmur sönmelenmesinden (Radyo işaretlerinin yağmur, kar, buz gibi atmosferik olaylarla emilmesi) ötürü işaret kaybına sebep olur. Frekans spektrumunda Ku bandı (12-18 GHz) uydu haberleşmesi için kullanılmaktadır. Avrupa'da direk yayın uydu servislerinde (Astra gibi) Ku bandı downlink için 10.7-12.75 GHz frekans aralığı kullanılmaktadır. Bu sebeple, tez çalışmasında yapılan tasarımların performansı 10.7-12.75 GHz aralığında incelenecektir.

Reflektör antenler uydu haberleşmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Reflektör antenin besleme anteni olarak Horn anten kullanılmaktadır. Antenin polarizasyonu için lineer ya da dairesel polarizasyon kullanılmaktadır. Uydu haberleşmesinde dairesel polarizasyonun lineer polarizasyona göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar şu şekilde özetlenebilir.

- Faraday etkisi
- Atmosferik koşullar
- Kolay montaj
- Bağlantı güvenilirliği

Faraday etkisi ışık ve magnetik alanın etkileşiminden doğmaktadır. Lineer polarize işareti etkilemesine karşın, dairesel polarize işarete etkisi olmamaktadır. Dairesel polarizasyon, atmosferik koşullardan dolayı oluşan işaret bozulmalarına karşı daha dirençlidir. Dairesel polarizasyonda tek kriter antenin uydu doğrultusunda olmasıdır. Bu dairesel beslenmiş antenlerin daha çabuk kurulmasını sağlar ve yanlış ayarlama ihtimalini ortadan kaldırır. Daha düşük yanlış ayarlama ve etkileşime uğrama riskinin düşük olması daha yüksek bağlantı güvenilirliği sağlar.

Bu sebeplerden dolayı dairesel polarizasyonla beslenen reflektör tasarlamak amaçlanmıştır. Besleme anteninin lineer polarizasyonunu dairesel polarizasyona dönüştürmek için horn antenin dalga kılavuzu kısmında basamaklı bir yapıya sahip "septum polarizör" kullanılmıştır. Bölüm 4. 1' de tanıtilan bu yapının horn antenin dalga kılavuzu kısmına yerleştirilmesi ile lineer kutuplanmış horn anteni dairesel polarizasyonlu horn antene dönüştürmek mümkün olmuştur. 4. bölümde tasarlanan tüm yapılar sonlu integrasyon tekniğine dayanan üç boyutlu tam-dalga EM simulatörü, CST Microwave Studio ile simule edilmiştir.

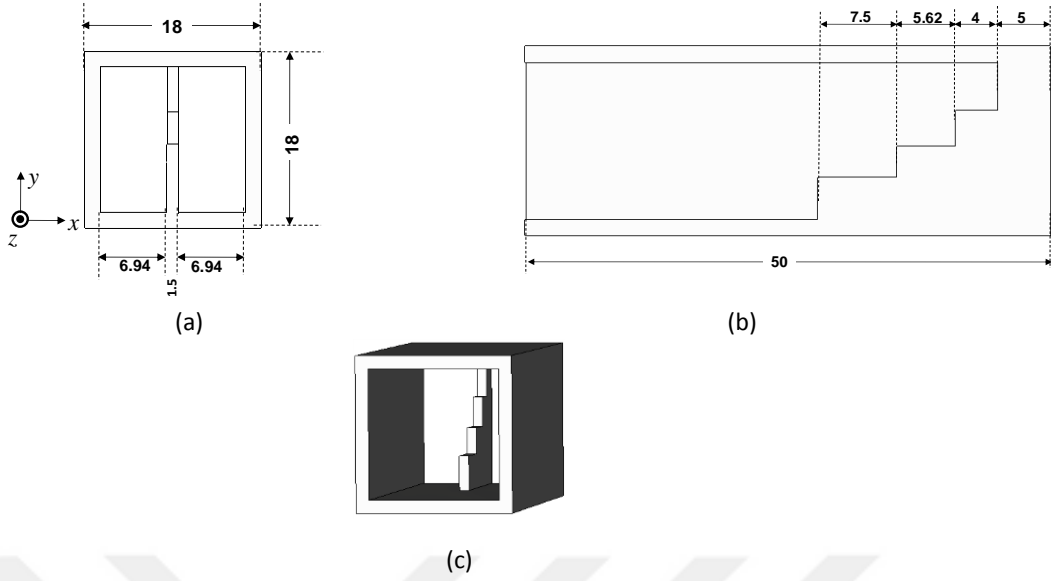
4.1 Septum Polarizör

Septum polarizör, dalga kılavuzunun girişine uygulanan lineer kutuplanmış dalgayı, dalga kılavuzunun çıkışında sağ-el ya da sol-el dairesel kutuplanmış dalgaya dönüştüren yapıdır. Dalga kılavuzunun içerisine enine ya da boyuna basamaklı bir yapının yerleştirilmesi ile elde edilir. Basamaklı yapının her bir tarafından yapılan uyarım farklı dairesel polarizasyon verecektir. Uyarım bir koaksiyel kablo ile olabilmektedir.

Lineer kutuplanmış antenlerden dairesel kutuplanma elde edebilmek için elektrik alanın birinci bileşenine dik açıyla kutuplanmış ikinci bir yayıcı eklenmelidir. İkinci bileşen birinciden 90° yani $\lambda/4$ 'lük faz farkıyla uyarılmalıdır. Böylece ikinci yayıcının elektrik alanı birinci sıfırdan geçerken maksimuma ulaşır ya da tam tersi gerçekleşir. Elektrik alanın genliği bir daire formunda değişim gösterir. Dairesel kutuplanma yayılım doğrultusunda elektrik alanın doğrultusuna göre sağ el ya da sol el dairesel kutuplanma olarak ikiye ayrılır. İkinci yayıcıyı çeyrek döngü sonra uyarmanın bir yolu iletim hattına çeyrek dalga boyu ekstradan eklemektir. Bu durumda dairesel dönmenin yönü lineer

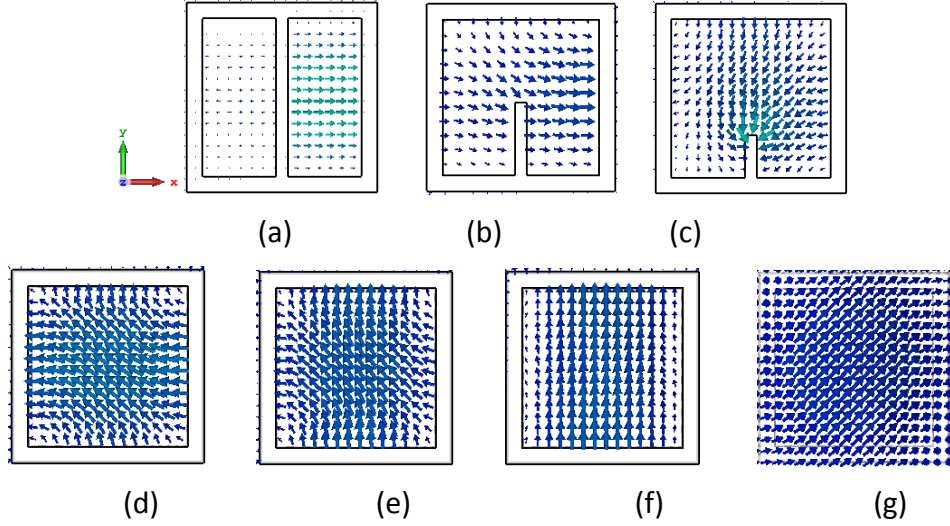
kutuplanmanın gecikmesi ile belirlenir. Gecikme yaratmanın bilinen bir diğer yolu da çıkışında eşit genlik, 90° faz farkı yaratan yönlendirici kuplör kullanmaktır. Bunun yanı sıra dalga kılavuzunda ince dielektrik tabaka veya kart, tabakanın düzlemindeki enerjiyi geciktirecektir. Burada tabakanın uzunluğu çeyrek dalga boyu gecikme verecek şekilde seçilmelidir.

Septum yapısı da lineer kutuplanmayı dairesel kutuplanmaya çeviren bir yapıdır. Çalışma mekanizması şu şekilde özetlenebilir: Antenin ya da dalga kılavuzunun açıklığına gelen dairesel kutuplanmış dalga, biri septuma paralel diğeri dik olan, aralarında 90° faz farkı olan iki bileşenden oluşmaktadır. Paralel bileşen septum tarafından eşit olarak bölünmekte ve iki dikdörtgen dalga kılavuzunun içerisinden geçmektedir. Dik bileşenin kesim frekansı, boyutun değişmesi sebebiyle septum tarafından değişmekte, böylece, dik bileşenin dalga boyu daha kısa olmaktadır. Böylece septumun dik bileşen için elektriksel uzunluğu paralel bileşeninkinden daha uzun olmaktadır. Uzunluktaki bu fark 90° yani $\lambda/4$ ise, dikey ve yatay bileşenler girişe eş fazlı olarak ulaşmaktadır. Dairesel polarizasyonun tipine göre bileşenler bir tarafta eklenirken, diğer tarafta birbirini iptal eder. Böylece, iki port birbirinden izole olur. Elektriksel uzunluktaki farklılığı, kabul edilebilir fiziksel boyutta sağlamak için septum polarizör dalga kılavuzunun kesim dalga boyu civarında çalışır. Şekil 4. 1' de dominant mod kesim frekansı 10 GHz olan dikdörtgen dalga kılavuzunun içerisine yerleştirilmiş septum kutuplayıcı yer almaktadır.

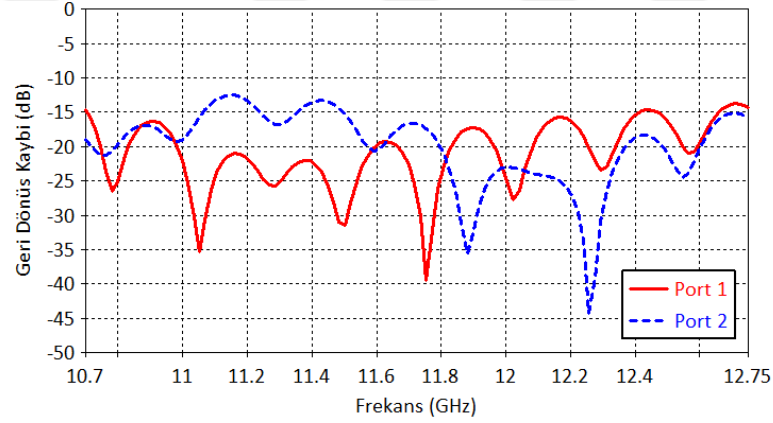


Şekil 4. 1 Septumlu dalga kılavuzu a) Önden görünüm b) Yandan görünüm c) Perspektif görünüm (Birimler milimetredir)

Yayılm doğrultusu z olup sağdaki porttan dominant mod ile (TE_{10}) uyarıldığında dalga kılavuzunda oluşan elektromagnetik dalganın elektrik alanının değişimi Şekil 4.2' de verilmiştir. Bu gösterimde besleme noktası $z=0$ ' da olup, dalga kılavuzu pozitif z doğrultusuna yerleştirilmiştir. Şekil 4.2.a' da elektrik alan çizgilerinin dalga kılavuzu içerisinde lineer kutuplandığı görülmektedir. Şekil 4.2.b-c' de septum sebebiyle elektrik alan çizgilerindeki dönme etkisi gözlenmektedir. Şekil 4.2.d-g' de ise elektrik alan çizgilerinin saat yönü doğrultusunda döndüğü görülmektedir. Buradan sağdaki dalga kılavuzundan beslenen septum kutuplayıcı yapısının sol-el dairesel polarizasyonlu EM dalga, soldaki dalga kılavuzundan beslenen septum kutuplayıcı yapısının sağ-el dairesel polarizasyonlu EM dalga oluşturduğu gözlemlenmektedir.

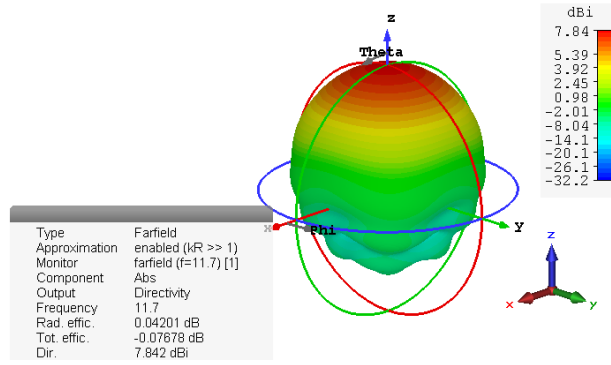


Şekil 4. 2 Septumlu dalga kılavuzunda elektrik alanının değişimi (a) $z=0\text{mm}$; (b) $z=10\text{mm}$; (c) $z=15\text{mm}$; (d) $z=20\text{mm}$; (e) $z=40\text{mm}$; (f) $z=45\text{mm}$; (g) $z=55\text{mm}$.



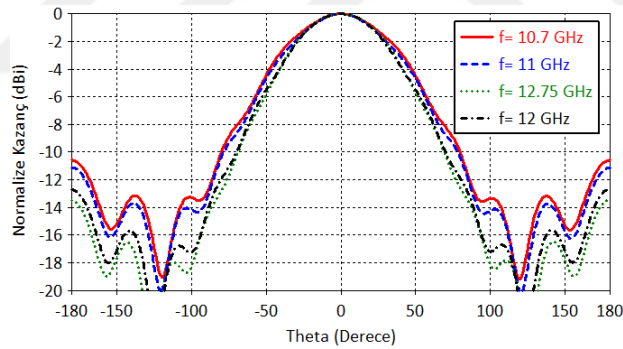
Şekil 4. 3 Geri dönüş kaybının frekans ile değişimi

S parametreleri, elektromanyetik bir sistemde portlar arasında veya aynı port üzerinde giriş-çıkış ilişkisini tanımlayan parametrelerdir. Anten tasarımlarında en genel olarak kullanılan S parametresi, $S_{1,1}$ parametresidir. Gücün ne kadarının antenden yansıdığını gösterir ve bu sebeple yansıma katsayısı veya geri dönüş kaybı olarak da isimlendirilmektedir. Şekil 4.3' te birinci ve ikinci kapıdan beslenen septumlu dalga kılavuzunda geri dönüş kaybının frekans ile değişimi ilgili frekans bant aralığında (10.7-12.75 GHz) verilmiştir. Belirtilen frekans bandında geri dönüş kaybının -10 dB'nin altında olduğu görülmektedir. Şekil 4.4' te ise septumlu dalga kılavuzunun merkez frekansı olan 11.7 GHz' de üç boyutlu yönlendiricilik pateni verilmiştir. Bu frekansta yönlendiricilik 7.84 dB olup antenin verimliliği -0.076 dB'dir.

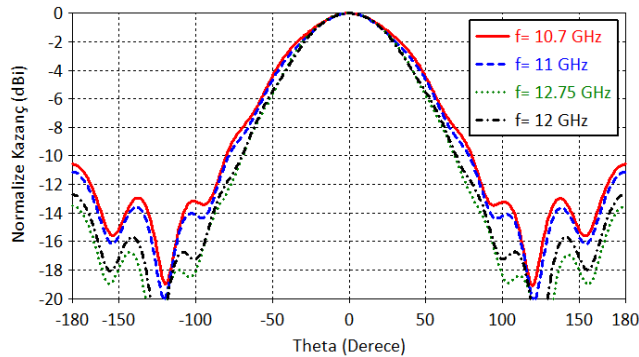


Şekil 4. 4 Septumlu dalga kılavuzunun merkez frekansında 3 boyutlu yönlendiricilik paterni

Antenin 10.7, 11, 12, 12.75 GHz frekans değerlerinde, E ve H düzlemlerindeki normalize kazanç patenleri Şekil 4. 5' te verilmiştir. Bu radyasyon patenlerine ait performans parametreleri Çizelge 4. 1' de özetlenmiştir. Şekil 4. 5.a ve b' ye dikkatle bakıldığı zaman E ve H düzlemi radyasyon patenlerinin, belirtilen frekanslarda, neredeyse birbiriyle aynı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi dalga kılavuzunun giriş kısmının genişliği ve yüksekliğinin neredeyse eşit olmasıdır. Kazanç değeri ise belirtilen frekans bandının alt ve üst frekanslarında yaklaşık bir dB farklılık göstermektedir.



(a)



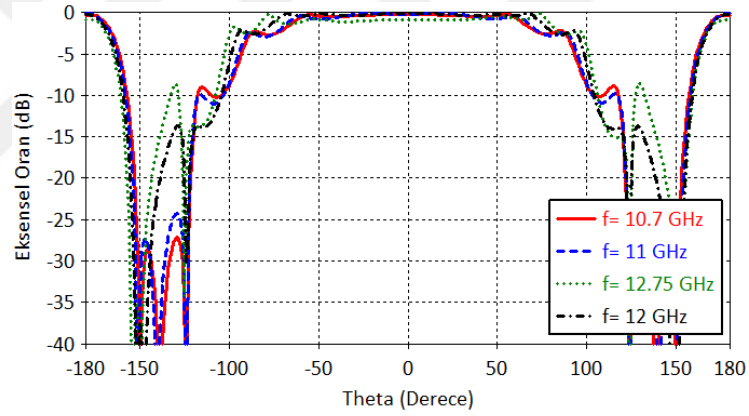
(b)

Şekil 4. 5 Septumlu dalga kılavuzunun normalize kazanç patenleri (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.

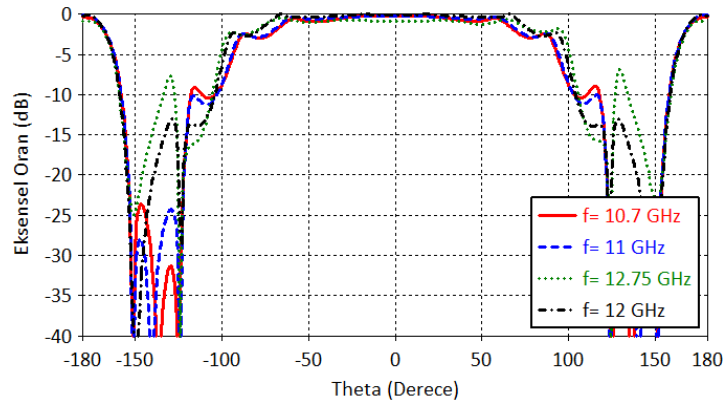
Çizelge 4. 1 Septumlu dalga kılavuzunun performans parametreleri

Frekans (GHz)	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)
10.7	7.07	6.91	83.3	-10.6
11	7.35	7.19	78.3	-11.1
12	7.92	7.88	70.4	-12.7
12.75	8.02	7.79	71.8	-13.5

Şekil 4. 6' dan septumlu dalga kılavuzunun eksensel oranı E ve H düzlemleri için yukarıdaki belirtilen frekanslarda verilmiştir. Dalga kılavuzunun 10.7 GHz'deki 3 dB hüzme genişliği 83.3°, 12.75 GHz'deki 3 dB hüzme genişliği ise 71.8° 'dir. Bu açısal aralıkta hem E hem de H-düzleminde elektromagnetik dalganın eksensel oranının yaklaşık 0 dB olduğu görülmektedir. Eksensel oranın lineer skalada 1 olması elektrik alanın x ve y bileşenlerinin genliğinin birbirine eşit olması anlamına gelir. Bu da dairesel polarizasyonlu elektromanyetik dalgayı ifade eder.



(a)



(b)

Şekil 4. 6 Septumlu dalga kılavuzunun normalize kazanç pateni (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.

4.2 Horn Anten

1960' larda yapılan horn anten araştırmalarında, taşma verimliliğini ve çapraz polarizasyon kayıplarını azaltmak ve radyoastronomi ve uydu haberleşmesinde kullanılan büyük reflektörlerin açıklık verimliliğini arttırmak için çalışmalar yapılmıştır. 1970' lerde mikrodalga radyometri uygulamalarında yüksek verimliliğe sahip ve dönel olarak simetrik antenlere ihtiyaç duyulmuştur. Geleneksel horn beslemelerinin kullanımıyla %50-60 seviyelerinde açıklık verimliliği elde edilmiştir. Buna karşın oluklu horn antenlerin kullanıldığı besleme sistemleri ile verimlilik %75-80 oranlarına çıkarılmıştır.

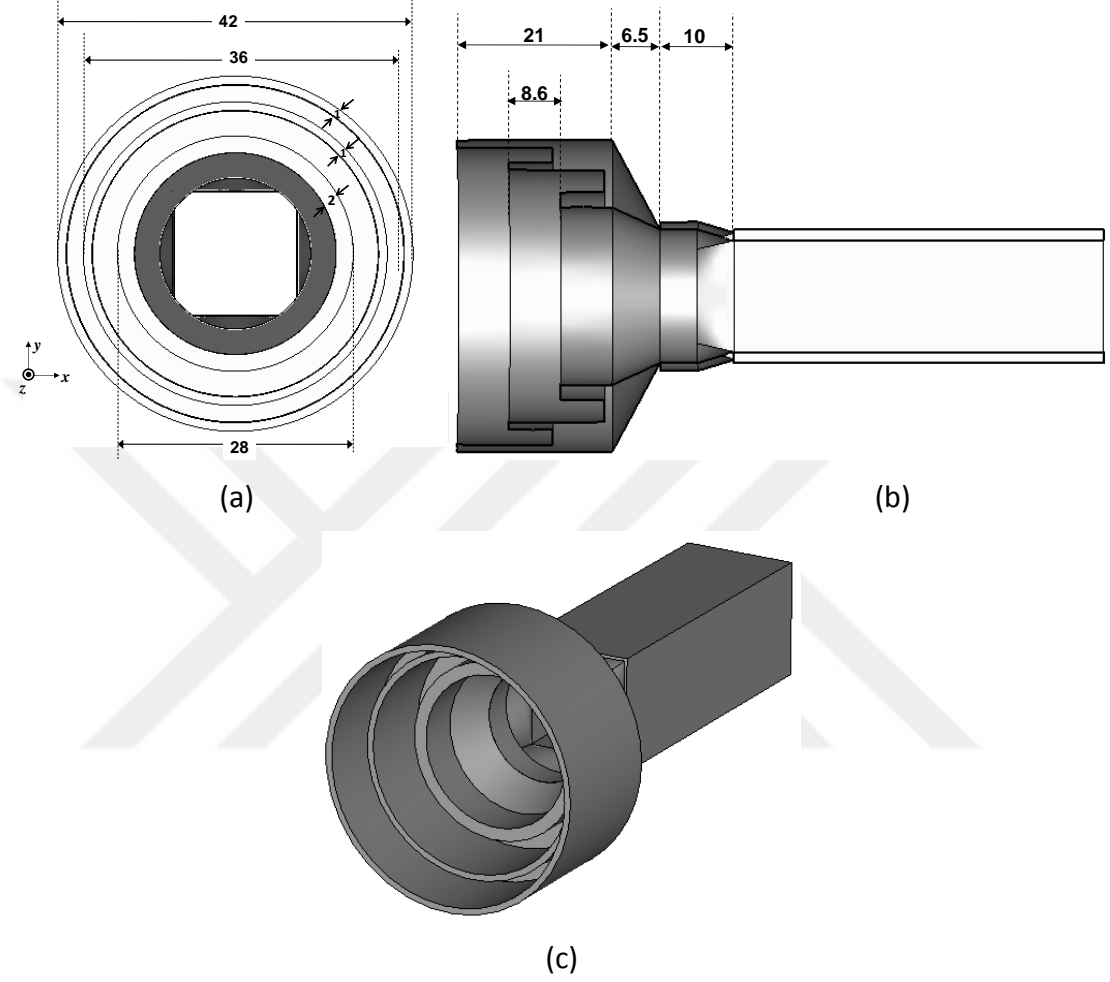
Oluk yapısını oluştururken şu kriterler gözönünde bulundurulmalıdır. Oluk yapısının dişleri ince olmalıdır ve yarığın alt tarafından gelen yansımalar sadece TEM moduna ait olmalıdır. Olukların genişliği genellikle $w < \lambda_0/10$ seçilir. Horn antenin duvarlarında yer alan olukların etkisi, dalga kılavuzu-horn ekleminde uniform olan elektrik alan dağılımını anten açıklığında kosinüs formuna dönüştürmektir. Yapılan lmler uniform dağılımından kosinüs dağılıma geçişin çoğunlukla başlangıçtaki oluklarda olduğunu göstermektedir. Olukların özellikle dalga kılavuzu-horn eklem yakınındaki varlığı, antenin empedansını ve duran dalga oranını bozabilir. Bu sebeple pratikte oluklar eklemde bir miktar öteye yerleştirilir. Bu duran dalga oranının daha geniş bantta düşük olmasını sağlar.

Bu bölümde Ku bandı uydu haberleşmesi downlink için tasarlanmış, corrugationlara sahip horn anten ve besleme olarak kullanılmasıyla oluşturulan reflektör sistemi tanıtılacaktır.

4.2.1 Doğrusal Polarize Horn Anten

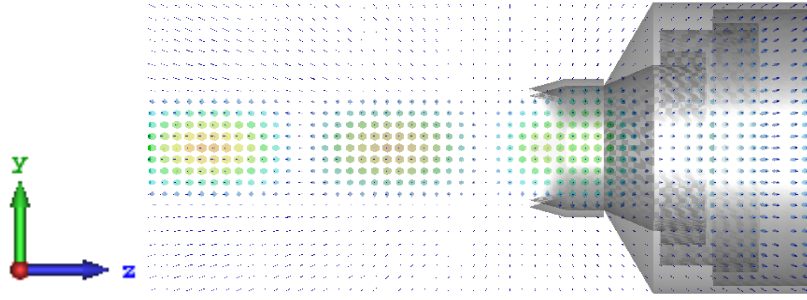
şekil 4. 7' de tasarlanan dairesel horn anten yer almaktadır. Dairesel horn anten doğrusal polarizasyon yapan bir antendir. Dairesel horn antenin verimliliği arttırmak amacıyla dairesel horn geometrisi ile uyumlu formda üç adet corrugation eklenmiştir. Dairesel horn anten dikdörtgen dalga kılavuzuyla beslenmiştir. şekil 4. 7.a' da antenin önden görünümü yer almaktadır. Buradan antenin simetrik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Horn anten Bölüm 4. 1' de tanıtılan ve boyutları verilen dikdörtgen

dalga kılavuzu ile beslenmiştir. Dairesel horn antenin boyutları (dalga kılavuzu dahil) 42 mm x 42 mm x 87,5 mm (en x boy x uzunluk) olup z eksenini doğrultusunda ışınım yapacak şekilde CST' de tasarımı yapılmıştır.

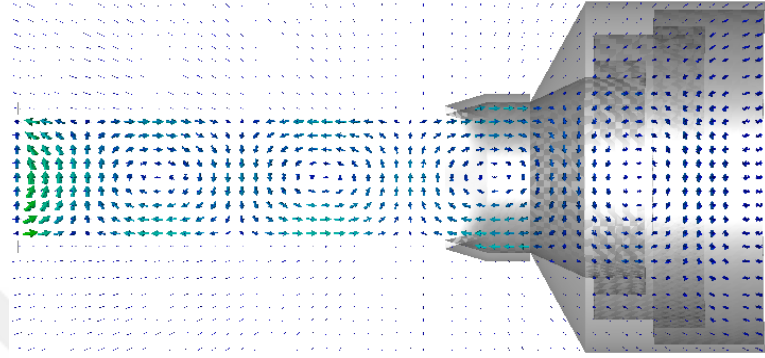


Şekil 4. 7 Doğrusal polarize horn anten (a) Önden görünüm; (b) Yandan görünüm; (c) Perspektif görünüm (Birimler milimetredir).

Horn antenin içerisinde 11 GHz' de oluşan elektrik alan dağılımı Şekil 4. 8' de verilmiştir. Dalga kılavuzunun TE_{10} modundaki (baskın mod) kesim frekansı 10 GHz, TE_{11} modundaki kesim frekansı ise 14.14 GHz olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 8' de dalga kılavuzunun içerisinde elektrik alan bileşeninin yayılım doğrultusuna dik, magnetik alan bileşeninin ise yayılım doğrultusunda bileşene sahip olduğu görülmektedir.



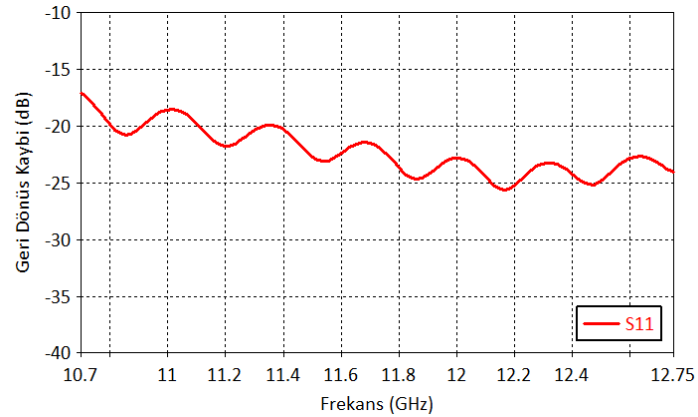
(a)



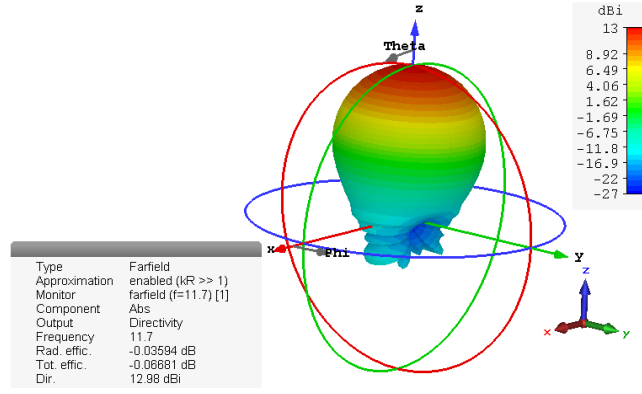
(b)

Şekil 4. 8 Doğrusal polarize horn antende y-z düzleminde alan dağılımı (a) elektrik alan; (b) magnetik alan

Dairesel horn antenin geri dönüş kaybının frekans ile değişimi Şekil 4. 9' da yer almaktadır. Bu şekilde geri dönüş kaybının tüm bant boyunca -15 dB' nin altında olduğu görülmektedir. Antenin çalışma frekans bandının merkez frekansı (11 GHz) üç boyutlu yönlendiricilik pateni Şekil 4. 10' da verilmiştir. Bu frekansta yönlendiriciliğin 12.98 dB olduğu ve radyasyon pateninin neredeyse simetrik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Antenin verimliliği %98.47 olup maksimum ışımaya doğrultusu $\theta = 0^\circ$ doğrultusundadır.

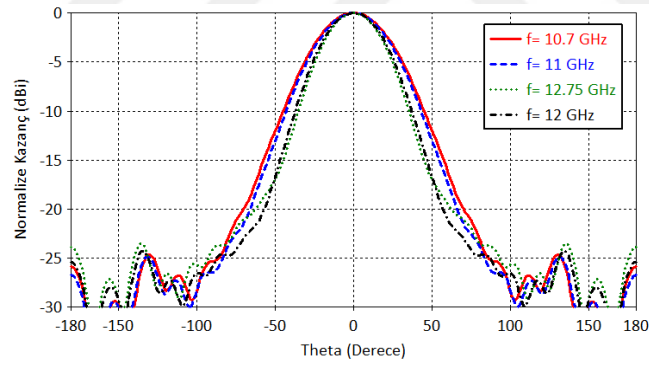


Şekil 4. 9 Doğrusal polarize horn antenin geri dönüş kaybının frekans ile değişimi

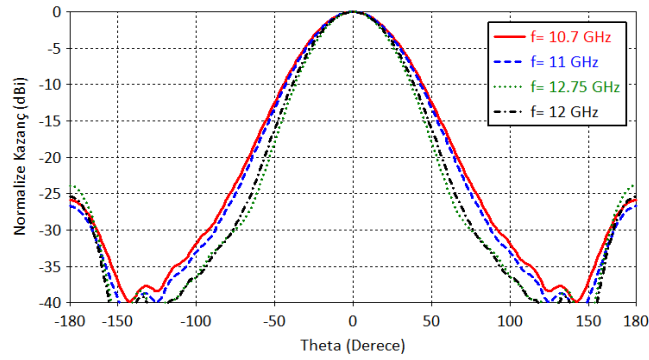


Şekil 4. 10 Doğrusal polarize horn antenin merkez frekansında 3 boyutlu yönlendiricilik paterni

Antenin normalize kazanç eğrileri 10.7, 11, 12, 12.75 GHz frekanslarında E ve H düzlemleri için Şekil 4. 11' de verilmiştir. Yan lob seviyelerinin -25 dB civarında olduğu görülmektedir. Belirtilen frekanslarda maksimum kazanç ve yönlendiricilik değerleri Çizelge 4. 2'de verilmiştir. Ayrıca 3 dB hüzme genişliği ve yan lob seviyeleri de bu tabloda yer almaktadır. 3 dB hüzme genişliği değerlerine bakıldığı zaman 10.7-12.75 GHz frekans bandında 11 derecelik hüzme genişliği farkı gözlenmiştir.



(a)



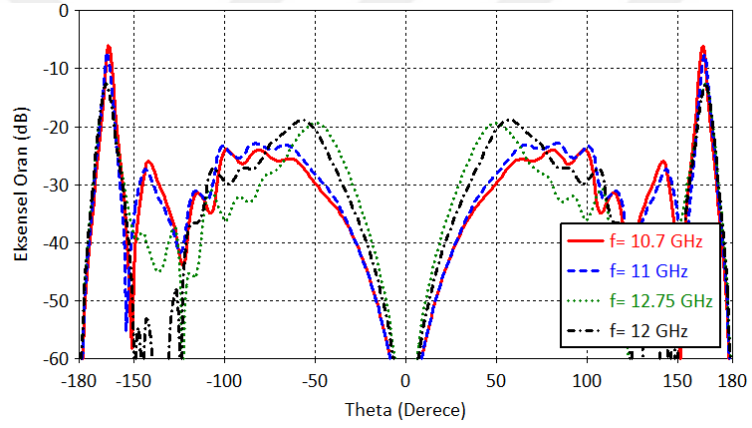
(b)

Şekil 4. 11 Dairesel horn antenin (septumsuz) normalize kazanç paterni (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.

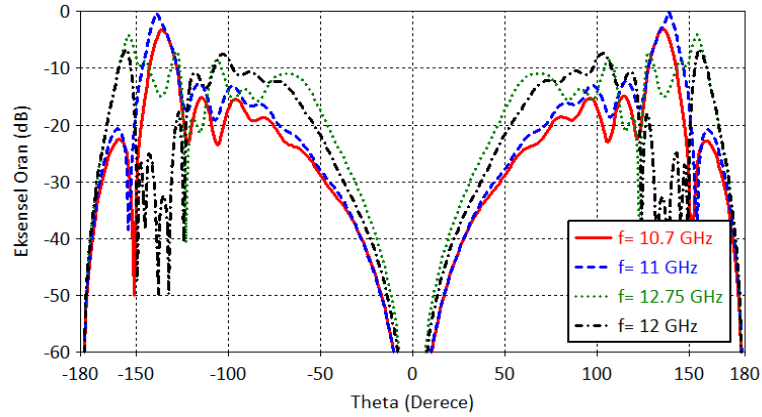
Çizelge 4. 2 Doğrusal polarize horn antenin performans parametreleri

Frekans (GHz)	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)
10.7	12	11.8	47.9	-24.6
11	12.3	12.2	45.8	-24.9
12	13.2	13.2	40.2	-24.3
12.75	13.6	13.6	38	-23.5

Dairesel horn antenin uzak alan radyasyon paterninde eksensel oran E ve H düzlemlerinde incelenmiş olup şekil 4. 12' de verilmiştir. Eksensel oranın, radyasyon patenin 3 dB hüzme genişliği içerisindeki açisal aralıkta hem E düzleminde hem H düzleminde -30 dB' nin altında olduğu görölmektedir. Bu, daireysel horn antenin doğrusal kutuplanmış bir anten olduğunu göstermektedir.



(a)

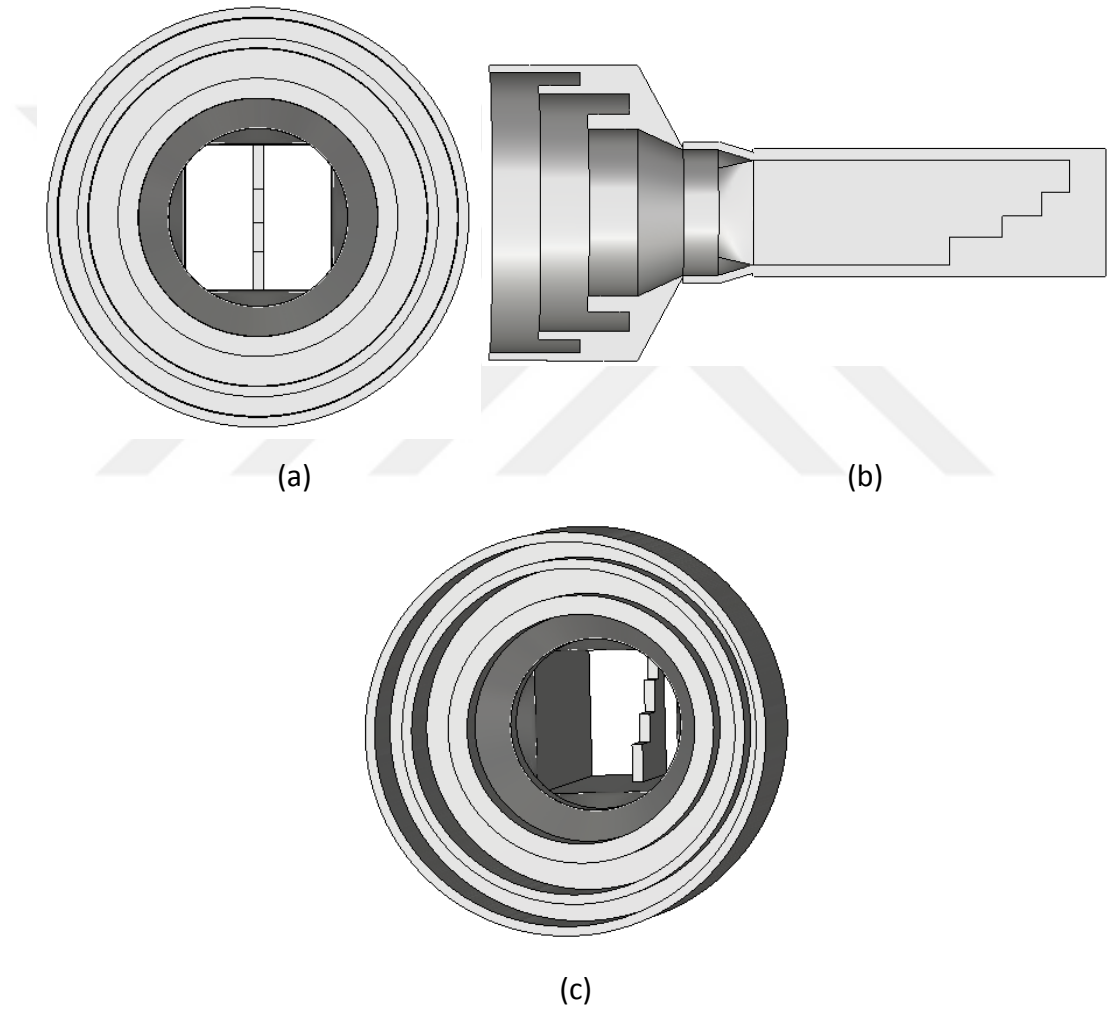


(b)

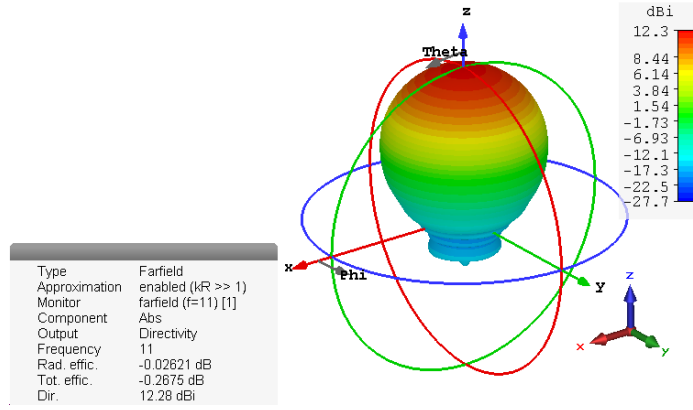
şekil 4. 12 Dairesel horn antenin (septumsuz)eksensel oranı (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.

4.2.2 Dairesel Polarize Horn Anten

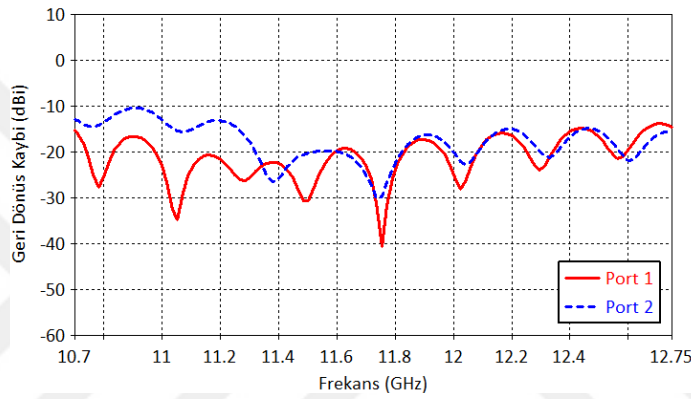
Bu bölümde doğrusal polarizasyon yapan dairesel horn anteni dairesel polarizasyon yapan forma dönüştürmek amaçlanmıştır. Bu amaçla dalga kılavuzuna yerleştirilerek kullanılan septum yapısı uygulanacaktır. Şekil 4. 13' te Bölüm 4.2.1' de tanıtılan dairesel oluklu horn antenin içerisine septum yapısı yerleştirmiştir. Yapının önden, yandan ve perspektif görünümü Şekil 4. 13' te yer almaktadır. Daha önceki bölümlerde hem septumlu dalga kılavuzunun hem de dairesel hornun boyutları verildiği için bu bölümde tekrar edilmemiştir.



Şekil 4. 13 Septumlu dairesel horn anten (a) Önden görünüm; (b) Yandan görünüm; (c) Perspektif görünüm.

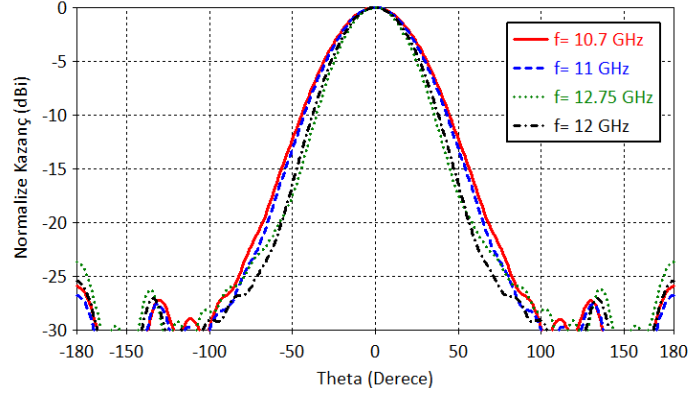


Şekil 4. 14 Septumlu dairesel horn antenin merkez frekansında 3 boyutlu yönlendiricilik paterni

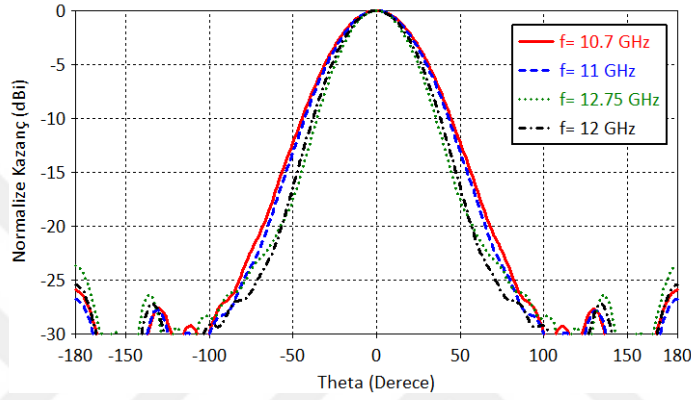


Şekil 4. 15 Septumlu dairesel horn antenin geri dönüş kaybının frekans ile değişimi

Yapılan CST simülasyonları sonucunda merkez frekansında elde edilen 3 boyutlu yönlendiricilik paterni Şekil 4.14' de verilmiştir. Septumlu horn antenin merkez frekansındaki (11 GHz) verimliliği %94.18 olup septumsuz (doğrusal kutuplanmış) antene göre verimliliğinde %4.2 azalma olmuştur. Bu iletken malzemenin eklenmesi ile iletken kaybının artması ve verimliliğin azalması olarak değerlendirilebilir. Şekil 4. 15' te septumlu dairesel horn antenin her iki portundan da beslendiği durumdaki geri dönüş kaybının frekansı ile değişimi verilmiştir. Geri dönüş kaybının -10 dB' nin altında olduğu görülmektedir. Horn antenin farklı frekanslardaki normalize E ve H düzlemlerindeki kazanç paterni Şekil 4.16' da verilmiştir. Bu şekilde de E ve H düzlemi paternlerinin simetrik yapıdan ötürü neredeyse aynı olduğu görülmektedir.



(a)



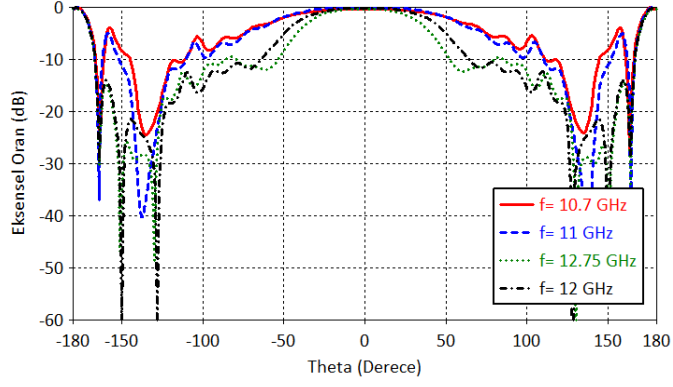
(b)

Şekil 4. 16 Septumlu dairesel horn antenin normalize kazanç paterni (a) E-düzlemi; (b) H-düzlemi.

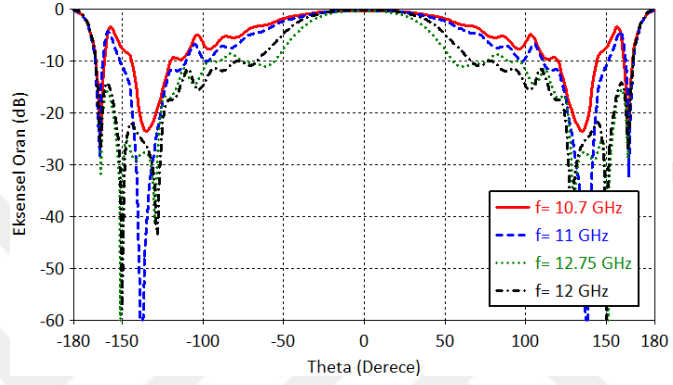
Çizelge 4. 3 Septumlu dairesel horn antenin performans parametreleri

Frekans (GHz)	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)
10.7	12	11.6	47.9	-26
11	12.3	12	45.8	-26.8
12	13.2	13.1	41.1	-25.5
12.75	13.7	13.5	38.2	-23.7

Çizelge 4. 3' te antenin performans parametreleri yer almaktadır. Septumlu dairesel horn antenin septumsuz yapıya göre verimliliğinin tüm frekanslarda düştüğü görülmektedir. Septumlu dairesel horn antenin E ve H düzlemlerindeki eksensel oranı Şekil 4.17' de verilmiştir. Eksensel oranın belirtilen frekansların 3 dB hüzme genişliği içerisinde 0 dB değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da horn antenin dairesel kutuplanmış elektromanyetik dalga yaydığını ispatlamaktadır.



a)



b)

Şekil 4. 17 Dairesel polarize dairese horn antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi

4.3 Horn Beslemeli Reflektör Anten

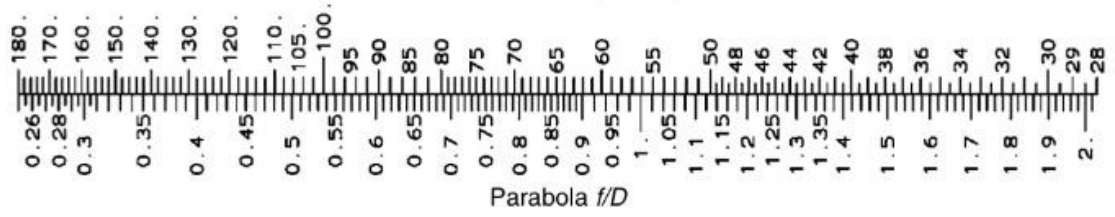
Reflektör antenler radyo, televizyon, uydu haberleşmesi, radarlar gibi alanlarda önemli bir yere sahiptir. Bu bölümde septumlu ve septum olmadan tasarlanan horn antenler besleme anteni olarak kullanılarak, Ku bandında çalışan ve uydu haberleşmesinde kullanılması amaçlanan reflektör anten tasarımı ve simülasyon sonuçları paylaşılacaktır. Parabolik reflektör antenler hem odaktan hem de odak dışından beslenerek tasarlanmıştır.

4.3.1 Odaktan Beslemeli Reflektör Anten

Odaktan beslemeli reflektör antenlerde, besleme anteni reflektörün odağında konumlandırılmıştır. Yansıtıcı yüzeyin derinliği fazladır ve küresel bir şekle sahiptir.

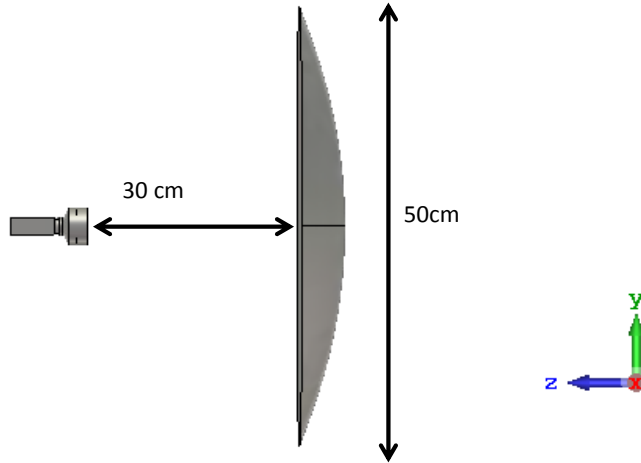
4.3.1.1 Doğrusal Polarize Reflektör Anten

Besleme anteni olarak septum olmadan tasarlanan, oluklu horn anten kullanılacaktır. Tasarlanan horn antenin ışınması ile reflektör yüzeyinin örtüşmesi gerekmektedir. Bunun için en doğru f/D oranının belirlenmesi gerekmektedir. Horn antenin simülasyon sonuçlarından yararlanılarak, uygun f/D oranı ile tasarım yapılacaktır. Tasarım sırasında Şekil 4.18 'de gösterilen ölçeklendirmeden faydalanılmıştır.



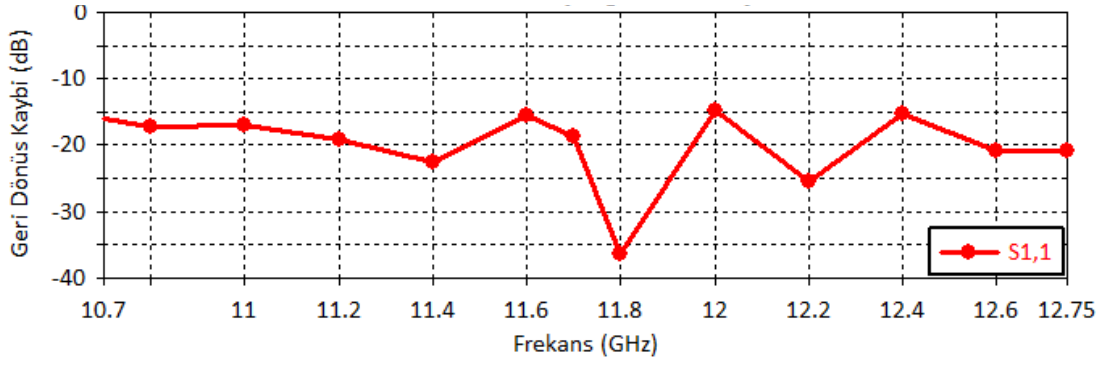
Şekil 4. 18 Parabolik reflektör antenin 3 dB hüzme genişliği ile f/D oranı ilişkisi [12]

Besleme anteninin maksimum kazancının -10 dB seviyesinde taradığı açı hem E hem de H düzleminde yaklaşık 90 derecedir. Yukarıdaki skalaya göre tasarlanan antenin f/D oranı 0.6 olarak seçilmiştir. Tasarlanan horn antenin odak uzaklığı 30 cm, antenin boyu 50cm olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.19'da tasarlanan parabolik reflektör anten 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.



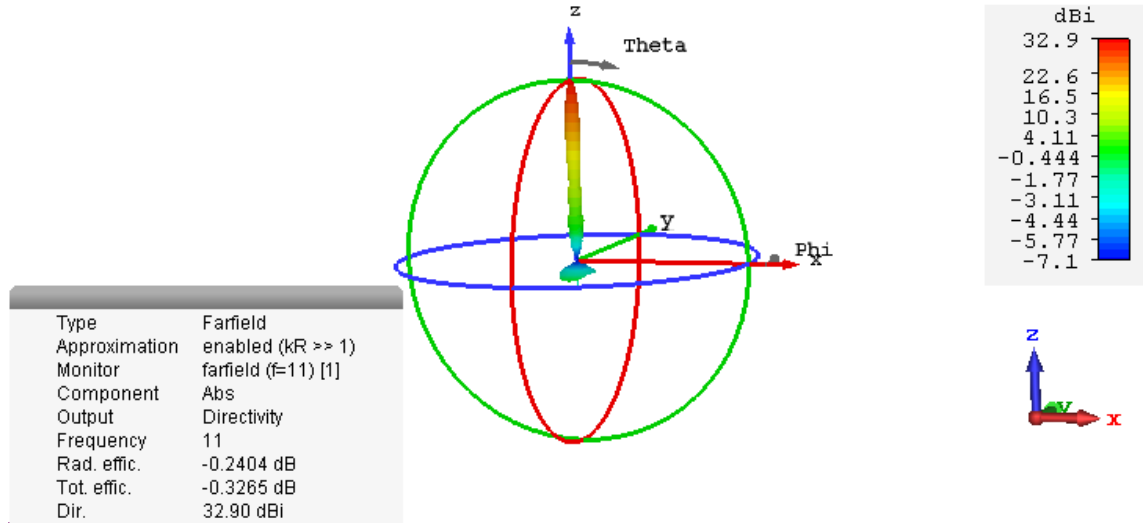
Şekil 4. 19 Eksenden beslenen doğrusal polarize reflektör anten

Şekil 4. 20' de doğrusal polarize reflektör antenin geri dönüş kaybı gösterilmektedir. Çalışılan frekans bandı boyunca geri dönüş kaybı -15 dB' nin altındadır.



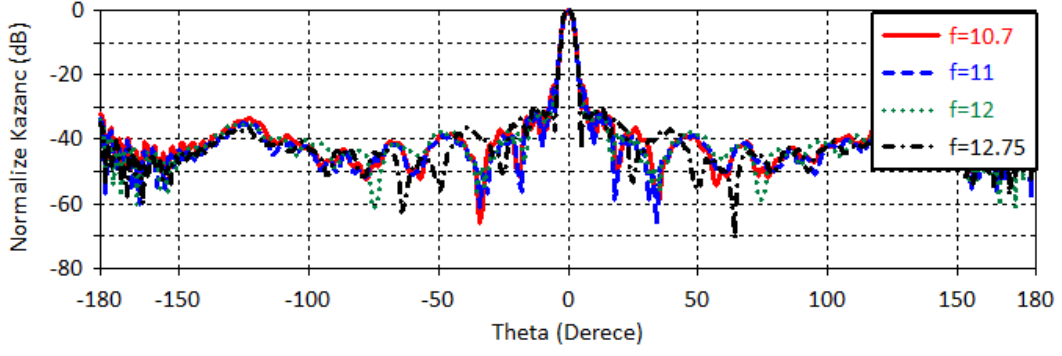
Şekil 4. 20 Doğrusal polarize reflektör antenin geri dönüş kaybı

Şekil 4. 21’de eksenden beslenen parabolik reflektör antenin merkez frekansı için ışınım paterni 3 boyutlu olarak gösterilmektedir. Maksimum kazancın 32.9 dBi olduğu görülmektedir.

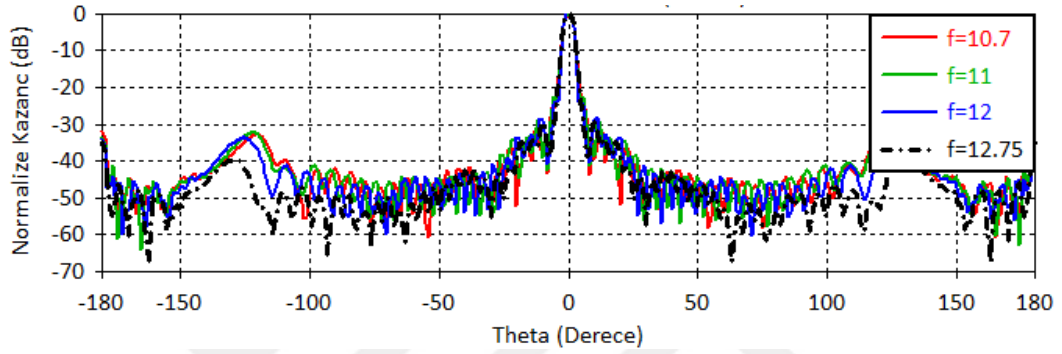


Şekil 4. 21 Eksenden beslenen doğrusal polarize reflektör antenin ışınım paterni

Şekil 4.22’ de tasarlanan antenin çalışma bandı boyunca belirlenen 4 frekans için normalize kazanç grafiği theta’ ya bağlı olarak E ve H düzlemleri için gösterilmiştir. E ve H düzlemlerinde normalize kazanç grafiği simetriden ötürü benzemektedir.



a)



b)

Şekil 4. 22 Doğrusal polarize odaktan beslenen reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi

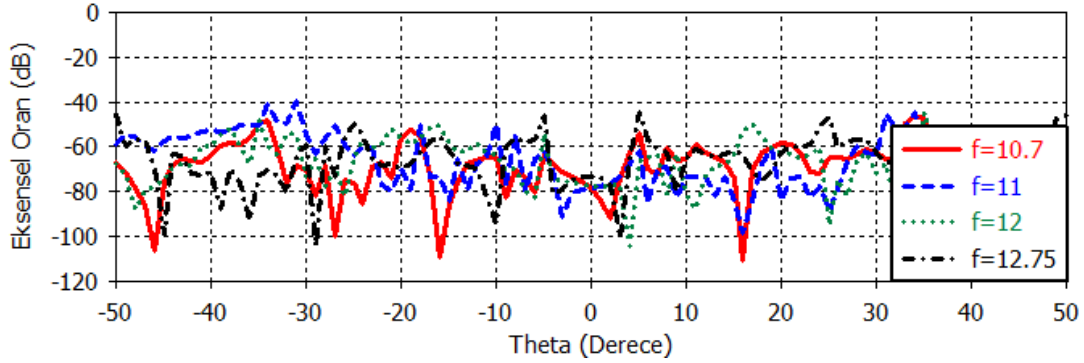
Eksenden besleme yapıldığında antenin kazancı, eksen dışı beslemeye göre daha fazladır. Ancak istenilen yöne ışınım yapılabilmesi açısından eksen dışı besleme daha avantajlıdır.

Tasarlanan antenin performans parametreleri Çizelge 4.4' de gösterilmektedir. Reflektör anten performans parametrelerinde ilk dikkat çeken 3 dB hüzme genişliğinin çok dar olmasıdır. Bu sayede antendeki güç istenilen doğrultuya iletelebilmektedir.

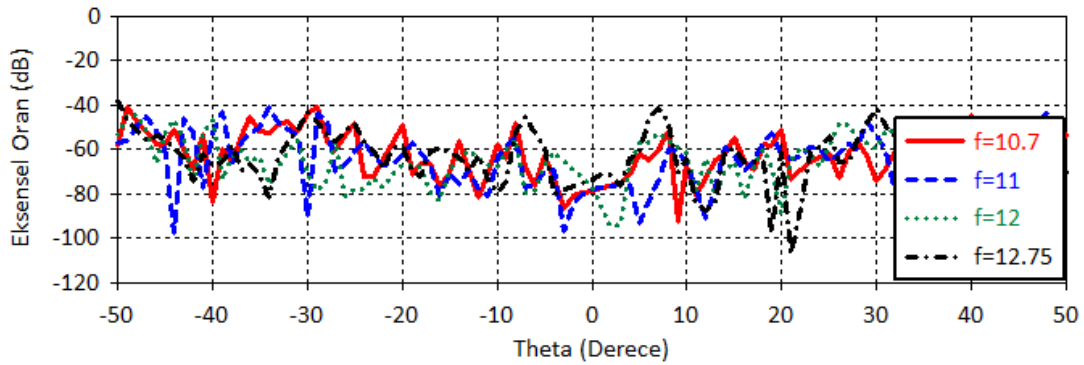
Çizelge 4. 4 Doğrusal polarizeli odaktan beslenen reflektör antenin performans parametreleri

Frekans (GHz)	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)
10.7	32.7	32.1	3.6	-23.5
11	32.9	32.6	3.6	-24.5
12	33.5	33.1	3.3	-29.0
12.75	33.6	33.4	3.2	-31.0

Şekil 4.23' de antenin eksensel oranının frekansa bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. 3 dB huzme genişliği içerisinde eksensel oran -30 dB' nin altındadır. Bu grafikten anlaşılacağı üzere anten lineer polarizasyonludur.



a)

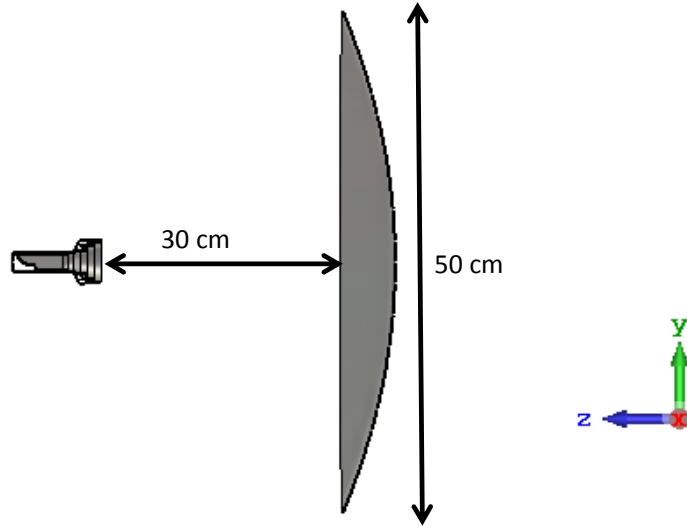


b)

Şekil 4. 23 Doğrusal polarize odaktan beslenen reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi

4.3.1.2 Dairesel Polarize Reflektör Anten

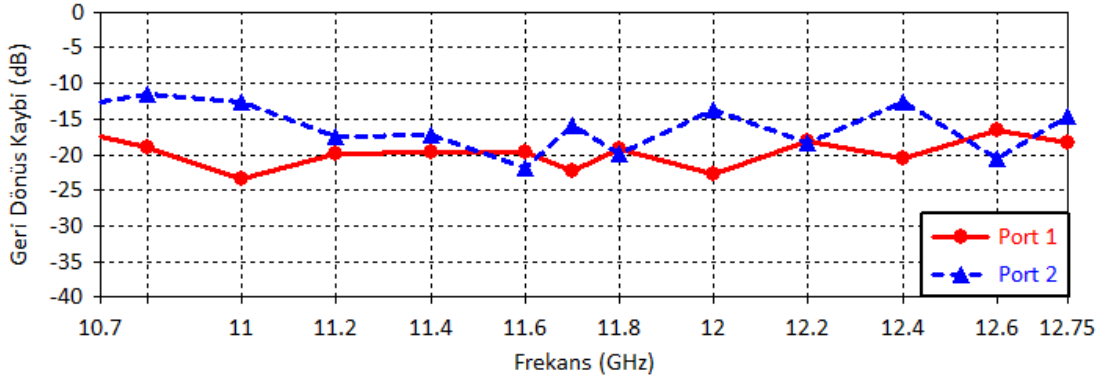
Besleme anteni olarak septumlu horn anten reflektör yüzeyin odağına yerleştirilmiştir. Septum yapısından dolayı -10 dB seviyesinde taradığı açı her iki düzlemde yaklaşık olarak 90 derecedir. Lineer polarizeli reflektör anten tasarımında kullanılan skala referans alınarak f/D oranı 0.6 olarak belirlenmiştir. Dairesel polarizeli odaktan beslenen reflektör anten yapısının 3 boyutlu görünümü Şekil 4. 24' de verilmiştir.



Şekil 4. 24 Eksenden beslenen dairesel polarize reflektör anten

Antenin odak uzaklığı 30 cm ve anten boyu 50 cm olarak seçilmiştir. Septum olmadan tasarlanan horn anten ile reflektör anten beslendiğinde f/D oranı 0.6 iken, septumlu yapıda da bu oran 0.6' dır.

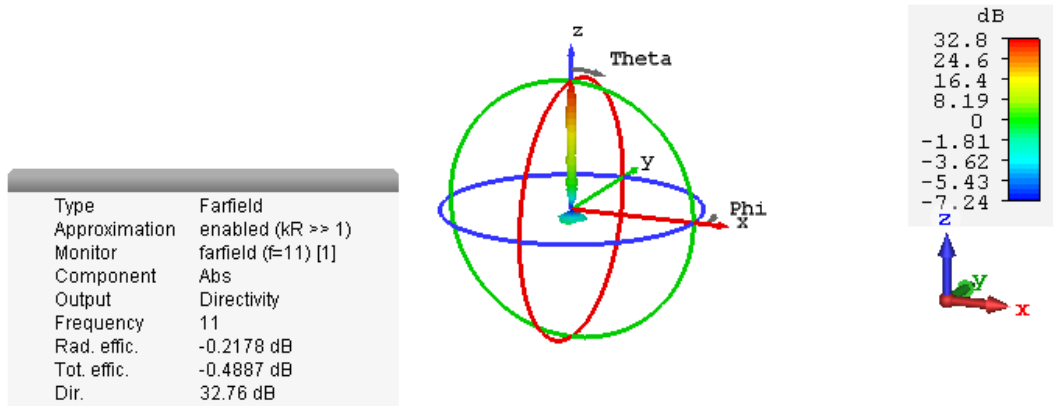
Şekil 4.25'de dairesel polarize reflektör antenin geri dönüş kaybını çalışılan frekans bandı boyunca göstermektedir.



Şekil 4. 25 Dairesel polarize odakta beslenen reflektör antenin geri dönüş kaybı

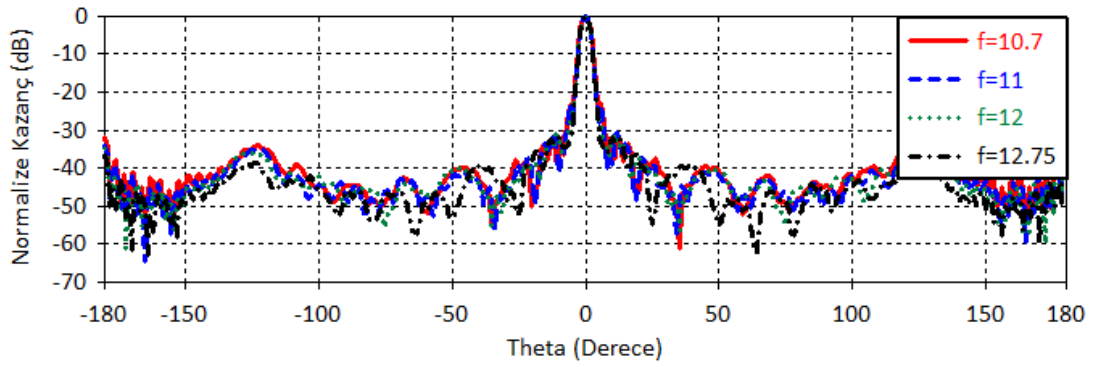
Şekil 4.26' da dairesel polarize ve odakta beslenen reflektör antenin ışınım paterni 3 boyutlu olarak gösterilmektedir. Antenin kazançlı merkez frekansı için 32.8 dB

seviyelerindedir.

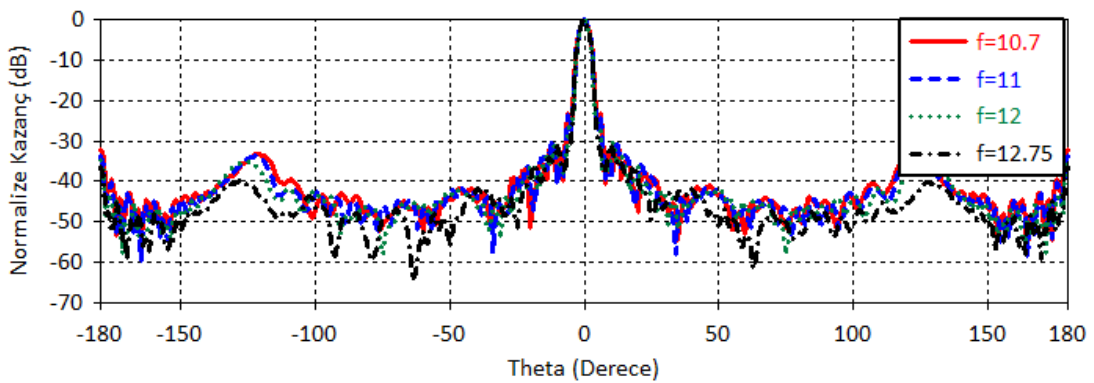


Şekil 4. 26 Dairesel polarize odaktan beslenen reflektör antenin ışınma paterni

Şekil 4. 27' de tasarlanan antenin çalışma bandı boyunca belirlenen 4 frekans için normalize kazanç grafiği theta' ya bağlı olarak E ve H düzlemleri için gösterilmiştir.



a)



b)

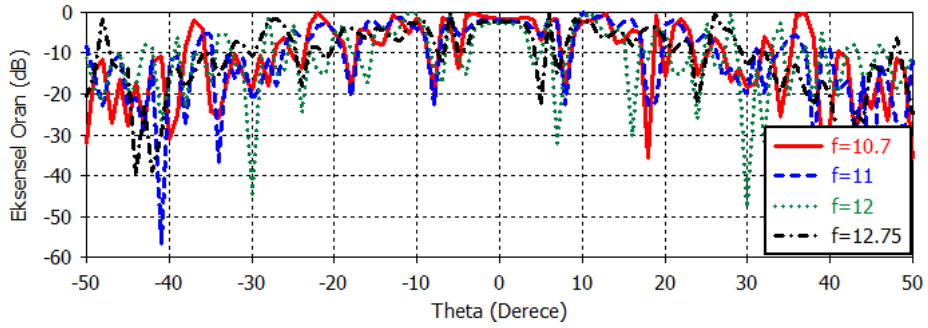
Şekil 4. 27 Dairesel polarize odaktan beslenen reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi

Tasarlanan antenin performans parametreleri Çizelge 4.5’ de gösterilmektedir. Doğrusal polarizeli reflektör antende olduğu gibi, dairesel polarizasyonlu antende de 32 dB seviyelerinde bir kazanç elde edilmiştir ve yan lob seviyesi -30 dB lere yaklaşmaktadır. Ayrıca frekans arttıkça yan lob seviyesinin seviyesinin daha da aşağıya düştüğü görülmektedir.

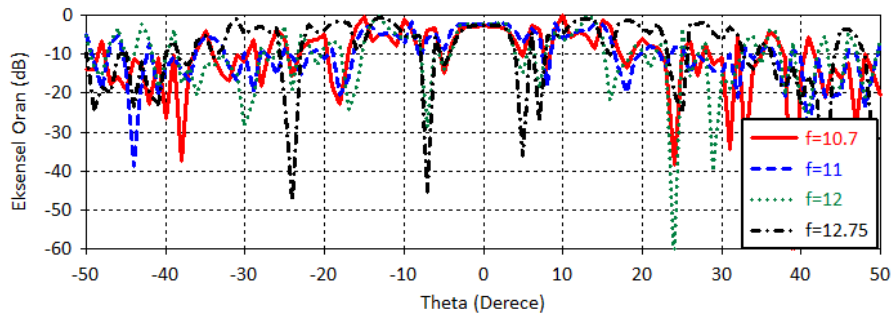
Çizelge 4. 5 Dairesel polarizeli reflektör antenin performans parametreleri

Frekans (GHz)	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)
10.7	32.5	31.9	3.6	-23.1
11	32.7	32.2	3.5	-23.6
12	33.1	32.7	3.3	-31.0
12.75	33.1	32.7	3.3	-31.9

Şekil 4. 28’ de antenin eksensel oranının frekansa bağlı olarak değişimi gösterilmektedir. 3 dB huzme genişliği içerisinde eksensel oran yaklaşık olarak -2 dB seviyesindedir. Eksensel oran, elektrik alanın orthogonal bileşenlerinin birbirine oranıdır.



a)



b)

Şekil 4. 28 Dairesel polarize odaktan beslenen reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi

4.3.2 Odak-Dışı Beslemeli Reflektör Anten

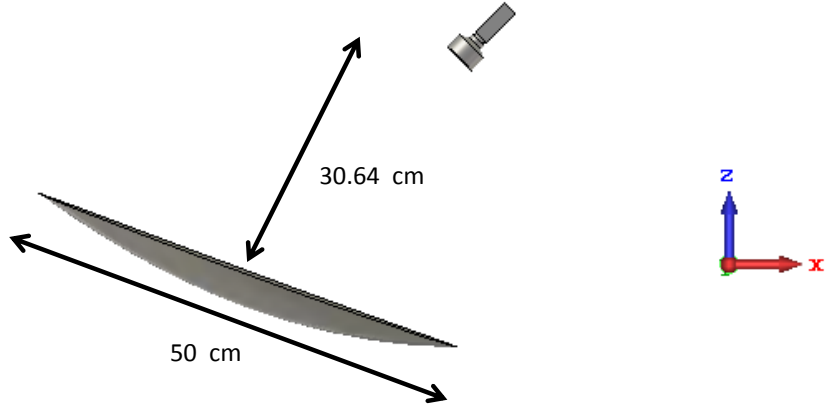
Odak-dışı beslemeli reflektör antenlerde, besleme anteni reflektör yüzeyin odağı dışına yerleştirilmektedir. Odaktan beslenen antenlerde, besleme anteni yüzeyden yansıyan EM dalganın huzmesinin yolu üzerinde bulunmaktadır. Yansıyan EM dalga ile besleme anteni arasında izolasyon sağlanabilmesi için odak dışı besleme konfigürasyonu kullanılmaktadır.

Odak-dışı besleme sayesinde yan lobların sebep olduğu kırınımlar, blokaj kayıpları, çapraz polarizasyon gibi sorunların önüne geçilmiş olur. Odak-dışı beslemek duran dalga oranını azaltmaktadır ve yan lob seviyeleri odaktan beslenen antene göre daha düşüktür. Bunun yanısıra odak-dışı beslenen reflektör antenlerde doğrusal polarize besleme anteni kullanılırsa çapraz polarizasyona sebep olunur. Bu sebeple dairesel polarizasyonlu besleme anteni kullanmak daha avantajlıdır.

Bu bilgiler ışığında, bu bölümde Bölüm 4. 2' de tanıtılan horn anten yapıları kullanılarak odak-dışı beslenen reflektör anten tasarlanacaktır.

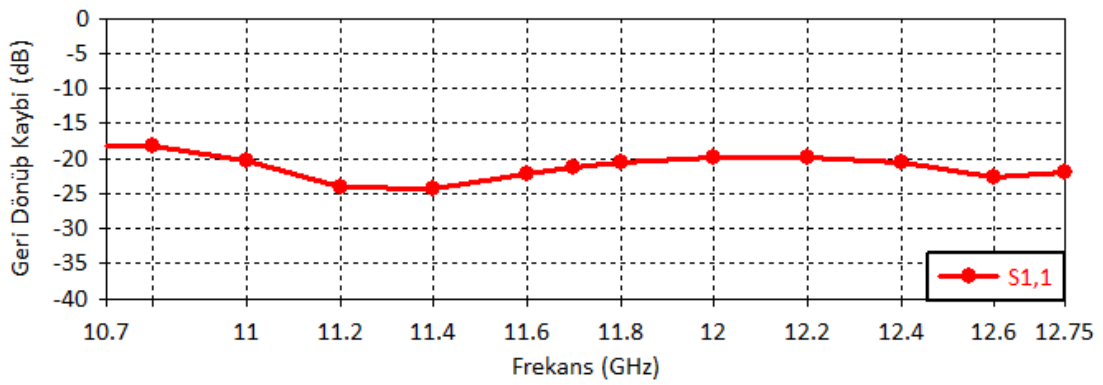
4.3.2.1 Doğrusal Polarize Reflektör Anten

3. bölümde odak-dışından beslenen reflektör anten için parametre değerlerinin nasıl hesaplanacağı anlatılmıştı. 3. bölümde bahsedilen denklemler kullanılarak reflektör antenin derinliği 5 cm, odak uzaklığı 30,64 cm ve anten çapı 50 cm olarak belirlenmiştir. Doğrusal polarizeli reflektör antenin besleme anteni olarak septumsuz horn anten kullanılacaktır ve f/D oranı yapılan hesaplamalar doğrultusunda 0.6 olarak elde edilmiştir. Besleme anteni şekil merkezinden 45 derece döndürülerek yerleştirilmişti. Şekil 4.29' da tasarlanan reflektör sistemi 3 boyutlu olarak gösterilmektedir.



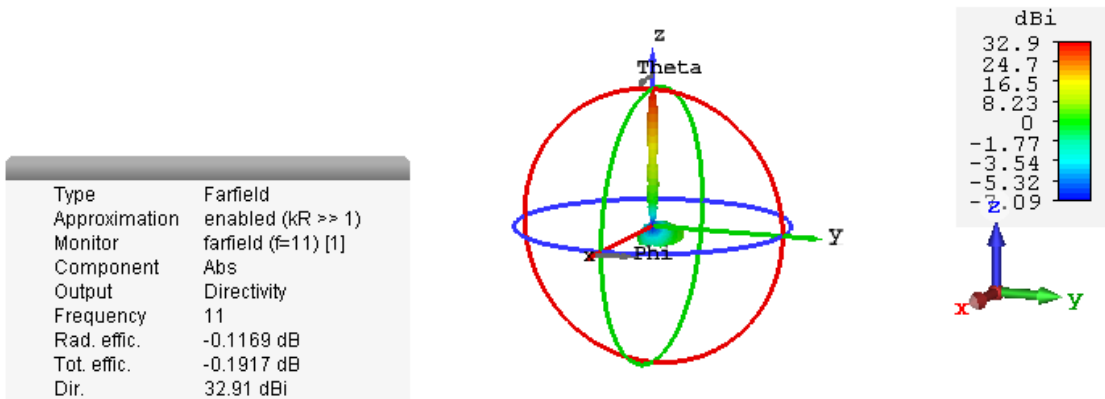
Şekil 4. 29 Odak-dışı beslenen doğrusal polarize reflektör anten

Şekil 4. 30' da antenin geri dönüş kaybı gösterilmektedir. Çalışılan band boyunca geri dönüş kaybı -15 dB seviyesinin aşağısındadır.



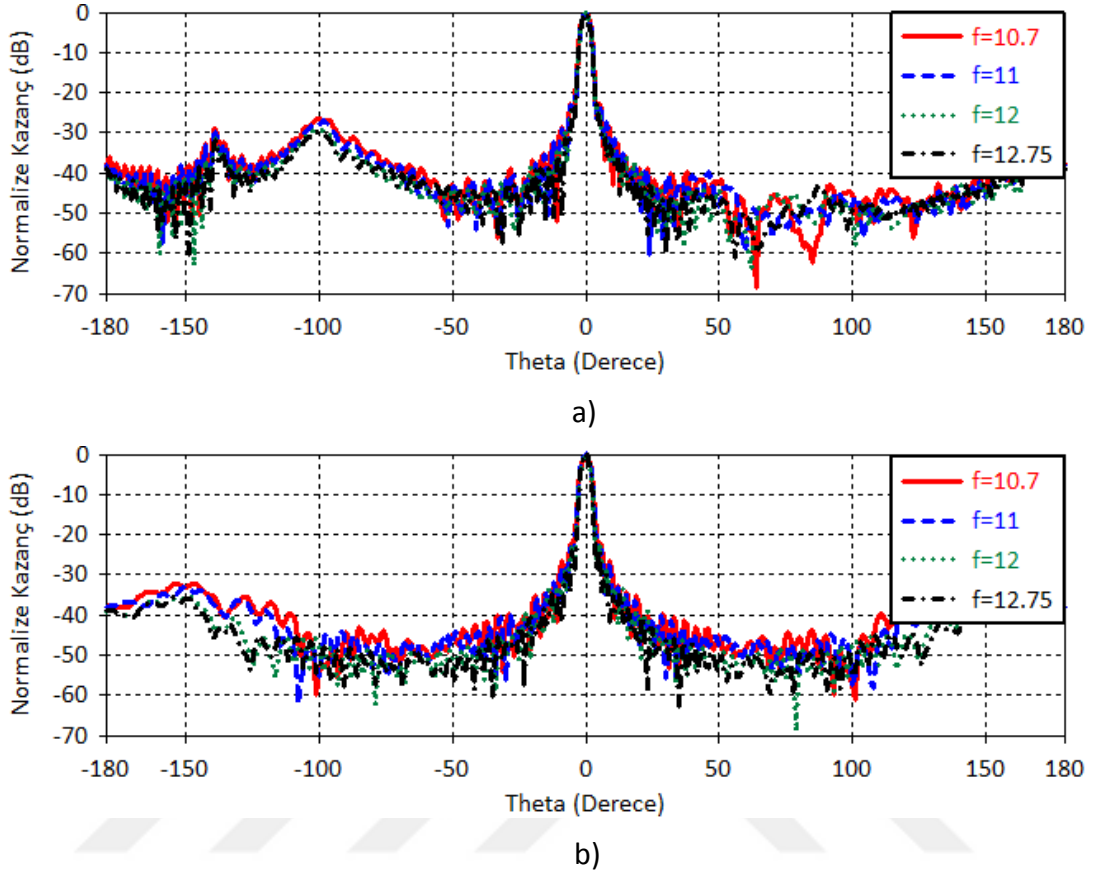
Şekil 4. 30 Doğrusal polarize reflektör antenin geri dönüş kaybı

Şekil 4.31' de ise doğrusal polarizeli reflektör antenin ışınım paterni 3 boyutlu olarak gösterilmektedir. Maksimum kazanç 32.9 dBi seviyelerindedir.



Şekil 4. 31 Odak-dışı beslenen doğrusal polarize reflektör antenin ışınım paterni

Şekil 4. 32' de tasarlanan antenin normalize ışınma paterni E ve H düzlemleri için gösterilmektedir.



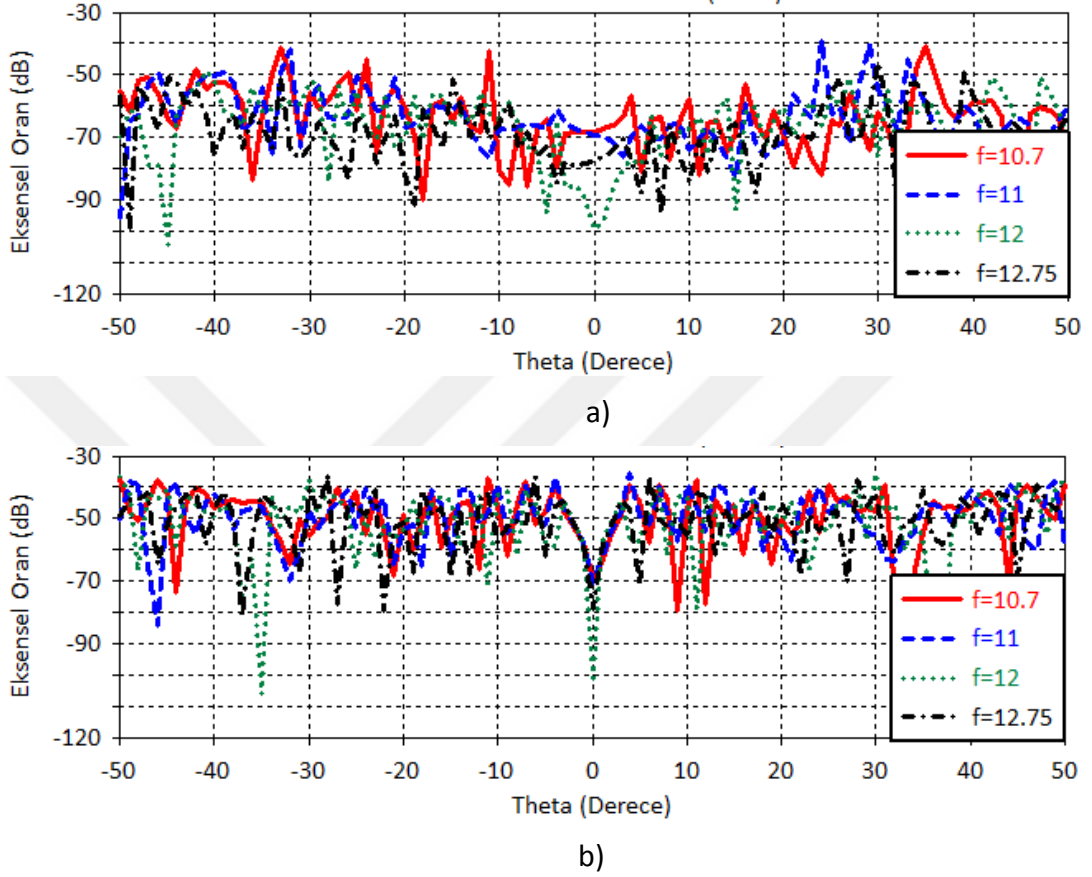
Şekil 4. 32 Doğrusal polarize odak-dışı beslenen reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi

Çizelge 4. 6' da odak-dışı beslenen reflektör antenin performans parametreleri gösterilmektedir. Antenin performans parametrelerine göre frekans arttıkça kazancın arttığı ve yan lob seviyesinin düştüğü gözükmektedir. Bunun yanısıra antenin 3 dB hüzme genişliği bir miktar daralmıştır. Bu sayede sinyalin iletilmek istendiği noktaya daha az kayıpla sinyal gönderilebilmektedir.

Çizelge 4. 6 Doğrusal polarizeli reflektör antenin performans parametreleri

Frekans (GHz)	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)
10.7	32.5	32.2	3.3	-22.7
11	32.9	32.7	3.2	-22.7
12	32.2	33	3.1	-23.2
12.75	33.6	33.5	2.9	-24.1

Şekil 4. 33'de eksensel oran E ve H düzlemi gösterilmektedir. Antenin ışıma yaptığı yarım güç hüzmeye genişliği içerisinde eksensel oran -70 dB den daha aşağıda bir değere sahiptir.

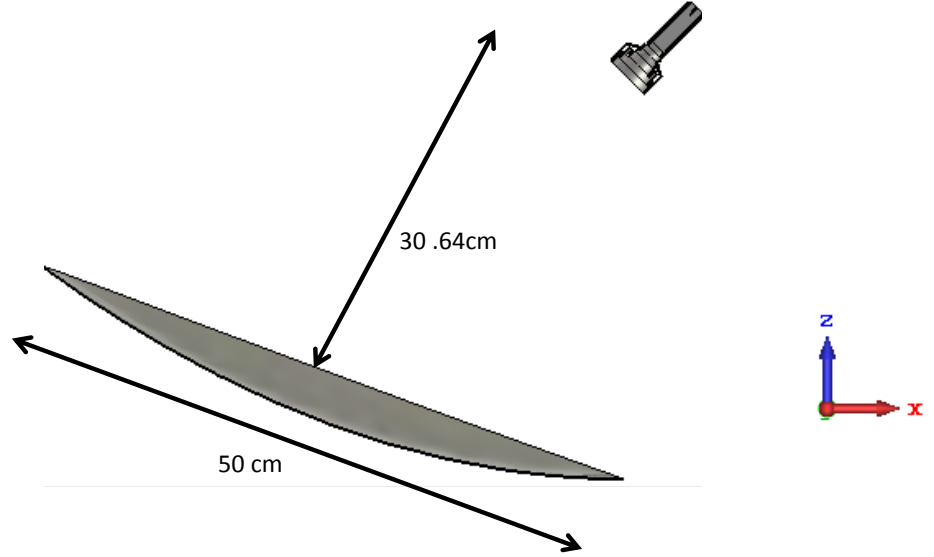


Şekil 4. 33 Doğrusal polarize reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi

4.3.2.2 Dairesel Polarize Reflektör Anten

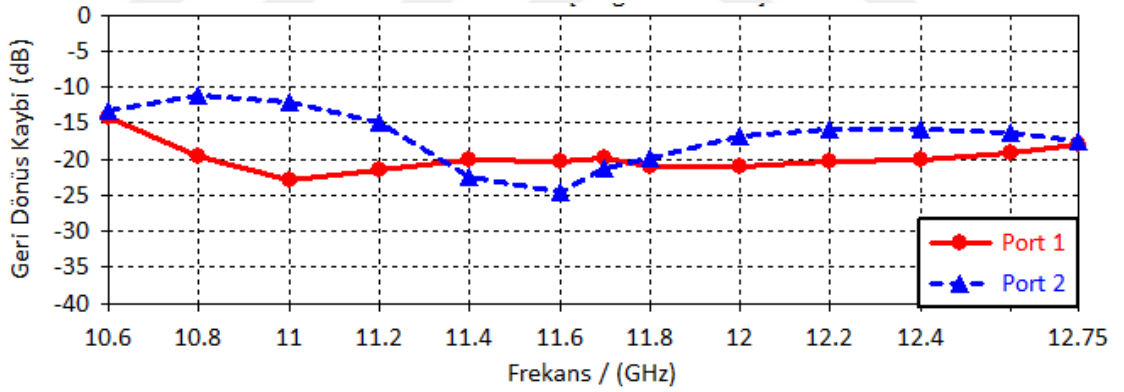
Septum yapısı doğrusal polarizasyonlu gelen sinyalin dairesel polarizasyonlu olarak iletilmesini sağlar. Bu bölümde yapılan tasarımda reflektör sistemin dairesel polarizasyonlu olarak ışıma yapmasını sağlamak için septumlu horn anten, besleme anteni olarak kullanılacaktır. Odak-dışı beslenen reflektör antenlerde doğrusal polarizasyonlu besleme anteni kullanıldığında çapraz polarizasyona sebep olmaktadır. Dairesel polarizasyonlu besleme anteni kullanmak çapraz polarizasyonu azaltmaktadır.

3. bölümde detaylı bir şekilde gösterilen anten parametreleri denklemleri kullanılarak antenin çapı, derinliği ve odak uzaklığı belirlenmiştir.



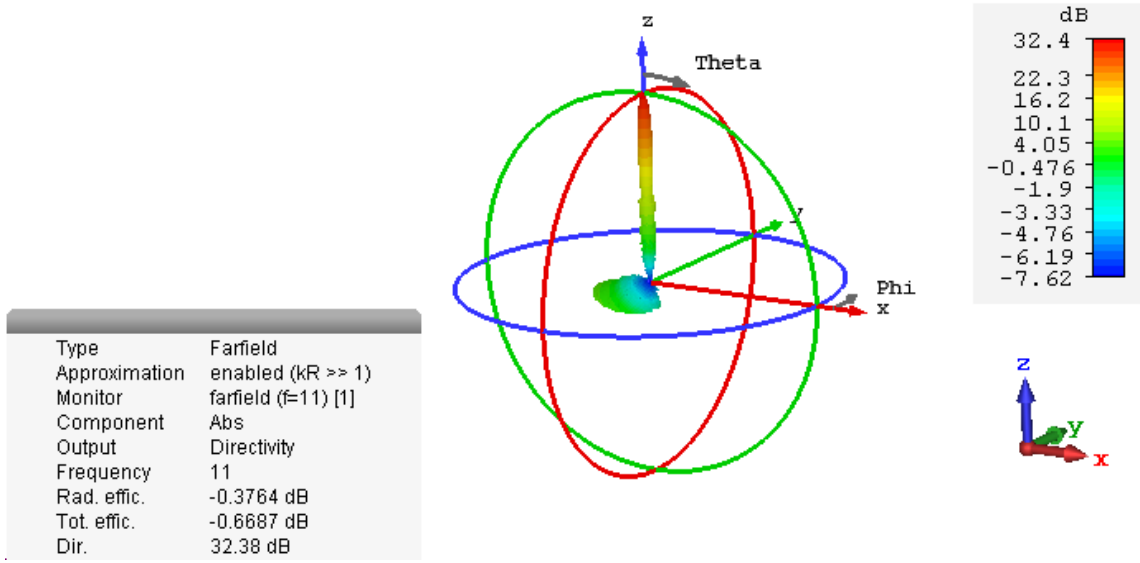
Şekil 4. 34 Odak-dışı beslenen dairesel polarize reflektör anten

Anten boyu 50 cm ve odak uzaklığı 30.64 cm' dir. Besleme anteni faz merkezinden 45 derece çevrilmiştir. Şekil 4.35' de dairesel polarize antenin geri dönüş kaybı, çalışılan band boyunca gösterilmektedir. Geri dönüş kaybı, çalışılan band boyunca -10 dB' nin altındadır.



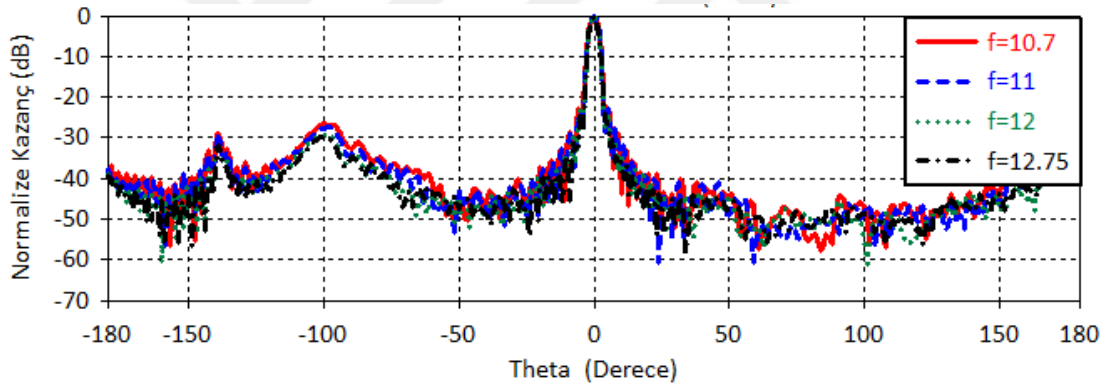
Şekil 4. 35 Dairesel polarize reflektör antenin geri dönüş kaybı

Şekil 4.36' da antenin ışıma paterni 3 boyutlu olarak gösterilmektedir. Antenin 11 GHz' deki maksimum kazancı 32.05 dBi olarak görülmektedir. Patern incelendiğinde kalem gibi ince bir paterne sahip olduğu gözükmemektedir.

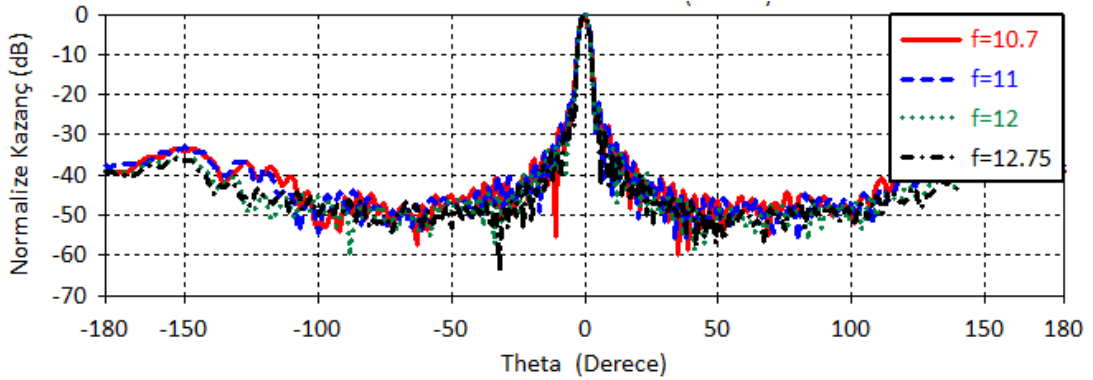


Şekil 4. 36 Odak-dışı beslenen dairesel polarize reflektör antenin ışınma paterni

Şekil 4.37' de tasarlanan antenin E ve H düzlemlerinde normalize kazanç paternleri gösterilmektedir.



a)



b)

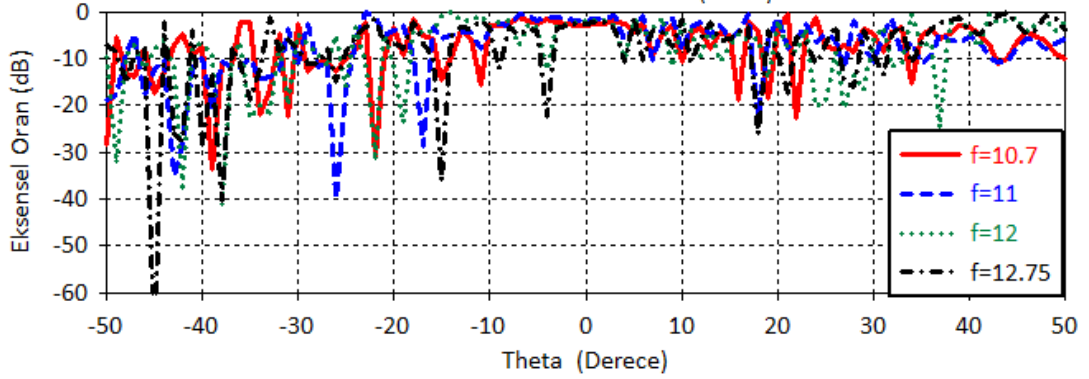
Şekil 4. 37 Dairesel polarize odak-dışı beslemeli reflektör antenin normalize kazanç paterni a) E-düzlemi b) H-düzlemi

Çizelge 4. 7' de odak-dışı beslenen reflektör antenin performans parametreleri gösterilmektedir. Çalışılan frekans boyunca 3 dB hüzme genişliği oldukça dar bir açığa sahiptir ve frekans arttıkça kazanç değeri artarken, yan lob seviyesi düşmektedir.

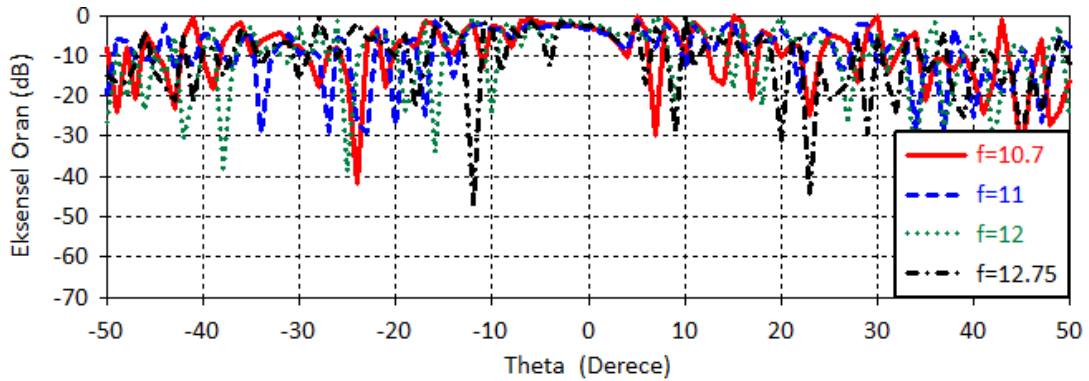
Çizelge 4. 7 Dairesel polarizeli odak-dışı beslemeli reflektör antenin performans parametreleri

Frekans (GHz)	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)
10.7	32.1	31.3	3.5	-21.6
11	32.4	31.7	3.4	-22.0
12	32.6	32.1	3.1	-22.3
12.75	32.9	32.4	2.9	-23,8

Şekil 4.38' de eksensel oran E ve H düzlemleri için gösterilmektedir. 3 dB hüzme genişliği içerisinde eksensel oran 0 ile -3 dB aralığında değişim göstermektedir.



a)



b)

Şekil 4. 38 Dairesel polarize odak-dışı beslemeli reflektör antenin eksensel oranı a) E-düzlemi b) H-düzlemi

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, radar ve uydu haberleşmesi uygulamalarında kullanılan reflektör anten ve bu antenlerde kullanılan horn antenler incelenmiştir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda CST programı yardımı ile anten tasarımı gerçekleştirilmiştir ve sonuçları paylaşılmıştır.

Reflektör anten sistemlerinde besleme anteni olarak horn anten sıklıkla kullanılmaktadır. Horn antenlerde serbest uzay ile antenin empedansı arasındaki uyumsuzluğu azaltmak için açılan ağız yapısı kullanılır. Serbest uzay ve dalga kılavuzu arasındaki empedans uyumsuzluğu dalganın geri yansımaları veya saçılmasına sebep olmaktadır. Bu etkiyi azaltmak için horn antenin ağız kısmının iç tarafına yerleştirilmiş çıkıntılardan oluşan, oluklu yapıdaki horn antenler besleme anteni olarak kullanılabilir.

Tez çalışmasında, öncelikle reflektör sistemde kullanılacak horn besleme anteni tasarlanmıştır. Horn antenin hem sağ el hem de sol el polarize çalışacak şekilde tasarlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda septum polarizör adı verilen bir yapı kullanılmıştır. Septum polarizör giriş portundan alınan doğrusal polarize işaretin, eşit güçte dairesel polarize olarak çıkış portuna iletilmesini sağlayan bir yapıdır. Dairesel polarizasyonun, doğrusal polarizasyona göre pek çok avantajı vardır. Dairesel polarizeli işaret Faraday etkisinden etkilenmez, atmosferik koşullar karşısında daha dirençlidir, anten kurulumu daha kolaydır ve bağlantı güvenilirliği daha yüksektir. Polarizasyon

performansını kıyaslamak için tasarlanan yapıların eksensel oran değerleri karşılaştırılmıştır. Doğrusal polarizeli anten tasarımında eksensel oran -30 dB den aşağı seviyelerde seyrederken, dairesel polarizeli anten tasarımında 0 dB seviyelerindedir. Ayrıca dairesel polarizeli besleme anteni kullanmak çapraz polarizasyonu azaltmaktadır. Yukardaki avantajlar ve tasarım sonuçları göz önünde bulundurulduğunda septumlu horn antenin besleme anteni olarak kullanılması daha avantajlıdır.

Çizelge 5. 8 Tasarlanan yapıların performanslarının karşılaştırılması

Yapı	Yönlendiricilik (dB)	Kazanç (dBi)	3dB Hüzme Genişliği (derece)	Yan Lob Seviyesi (dB)	3 dB Hüzme Genişliği İçerisindeki Eksensel Oran(dB)(EO _{min} :EO _{max})
Septumlu dalga kılavuzu	7.35	7.19	78.3	-11.1	-0.71:0
Doğrusal polarize horn anten	12.3	12.2	45.8	-24.9	-60:-31.53
Dairesel polarize horn anten	12.3	12	45.8	-26.8	-2,85:0
Odaktan beslenen doğrusal polarize reflektör anten	32.9	32.6	3.6	-24.5	-100:-70
Odaktan beslenen dairesel polarize reflektör anten	32.7	32.2	3.5	-23.6	-2,85:0
Odak-dışı beslenen doğrusal polarize reflektör anten	32.9	32.7	3.2	-22.7	-90:-67
Odak-dışı beslenen dairesel polarize reflektör anten	32.4	31.7	3.4	-22.0	-2,85:0

Besleme anteni belirlendikten sonra, reflektör anten tasarımı yapılırken odaktan ve odak dışından besleme konfigürasyonları kullanılmıştır. Her ikisinin kendine göre

avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Odaktan besleme senaryosunda maksimum kazanç değeri odak-dışı besleme ile benzer seviyelerde olmasına karşın, besleme antenin yansıyan dalganın hüzmelerinin yolu üzerinde bulunması antenin verimliliğini düşürmektedir. Odak-dışı beslemede verilen offset değeri ile antenin huzmesi istenilen açıya yönlendirilebilir. Bu çalışmada, Ku bandı aşağı yönlü uydu haberleşmesi için reflektör sistemi tasarlanması amaçlanmıştır. Hüzmeyi yönlendirmesi göz önünde bulundurulunca odak-dışı besleme daha avantajlıdır.

Çizelge 5. 1' de tasarlanan tüm yapıların yönlendiricilik, kazanç, 3dB hüzmeye genişliği ve 3dB hüzmeye genişliği içerisindeki minimum ve maksimum eksensel oran değerleri gösterilmektedir. Kazanç değerlerini kıyasladığımızda septumlu dalga kılavuzunun kazancının en düşük olduğu ve reflektör antenin neredeyse beşte birine eşit olduğu görülmektedir. Eksenler oranlarını kıyasladığımızda dairesel polarizasyonlu yapılarda oran 0 dB seviyelerinde iken, doğrusal polarizasyonlu yapılarda -30 dB nin altındadır. Dairesel polarizasyon septum polarizör yapısı ile sağlanmıştır ve simülasyon sonuçlarına göre septum yapısının düzgün bir şekilde çalıştığı görülmektedir. Septum polarizörlü ve septum polarizörsüz hornla tasarlanan odaktan beslenen reflektör antenlerde sırasıyla 32.6 ve 32.3 dBi kazanç elde edilmiştir. Septum yapısı odaktan beslenen reflektör sistemin kazancı 0.4 dB azalmaya sebep olurken, odak-dışı beslenen reflektör sistemde 1 dB' lik bir azalmaya sebep olmuştur. 3 dB hüzmeye genişliği reflektör antenlerde çok dar iken horn anten ve dalga kılavuzunda çok daha geniş bir açıya sahiptir. Hüzmeye genişliğinin reflektör antenlerde dar olması sebebiyle besleme antenin konumu oldukça kritik bir öneme sahiptir. Besleme antenin konumuna ve odak-dışı beslemede açısına göre reflektör antenin ışın yapacağı açı değişiklik göstermektedir. Bu da odak-dışı beslenen antenlerin matematiksel modelinin incelenmesi ve tasarıma uygulanması ile gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Sevgi, L., (2005).” EMC ve antenler: I – Tanımlar”. Endüstriyel & Otomasyon, Ağustos sayısı, 10:63-70.
- [2] Huang, Y. ve Boyle K., (2008). “Antennas From Theory to Practice”, John Wiley & Sons, Inc., USA
- [3] Hille K., (2007). ”Der Dipol in Theorie und Praxis”, Third Edition, Theuberger, Almanya.
- [4] Basu, D., (2010). “Dictionary of Pure and Applied Physics”, 2nd Ed. CRC Press.21.
- [5] Winder, S. ve Carr J. (2002). “Newnes Radio and RF Engineering Pocket Book”, 3rd Ed. Newnes. 4.
- [6] Balanis, C.A., (2005). “Antenna Theory Analysis and Design”, Third Edition, A John Wiley & Sons, INC., Hoboken, New Jersey.
- [7] Stutzman W. L. ve Gary A. T., (2012). “Antenna Theory and Design”, 3rd Ed. US: John Wiley & Sons. 391-392.
- [8] Olver, A.D., (1994). “Microwave horns and feeds”. USA: IET. 3.
- [9] Hannan P.W., (1961). “Microwave Antennas Derived from the Cassegrain Telescope,” IRE Trans.Antennas Propagat., AP-9 (2):140–153.
- [10] Rusch W.V.T., (1963). “Scattering from a Hyperboloidal Reflector ina CassegrainFeed System,”IEEE Trans. Antennas Propagat.,AP-11 (4): 414–421.
- [11] Barrow, W. L.,Chu, L.J., (2006). “Theory of Electromagnetic Horn”, 51-64.
- [12] Milligan, T.A., (2005). “Modern Antenna Design”, Second Edition, A John Wiley & Sons, INC., Hoboken, New Jersey.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Burak Sertkaya
Doğum Tarihi ve Yeri :14.09.1990 Keşan
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :burak.sertkaya2@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	EHM	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	-	Burak Bora Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	Vodafone	Kıdemli Yazılım Geliştirme Uzmanı

YAYINLARI

Bildiri

1. Sertkaya B., Türker Tokan N., (2016). "Dual Circular Polarized Corrugated Horn Antenna Design for Feeding Parabolic Reflector Antenna" , ELECTROTECH' 16 IV. International Electric and Electronic Engineering and Technologies Conference,29-30 September 2016, İstanbul

