

154660

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİŞİSEL MOBİL UYDU HABERLEŞME
SİSTEMLERİ İÇİN ANTEN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Burak BAYRAKCI
504011206**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Eylül 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Ekim 2004**

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Selçuk PAKER

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Osman PALAMUTCUOĞULLARI (İ.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Tanju YELKENCİ (M.Ü.)

T. Yelkenci

EKİM 2004

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamam sırasında verdiği destek ve yardımları nedeniyle Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk Parker'e ve hep yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Eylül 2004

Burak BAYRAKCI



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1 GİRİŞ	1
2 KİŞİSEL UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	3
2.1 Kişisel Uydu Haberleşme Sistemleri	3
2.2 Geosenkron Uydular	4
2.3 Mobil Uydu Servisleri	6
2.4 Anten Seçimi	7
2.4.1 Mikroşerit Antenler	8
3 TASARIM ÖN ÇALIŞMASI	10
3.1 Tasarımı Yapılacak Antenin Özellikleri	10
3.2 U-Yarıklı Mikroşerit Yama Anten	10
3.3 Simülasyon Ortamı	11
4 ANTEN TASARIMI	12
4.1 L-Bandı İçin U-Yarıklı Mikroşerit Yama Anten Tasarımı	12
4.2 Tasarlanan Antenin Mobil Uydu İletişimi İçin Modifikasyonu ve Analizi	17
4.3 Besleme Devresi Tasarımı	25
4.4 Yeni Antenin Kullanım Alanları Ve Örnek Uygulamaları	37
5 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	39
KAYNAKLAR	41
EK A	43
ÖZGEÇMİŞ	62

KISALTMALAR

GMPCS	: Global Mobile Personal Communication via Satellite
MSS	: Mobile Satellite Services
LNA	: Low-Noise Amplifier
PA	: Power Amplifier
GPS	: Global Positioning System
LHCP	: Left Hand Circular Polarization
RHCP	: Right Hand Circular Polarization
MoM	: Method of Moments
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio
Att.	: Attenuator
DC	: Direct Current



TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 L-bandı u-yarıklı mikroşerit yama anten boyutları.....	14
Tablo 4.2 Dairesel polarize u-yarıklı mikroşerit yama anten boyutları.....	17
Tablo 4.3 Kullanılan mikroşerit hatların genişlik ve dalga boyu uzunlukları.....	29
Tablo 5.1 Benzer amaçla üretilen antenlerden bazılarının özellikleri.....	40



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Geoistasyoneryaydu yörüngesi.....	4
Şekil 2.2 Dünya çapında kapsama alanı	4
Şekil 2.3 Mobil uydu servis ağı	6
Şekil 4.1 Simülasyon ortamı ayarları-1	12
Şekil 4.2 Simülasyon ortamı ayarları-2	13
Şekil 4.3 Simülasyon ortamı ayarları-3	13
Şekil 4.4 L-bandı u-yarıklı mikroşerit yama anten	14
Şekil 4.5 L-bandı u-yarıklı mikroşerit yama antenin üç boyutlu görünüşü	15
Şekil 4.6 U-yarıklı mikroşerit yama anten S_{11} grafiğı	15
Şekil 4.7 U-yarıklı mikroşerit yama anten duran dalga oranı grafiğı	16
Şekil 4.8 Dairesel polarize u-yarıklı mikroşerit yama anten	18
Şekil 4.9 Dairesel polarize u-yarıklı mikroşerit yama antenin üç boyutlu görünüşü	18
Şekil 4.10 E_ϕ ve E_θ elektriksel alanlarının açı değişimleri	19
Şekil 4.11 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP RHCP grafiğı	20
Şekil 4.12 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP RHCP grafiğı	21
Şekil 4.13 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP RHCP grafiğı	22
Şekil 4.14 Anten yüzeyi akım hareketleri	23
Şekil 4.15 Giriş yansıma katsayıları	24
Şekil 4.16 Duran dalga oranları	24
Şekil 4.17 Besleme kapıları arasındaki izolasyon	25
Şekil 4.18 Besleme devresi üretim topolojisi	26
Şekil 4.19 Eşit olmayan Wilkinson güç bölücü devre şeması	27
Şekil 4.20 Besleme kapılarına gücün dağılımı	28
Şekil 4.21 Besleme güç bölücü devresi	30
Şekil 4.22 Besleme güç bölücü devresi iletim parametreleri	30
Şekil 4.23 Anten besleme kapıları giriş empedansı değişimi	31
Şekil 4.24 Port1 empedans uydurucu	32
Şekil 4.25 Port2 empedans uydurucu	32
Şekil 4.26 Port3 empedans uydurucu	33
Şekil 4.27 Besleme devresi	34
Şekil 4.28 Anten besleme devresi iletim parametreleri	35
Şekil 4.29 Anten besleme devresi çıkış faz farkları	36
Şekil 4.30 Besleme devresi çıkış kapıları arasındaki izolasyon	36
Şekil 4.31 Mobil anten aktif devre blok diagramı	38
Şekil A.1 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=15^\circ$, LHCP grafiğı	43
Şekil A.2 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=30^\circ$, LHCP grafiğı	44
Şekil A.3 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP grafiğı	44
Şekil A.4 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=60^\circ$, LHCP grafiğı	45
Şekil A.5 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=75^\circ$, LHCP grafiğı	45
Şekil A.6 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=-90^\circ$, LHCP grafiğı	46
Şekil A.7 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=-60^\circ$, LHCP grafiğı	46
Şekil A.8 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=-30^\circ$, LHCP grafiğı	47

Şekil A.9 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP grafiği	47
Şekil A.10 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=30^\circ$, LHCP grafiği	48
Şekil A.11 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=60^\circ$, LHCP grafiği	48
Şekil A.12 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP grafiği	49
Şekil A.13 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=15^\circ$, LHCP grafiği	49
Şekil A.14 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=30^\circ$, LHCP grafiği	50
Şekil A.15 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP grafiği	50
Şekil A.16 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=60^\circ$, LHCP grafiği	51
Şekil A.17 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=75^\circ$, LHCP grafiği	51
Şekil A.18 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=-90^\circ$, LHCP grafiği	52
Şekil A.19 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=-60^\circ$, LHCP grafiği	52
Şekil A.20 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=-30^\circ$, LHCP grafiği	53
Şekil A.21 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP grafiği	53
Şekil A.22 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=30^\circ$, LHCP grafiği	54
Şekil A.23 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=60^\circ$, LHCP grafiği	54
Şekil A.24 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP grafiği	55
Şekil A.25 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=15^\circ$, LHCP grafiği	55
Şekil A.26 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=30^\circ$, LHCP grafiği	56
Şekil A.27 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP grafiği	56
Şekil A.28 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=60^\circ$, LHCP grafiği	57
Şekil A.29 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=75^\circ$, LHCP grafiği	57
Şekil A.30 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=-90^\circ$, LHCP grafiği	58
Şekil A.31 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=-60^\circ$, LHCP grafiği	58
Şekil A.32 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=-30^\circ$, LHCP grafiği	59
Şekil A.33 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP grafiği	59
Şekil A.34 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=30^\circ$, LHCP grafiği	60
Şekil A.35 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=60^\circ$, LHCP grafiği	60
Şekil A.36 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP grafiği	61

SEMBOL LİSTESİ

E_ϕ, E_θ	: Elektrik alan vektörleri
ϵ_r	: Ortamın dielektrik sabiti
IL	: İletim kaybı
K	: Wilkinson güç bölücü oranı
P	: Elektriksel güç
θ_s	: Optimum uydu görüş açısı
ϕ, θ	: Dairesel koordinatlar
Γ	: Yansıma katsayısı
R_x, T_x	: Almaç, göndermeç kanalları
TL	: Mikroşerit iletim hattı
Z_{IN}	: Giriş empedansı
Z_0	: Mikroşerit hat karakteristik empedansı

KİŞİSEL MOBİL UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN ANTEN

TASARIMI

ÖZET

Uydu üzerinden global mobil kişisel iletişim (GMPCS) sistemlerinin önemi her geçen gün artmaktadır. Teknolojik ve bilimsel gelişmelerin kullanıcılara, uydunun kapsadığı geniş coğrafi bölge içinde ufak el terminalleri ile ucuza iletişim imkanı sunması, bu sistemin kullanımını, diğer haberleşme ağları ile entegrasyonunu ve bu alan için yapılan tasarım çalışmalarını arttırmıştır. Konu üzerinde yapılan çalışmalara katkıda bulunması amacıyla L-bandında çalışan bir mikroşerit yarık anten tasarımı bu tez çalışmasında sunulmuştur.

Uydu üzerinden kişisel haberleşme sistemleri ilk olarak 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Diğer haberleşme ağlarına göre çok daha büyük bir coğrafi alanda kullanılan bu sistemlerin sağladığı avantajlardan etkin bir şekilde yararlanabilmek için sağlıklı bir uydu-yeryüzü bağlantısı kurulmalıdır. Özellikle mobil uygulamalar için tercih edilen kişisel uydu haberleşme sistemlerinde, donanımın en önemli elemanı antenlerdir. Kapsanan coğrafi alan içinde, mobil uygulamanın kullanıldığı çevre şartlarına ve fiziksel kısıtlamalara uygun, maliyeti düşük, kesintisiz ve güvenilir iletişim garantisi veren bir antene ihtiyaç duyulur.

Mikroşerit yarık antenler, kişisel mobil uydu haberleşme sistemlerinin gereksinimlerini karşılayabilecek anten yapılarından biridir. Mikroşerit antenler kompakt, düşük profilli, kolay üretilebilir olmaları ve dairesel polarizasyonlu çokyönlü paternde tasarlanabilmeleri nedeniyle birçok kablosuz uygulamada tercih edilir. Bu antenlere çeşitli en ve boyda açılacak yarıklar sayesinde ise, yapının en büyük dezavantajı olan bantgenişliği problemi çözümlenmiştir.

Tasarım ortamının sunduğu imkanlar dahilinde, tasarlanan mikroşerit yarık antenin benzetimleri yapılmış ve benzetim sonuçları değerlendirilerek, yapılan çalışma benzerleri ile karşılaştırılmış, antenin kullanım alanları belirlenmiştir.

ANTENNA DESIGN FOR PERSONAL MOBILE SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

SUMMARY

Global Mobile Personal Communication via Satellite (GMPCS) are widely used in today's telecommunication systems. Growing demand for satellite based telecommunication solutions and personal communication system designs in many branches of the telecommunication market, make these systems more essential. Recent advantages in technological developments, make GMPCS systems to become more extensively used by subscribers via small hand terminals in a large coverage area. Not only for electronic equipment manufacturers but also for design and research groups, personal satellite communication systems are becoming more attractive as a research and development project, simply because of that, the projections made for the next few years are pointing the demand for more useful and compact personal communication systems. Considering these requirements as design criteria and planning to support the related research studies done on the subject, a microstrip slot antenna is introduced in this thesis.

GMPCS systems was used in the early 60's, performing operation over a large geographical area, compared with other communication systems. This advantage of coverage could be utilized with a robust ground-satellite link. The most important part of satellite link, especially in mobile applications, is antenna. There is a great requirement of antenna that is suitable to environmental conditions and physical limitations, cheap and guarantees continuous communication in all over the coverage area.

Microstrip slot antenna topology is a good candidate to cover mobile personal communication system requirements. Microstrip antennas are preferred during design procedure on most of wireless applications due to their compact, low profile, easy manufacturing properties and achieving omnidirectional radiation pattern easily. By creating slots of suitable length and width on microstrip substrate, the designer can also overcome the main drawback of microstrip antennas; bandwidth problem.

New type microstrip slot antenna was simulated during design procedure. The simulation results were evaluated and the usage areas were discussed with comparing same class of antennas.

1 GİRİŞ

Uydu haberleşme ağları son kırk yıl içinde temel iletişim sistemlerinin vazgeçilmez parçası olmuşlardır. Uygulama alanı olarak kendisine özellikle, direkt televizyon ve ses yayını, geniş bant veri dağıtımı, gemi uçak gibi araçlar için mobil iletişim, kullanıcılar için ufak ve ucuz terminaller ile kesintisiz iletişim gibi, avantajları açısından bakıldığında alternatifi olmayan servisler seçen uydu haberleşme sistemleri, iletişim piyasasında diğer rakipleri ile rekabet etmeyi başarabilmiştir. Son dönemde ise, teknolojinin sistem yapısına sunduğu olanaklar sayesinde, uydu üzerinden global mobil kişisel iletişim (GMPCS) sağlayan birçok firma kullanıcılara hizmet vermeye başlamıştır.

Kişisel uydu haberleşme sistemlerinde amaç sabit veya mobil kullanıcılara kırsal veya şehirsal alanlarda tercihe bağlı olarak, çift yönlü kaliteli ses ve data iletişimini ufak el terminalleri aracılığıyla ucuza sağlamaktır. [1] Uydu iletişim ağlarını diğer haberleşme sistemlerinden ayıran en önemli özellik geniş bir coğrafi alanı kapsayabilme yeteneğidir. Bu alan içinde kullanıcılara konumlarından bağımsız olarak, kesintisiz ve karşılaştırılabilir fiyatlarla kişisel ses ve data aktarma olanağı sunulmuştur.

Kişisel uydu haberleşme sistemlerinin sunduğu bu hizmetlerden, en iyi şekilde faydalanabilmek için kullanılan yeryüzü terminali ile uydu arasında iyi bir bağlantıya ihtiyaç duyulur. Yeryüzü terminallerinde bağlantı kalitesi, sistem yapısına özgü üretilen yüksek güçlü çıkış katları, yüksek hassasiyette alıcılar ve iyi bir anten tasarımıyla mümkündür. Özellikle mobil uygulamalarda tercih edilen anten sistem performansını birinci derecede etkiler.

Mobil uydu haberleşme sistemleri markette hızla artan bir paya sahiptir. Günümüzde sunduğu fiyat avantajları ve GPS, araç takibi, navigasyon gibi özelliklerle kombine edilmesi bu sistemlerin kullanımını arttırmıştır. Mobil uygulamalarda, uydu bağlantısının kesintisiz ve sağlıklı olarak kurulabilmesi, üzerinde durulması gereken en önemli konudur. Uydu kapsama alanı içinde, her noktada haberleşmeyi sağlayacak kalitede sinyal seviyesini elde etmek için iyi bir anten tasarımına ihtiyaç

duyulur. Kullanılacak anten ya geniş hüzme açıklıklı, düşük kazançlı, ya da orta kazançlı bir uydu izleme anteni olmalıdır. Bunların yanında haberleşme sisteminin kurulduğu mobil uygulamanın sunduğu fiziksel şartlarda anten tasarımında göz ardı edilemez. Uygun anten tasarımına bu ana parametreler değerlendirilerek başlanmalıdır.

Mikroşerit anten yapısı sahip olduğu özellikler ile mobil uygulamalarda yaygın bir şekilde tercih edilir. Fiziksel ortam şartlarına kolay uymaları ve tüm yönlü paternleri bu antenlerin en büyük avantajıdır. Düşük profil yapıları sayesinde mobil araçlarda her yüzeye uyum sağlayabilirler. Tasarımda karşılaşılan en büyük zorluk ise, bu yapının bant genişliğinin dar olmasıdır. Bu problem, antenin geniş uygulama alanı önündeki temel engeldir. Mikroşerit anten plakası üzerine uygun boy ve genişlikte açılacak yarıklar ile antenin bant genişliği artırılabilir. İlk olarak 1940'lı yıllarda incelenmeye başlayan yarık yapılar ile, mikroşerit antenlerin bant genişliği ve boyutları üzerinde etkili gelişmeler sağlanmıştır..

Yapılan çalışmada, mobil uydu haberleşmesinde anten gereksinimleri, ve bu gereksinimlere cevap verecek yeni bir mikroşerit yarık anten tasarımı sunulmuştur.

2 KİŞİSEL UYDU HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Bu bölümde kişisel uydu haberleşme sistemlerinin genel yapısı ve gereksinimleri ile ilgili bilgi verilmiştir.

2.1 Kişisel Uydu Haberleşme Sistemleri

Kişisel uydu haberleşme sistemlerini diğer haberleşme ağlarından ayıran en önemli özellik geniş bir coğrafi alanı kapsayabilme yeteneğidir. Hali hazırda hücresel haberleşme sistemleri insanların iletişim ihtiyaçlarına başarıyla cevap vermesine rağmen, kapsama alanları dünyanın kalabalık bölgeleri ile sınırlıdır. Gelişen ticari ve toplumsal yapıda, uluslararası ve denizaşırı ilişkilerin artması, global haberleşme sistemlerine olan talebi de arttırmıştır. Bu talebi değerlendiren birçok kişisel uydu haberleşme şirketi bireysel kullanıcılara ufak el terminalleri ile, konumlarından bağımsız olarak mobil kesintisiz iletişim imkanı sunmaktadır.

Uydu kapsama alanına giren geniş coğrafi alan içinde, kullanıcılara uluslararası dolaşım imkanı sağlayan sistem yapısı, bireysel haberleşme maliyetlerini de oldukça aşağıya çekmiştir. Ayrıca teknolojinin sunduğu olanaklar sayesinde yeni jenerasyon el terminallerinde, birleştirilen hücresel ve uydu haberleşme sistemleri kullanıcılara tercihe bağlı ekonomik ve konforlu iletişim imkanı sunmuştur.

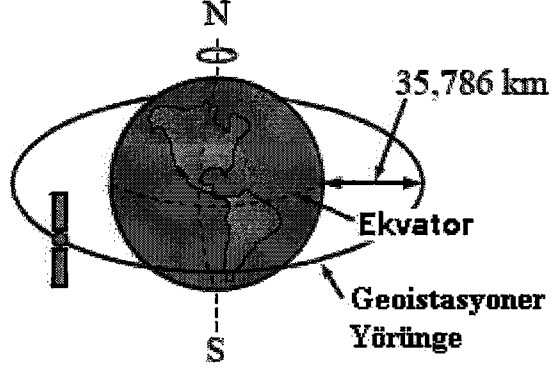
Uydu haberleşme sistemleri aynı zamanda, coğrafi nedenlerden dolayı uzakta yaşayan veya izole olmuş toplulukların birbirleriyle veya diğer topluluklarla iletişim ihtiyaçlarını karşılayabilecek çekici bir yöntemdir. Bu sayede, bu toplulukların hem beşeri, hem de ticari gelişimine katkıda bulunulabilir.

Kişisel uydu haberleşme sistemlerinin en hızlı yayıldığı alan mobil uygulamalardır. Deniz, hava ve kara araçlarına özellikle kırsal alanda ses ve data iletişiminin sağlanması hayati bir konudur.

Çeşitli yörüngelerde kurulmuş kişisel haberleşme sistemleri olmasına rağmen en başarılı uygulamalar geosenkron uydular ile elde edilmiştir.

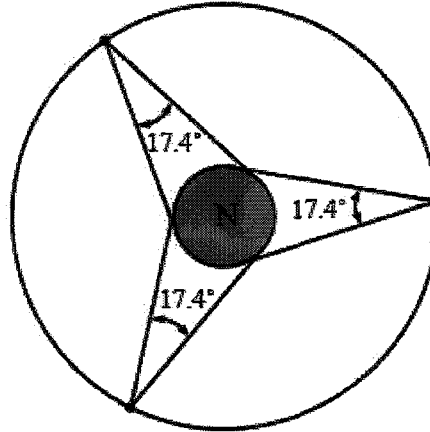
2.2 Geosenkron Uydular

Ekvator'dan yaklaşık 35786 km yükseklikteki çembere geosenkron yörünge denir. Aritmetik hesaplamalar yapıldığında bu yükseklikteki yörüngede, 3075 m/s hız ile dönen uydunun yörüngesel periyodu gün dönümüne eşittir. Bir başka deyişle uydu dünya ile senkronize döner. Şekil 2.1'de Geosenkron yörünge gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Geoistasyonel uydu yörüngesi

İzlenilen yörünge'nin eğimi sıfır seçilirse, yani uydular ekvator üzerinde bir iz takip ederse, dünya üzerindeki bir gözlemciye göre belirtilen yörüngedeki uydunun konumu sabit kalacaktır. Uygulamalarda genelde yörünge'nin eğimi sıfırdan çok az farklı seçilir, bu durumda bakış açısında gün içerisinde 0.1° - 2° arasında bir kayma olabilir.



Şekil 2.2 Dünya çapında kapsama alanı

Geosenkron uydular sunduğu olanaklar ile kişisel uydu haberleşme sistemlerinin gelişiminde önemli bir yere sahiptir. Dünya çevresinde geosenkron yörüngeye yerleştirilecek üç uydu ile nüfus yoğunluğunun az olduğu, kutuplar ve çevresi

dışında bütün yeryüzü tek iletişim ağına dahil edilebilir. Şekil2.2’de uyduların yerleşimi gösterilmiştir. Global iletişim ihtiyaçları ve pazar beklentileri açısından bakıldığında sunulan bu imkan çok önemli bir avantajdır.

Kişisel uydu haberleşme sistemlerinin kurulumu için geosenkron uyduların tercih edilmesinde, sunduğu avantajlar ön plana çıkmaktadır. Geosenkron uyduların başlıca avantajı kapsadığı geniş coğrafi alandır. Bunun yanında, yeryüzü terminallerine göre uydunun sabit durması birçok önemli avantajı beraberinde getirir. Öncelikle yeryüzü istasyonlarında pahalı uydu izleme sistemlerine gerek duyulmaz. Terminaller devamlı aynı uydu ile iletişim halinde olduklarından, diğer uydu haberleşme sistemlerinde yaşanan, iki uydu arasında anahtarlama sırasında meydana gelen iletişim kesintileri engellenir. Daha düşük yörüngelerde işlev gören uydu sistemlerinin aksine, kapsama alanındaki her nokta için terminaller ile uydu arasında yol kaybı sabit sayılabilir. Aynı zaman da taşıyıcı frekans için Doppler etkisi ihmal edilebilir. Geosenkron uyduların sağladığı bu avantajlar, kişisel uydu haberleşme sistemlerinin yer segmentini oluşturan terminallerin operasyonel yükünü en aza indirmektedir. Bu sayede kullanıcılara uydu üzerinden kişisel mobil iletişim hizmeti, daha kompakt ve taşınabilir el terminalleri ile verilebilmektedir.

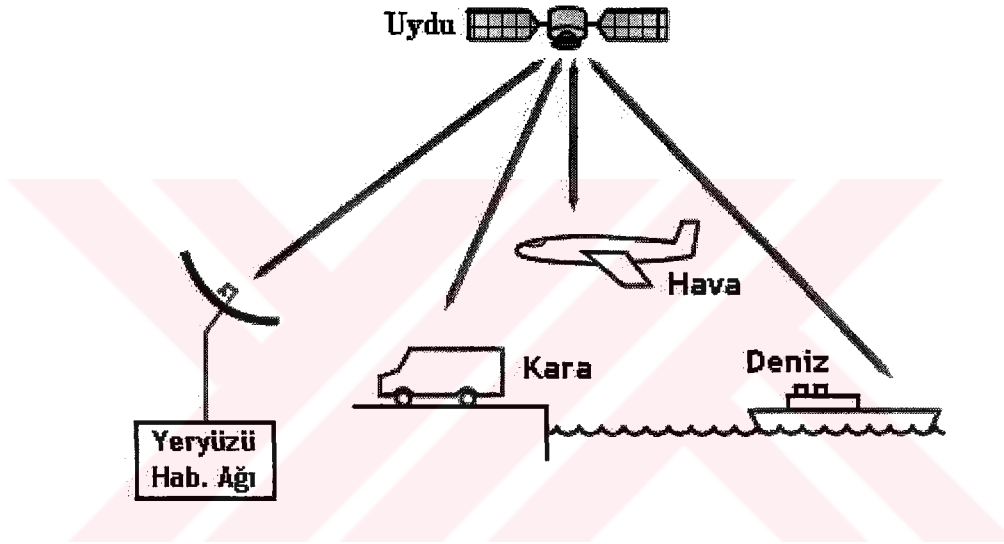
Avantajlarının yanında bu yörüngenin doğal bazı dezavantajları vardır. Geosenkron bir uydunun imalatı ve yörüngeye oturtulması ciddi bir sistem kurulum maliyeti gerektirir. Bunun yanında, ekvatorial bir geosenkron uydu ile $\pm 76^\circ$ enlemin üzerindeki coğrafi alanları kapsayabilmek mümkün değildir. Yeryüzü istasyonunun enlem derecesi arttıkça mobil uygulamarda sınırlamalar yaşanır. Yüksek enlemlerde, geosenkron uydular çok düşük açılarda görüldüğünden yansımalar nedeniyle sinyal kalitesi düşer, aynı zamanda bakış açısı, bina, tepe gibi fiziksel nedenlerden dolayı kapandığından, iletişim güvenilirliği azalır. Kullanıcıların konuşma konforunu etkileyen bir diğer dezavantaj ise yeryüzü ile uydu arasınadaki mesafeden kaynaklanan belirgin gecikmedir. Aynı zamanda, güneş gibi bir gürültü kaynağının anten görüş açısı içine girmesi nedeniyle, gün içinde kısa dönemlerde iletişim kalitesinde bir düşüş yaşanabilir.

Geosenkron uydular yörüngede belirli bir konum ve frekans spektrumu kullanır. Uyduların yörüngeye yerleştirilmesi, kullanılan antenin hüzme açıklığına ve yankulak yayılımı, taşıyıcı işaret frekansı, çıkış gücü, kullanılan kodlama ve

modülasyon tekniği, kabul edilebilir interferans limiti gibi parametrelere bağlı olarak yapılır.

2.3 Mobil Uydu Servisleri

Hücresel iletişim ağları ile kapsanamayan kırsal alanlardaki mobil uygulamalarda, deniz ve hava taşıtlarında, yüksek hızda data ve ses aktarımı sağlamak için en uygun çözüm uydu haberleşme sistemleridir. Mobil uydu servislerinin (MSS) temel bileşenleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Sistemin yeryüzü bölümü uydu üzerinden sabit haberleşme ağlarına bağlanan çeşitli terminallerden oluşur.



Şekil 2.3 Mobil uydu servis ağı

Mobil yeryüzü terminalleri kullanıldıkları uygulamalara göre farklılıklar gösterir. Kurulacak terminalin seçimi, uygulamanın büyüklüğüne, iletişim ihtiyaçlarına ve maliyete göre tespit edilir. Örnek olarak; bir gemi için tasarlanan terminal, anten boyutları nedeniyle otomobiller için kullanılamazken, uçaklar için tasarlanan sistemin maliyeti de kişisel kullanım için çok yüksek değerlere ulaşır. Bu nedenler tabiki, bir mobil uygulama için tasarlanan sistemin bir diğer mobil uygulamada kullanılamayacağı anlamına gelmez fakat tasarımda amaç ihtiyaçları karşılayacak en optimum sistemi kurmaktır.

Uydu haberleşmesi için temel kural olan sağlıklı bir bağlantı kurmak, mobil uygulamada, sabit uygulamalara nazaran çok daha zordur. Mobil uydu servislerinde

anten seçimi en önemli konudur. Kullanılan terminallerin uydunun geniş kapsama alanı içinde hareketli olması ve uygulama alanlarındaki fiziksel kısıtlamalar, kaliteli ve kesintisiz iletişim kurabilmek için seçilecek anten konusunda birçok kısıtlama getirir. Mobil uydu servislerindeki kullanımın artmasına paralel olarak bu sistemlerin gereksinimlerini karşılayacak anten tasarımları üzerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır.

2.4 Anten Seçimi

Kişisel uydu haberleşme sistemlerinde kullanılan yeryüzü terminallerinin bulundukları coğrafi bölgede uyduyla kesintisiz ve kaliteli iletişim kurabilmeleri için anten seçimi doğru yapılmalıdır. Özellikle geosenkron uyduları kullanan sistemlerde taşıyıcı işaret seviyesi oldukça düşük olduğu için, bu sistemler gürültüye çok daha duyarlıdır. Kullanılan antenin hüzme açıklığı ve elde edilen işaret/gürültü oranı sistem gereksinimlerini karşımalıdır.

Uydu haberleşme sistemlerinde genelde dairesel polarizasyonlu taşıyıcı işaret kullanılır. Elektromanyetik dalganın polarizasyonu, elektrik alan vektörünün uzaydaki oryantasyonunu açıklar. Dairesel polarize işaret kullanılmasının sistem altyapısı için önemli getirileri vardır. Kurulum esnasında antenlerin, oryantasyon gerektirmeden uyduya yönlendirilmesi yeterlidir. Aynı zamanda tek sayıdaki yansımalarda polarizasyon ters döndüğü için, alıcılar ancak ikinci yansıma sonucunda oluşan işarete duyarlı olur. Bu yansıyan işaret seviyesi ise yeterince zayıfladığından, yansımalarla oluşacak çok-yolluluk engellenir. Dairesel polarize işaret ionosfer tabakasından geçişi sırasında Faraday polarizasyon çevrimine daha az duyarlıdır. Ayrıca aynı frekans bandı içinde ters polarize iki uydu haberleşme sistemi hizmet verebilir. Sistem gereksinimi olarak, iletişimi sağlamak için tasarlanan antenin de dairesel polarize olması şarttır.

Kişisel uydu haberleşme sistemlerinin anten tasarımı kullanılacak uygulamanın sabit veya mobil olmasına göre yapılmalıdır. Sabit yeryüzü terminalleri için bakış açısı değişmediğinden dolayı bu tip uygulamalarda orta veya yüksek kazançlı aktif devre gerektirmeyen, pasif, yönlü antenler kullanılır. Bu tip uygulamalarda anten için uygun fiziksel alan ve montaj noktası bulmak kolaydır. Mobil yeryüzü terminallerinde ise uydu ile devamlı iletişimi sağlayabilmek için, birinci tercih olarak hüzme açıklığı geniş dolayısıyla düşük kazançlı antenler seçilir. Kazancı düşük

olduğundan dolayı bu antenler, iletişimi sağlayacak yeterli işaret/gürültü oranı ve çıkış gücü elde etmek için LNA ve PA içeren aktif devrelere ihtiyaç duyarlar. Mobil uygulamalarda tercih edilen ikinci bir çözüm ise yüksek kazançlı bir antenle kurulmuş, mekanik veya elektronik uydu izleme sistemleri kullanmaktır. Bu sistemlerin maliyeti diğer tercihlere göre daha fazladır. Bütün mobil uygulamalarda anten tasarımını zorlaştıran en büyük etken fiziksel sınırlamalardır. Sistemin kullanılacağı mobil ortamın büyüklüğü, montaj olanakları ve çevre koşulları gibi nedenler, her mobil uygulama için değişik tipte antenlerin tasarımını mecbur kılmıştır.

Mobil uydu haberleşme sistemlerinde kullanılacak olan antenin, her yönden gelen sinyalleri alabilmesi için kardiod bir paterne sahip olması istenir. Uydu haberleşmesinde ses iletimi kadar, hızlı data transferi de önem taşımaktadır. Bu yüzden kullanılacak antenler geniş-bantlı tasarlanmalıdır. Bu çalışmada kara ve hava taşıtlarında kullanılan düşük profilli anten yapıları üzerinde durulmuştur. Bu tanıma en uygun anten yapıları geniş-bantlı mikroşerit antenlerdir.

2.4.1 Mikroşerit Antenler

Mikroşerit anten, geniş toprak alan üzerinde, arada dielektrik madde ile desteklenmiş metal parçadan oluşur. Elektromanyetik dalga, üst parçadan toprağa dielektrik madde içinden geçerek saçaklanır. Saçaklanma alanı sonucunda topraktan geri yansıyan dalga boşluğa yayılır. Mikroşerit antenlerde dairesel polarizasyon genelde, antenin farklı noktalardan, faz farklı sinyaller ile sürülmesiyle sağlanır. Mikroşerit antenler ile dairesel polarizasyonlu tüm yönlü patern kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Mikroşerit antenler ince profilli, hafif, ucuz, her türlü yüzeye uygun ve kolay üretilebilir olmaları nedeniyle çok yönlü uygulama alanlarına sahiptir. Özellikle mobil uydu haberleşmesinde alıcı anteni olarak tercih edilir. Bu antenlerin en büyük dezavantajı dar bantlı ve düşük kazançlı olmalarıdır.

Anten bantgenişliği, antenin etkili çalıştığı frekans spektrumu olarak açıklanır. Sayısal olarak ifade etmek için antenin tasarlandığı frekans aralığındaki duran dalga oranı ölçü alınır. Ticari anten tasarımlarında anten bant genişliği, duran dalga oranının 1.5:1 sınırını aşmadığı aralık olarak önerilir. Klasik bir mikroşerit anten, merkez frekansının %2-3'ü kadar bir bantgenişliğine sahiptir. Böyle bir antenin, hem uydu gönderme hem de alma bantlarında işlevsel olması mümkün değildir. Örnek

olarak L-bandında çalışan bir kişisel uydu haberleşme sisteminde kullanılan 1.5 ve 1.6 GHz spektrum bandında, ayırım %7'dir.

Mikroşerit antenlerin çalışma bandını genişletmek için çeşitli teknikler kullanılır. Bu tekniklerden birisi dielektrik maddenin kalınlığını arttırmaktır. Bu yöntem, aynı zamanda anten ve besleme hatlarının boyutunun da artmasını gerektirdiğinden ancak bazı özel uygulamalarda tercih edilir. Bantgenişliğini geliştiren bir diğer popüler yöntem ise anten üzerine uygun boy ve genişlikte yarıklar açmaktır. Bu yöntem aynı zamanda anten boyutlarının ufaltılması için de kullanılan bir yöntem olduğundan uygun tasarlanan bir antenle birçok avantaj elde edilir.

Anten besleme devreleri de anten tasarımıyla beraber düşünülmesi gereken bir konudur. Besleme yöntemi antenin giriş empedansını ve polarizasyonunu belirler. Planar baskı devre antenleri beslemek için üç adet genel yöntem vardır. Bunlardan birincisi koaksiyel kablo ile beslemektir. Koaksiyel beslemenin avantajı antenin giriş empedansına kolay uydurulması ve paterni bozabilecek parazitik yayılımın en az seviyede olmasıdır. İkinci yöntem mikroşerit hatlarla besleme devresi kurmaktır. Parazitik yayılımı fazla olmasına rağmen bu yöntem kolay üretilmesi nedeniyle tercih edilir. Üçüncü metod ise ayrık kuplaj metodudur. Yayılım besleme devresinden ayrı tutulduğu için ilk iki yöntemin avantajlarını içerir.

Bu çalışmada da sağladığı avantajlar göz önüne alınarak mikroşerit yarık anten tasarımı gerçekleştirilmiştir.

3 TASARIM ÖN ÇALIŞMASI

3.1 Tasarımı Yapılacak Antenin Özellikleri

Bu başlık altında, yapacağımız tasarım çalışması öncesinde anten özellikleri listelenerek, tasarımda hangi özelliklerin ön planda tutulacağı belirtilmiştir. L-bandında çalışan kişisel uydu haberleşme sistemlerinin, en yaygın olarak kullandığı band; 1525-1559 MHz alman, 1626.5-1660.5 MHz gönderme aralıdır. Tasarımı yapılan anten de bu frekans bandında çalışacaktır. Tasarımda 1590 MHz merkez frekans olarak alınmıştır. Antenin dairesel polarizasyon yönü LHCP seçilerek tasarım yapılmıştır. Esas kullanım alanını mobil uygulamalar olarak belirlediğimiz anten, özellikle kara vasıtalarına montaj edilebilmesi açısından ince profilli olmalıdır. Bu yüzden anten topolojisi olarak baskı devre tercih edilmiştir. Mobil uygulamalarda iletişimin sağlıklı olabilmesi, önceki bölümlerde de değindiğimiz üzere, anten paternine bağlıdır. Bu nedenden dolayı söz konusu antende esas tasarım kriteri olarak anten paterni ön planda tutularak tasarım sürdürülmüştür.

3.2 U-Yarıklı Mikroşerit Yama Anten

Yama antenler günümüzde sağladıkları avantajlar nedeniyle mobil iletişim sistemlerinde, geleneksel telli veya heliks antenlerden daha çok ilgi görmektedir. Bunun yanında birçok uygulamada bantgenişliği ve fiziksel boyut gereksinimleri çok sıkıdır, fakat özellikle son yirmi yıldır yapılan araştırmalar sonucunda literatüre birçok bantgenişliği artırma metodu sunulmuştur. U-yarıklı mikroşerit yama anten tasarımı da bunlardan biridir. Literatüre geçen birçok tasarımın aksine u-yarıklı antenler, mikroşerit yapıların avantajını da beraberinde sunmaktadır. Klasik bilinen bir mikroşerit yama antenin üzerine açılan u şeklinde bir yarık bant genişliğini arttırdığı gibi rezonans frekansı için boyutların da ufalmasını sağlamaktadır. Böylece bantgenişliği problemi aşılırken fiziksel boyutta da avantaj elde edilmektedir. Daha önce birçok çalışmaya konu olmuş u-yarıklı mikroşerit antenlerin çalışma prensipleri ve deneysel sonuçları hakkında literatürde önemli ölçüde kaynak bulunmaktadır[4-6].

3.3 Simülasyon Ortamı

Anten tasarımı için “Microwave Office” programının, “EMSight” elektromanyetik simülasyon aracı seçilmiştir. Elektromanyetik analizde, simülasyon ortamı sonuçlar üzerinde direkt etkili olduğundan, doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için dikkat edilmesi gereken kurallar vardır [7].

Öncelikle çizilen anten yapısı için uygun bir hücre boyutu veya bir başka deyişle simülasyon çözünürlüğü tespit edilmelidir. Kullanılan programda, anten üzerinde belirlenen her hücre içinde MoM tekniği kullanılarak sonuçlar elde edildiğinden, tespit edilecek bu değer simülasyonun güvenilirliği açısından önemlidir. Hücre boyutunun belirlenmesinde dikkat edilecek hususlar frekans, anten boyutu ve yapının karmaşıklığı olarak üç ana başlık altında toplanır [8]. Yapılan bu simülasyon için önerilen hücre boyutu; yaklaşık anten boyutları ve karmaşıklık göz önüne alındığında, iletim ortamındaki dalga boyunun yüzde biri olarak önerilmiştir. Simülasyon için seçilen dielektrik madde 1.5 mm kalınlığında, dielektrik sabiti $\epsilon_r=4.6$ olan FR4 standart baskı devre elemanıdır. Seçilen bu iletim ortamında merkez frekansımız olan 1590 MHz için dalga boyu 100.56 mm olarak hesaplanmıştır. Tespit edilen bu değer ışığında önerilen hücre boyutu yaklaşık 1 mm olarak bulunur, fakat simülasyon güvenilirliği ve hata payı bırakma açısından tasarımda hücre boyutu, bütün simülasyonlarda 0.5 mm olarak alınmıştır.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise antenin simüle edildiği varsayılan kapalı ortamın sınırlarının tespit edilmesidir. Bu kapalı ortamın yan duvarları mükemmel iletken kabul edilip, alt ve üst duvarların seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Simüle edilecek anten yapısı bir mikroşerit anten olduğundan alt sınır da mükemmel iletken seçilerek üstü açık kabul edilmiştir. Ortam sınırlarının simüle edilen anten yapısına olan uzaklığının seçimi, klasik bir yama anten paterninin, çeşitli boyutlar içinde deneysel olarak gözlenmesi ile tespit edilmiştir. Yapılan bu deneysel simülasyonlar sonucunda anten yapısı ile duvarlar arasındaki mesafenin 10mm ve yan duvar yüksekliğinin 1mm olması durumunda çalışılan frekans bölgesinde sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir.

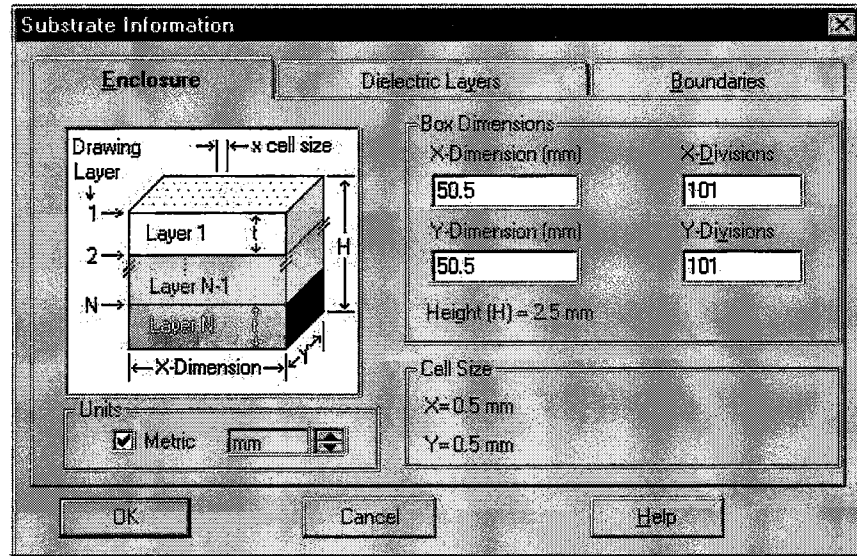
4 ANTEN TASARIMI

Ön çalışmasını yaptığımız antenin tasarım aşamasında izlenen basamaklar şu şekildedir; öncelikle seçilen mikroşerit anten yapısının ilgilendiğimiz L-bandı çalışma frekansı için tasarımı yapılmıştır, daha sonra elde edilen bu yapı kişisel mobil uydu iletişim sistemlerinin gereksinimlerini karşılayacak şekilde modifiye edilmiş ve gerekli besleme devre yapısı oluşturulmuştur. Tasarlanan anten için son olarak kullanım alanları belirlenmiş ve uygulamaya yönelik örnekler sunulmuştur.

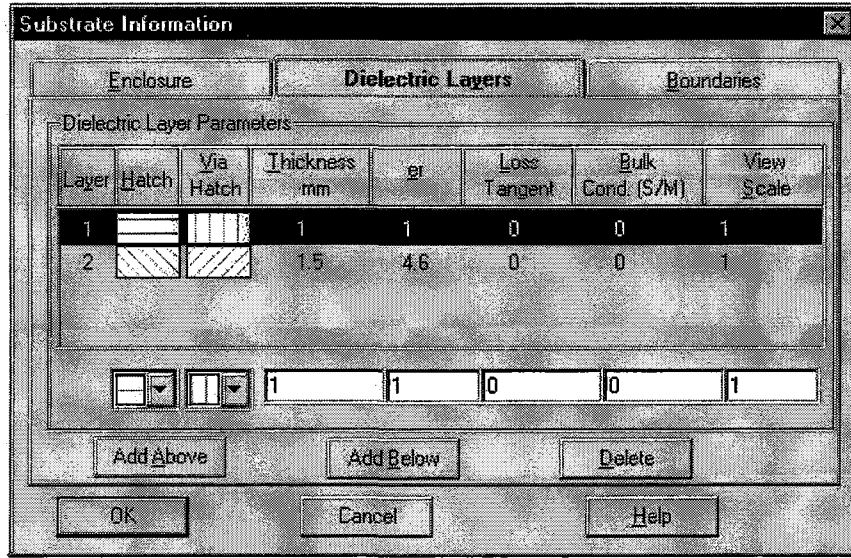
4.1 L-Bandı İçin U-Yarıklı Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Daha önceki bölümlerde nedenlerini açıklayarak seçmiş olduğumuz U-yarıklı mikroşerit yama anten metodu, tasarımımızın ana yapısını oluşturmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar arasından [6]'da belirtilen u-yarıklı anten yapısı çalışma frekans aralığımız olan 1525-1660.5 MHz bandı ve belirlenen dielektrik madde için tekrar tasarlanarak benzetimi yapılmıştır.

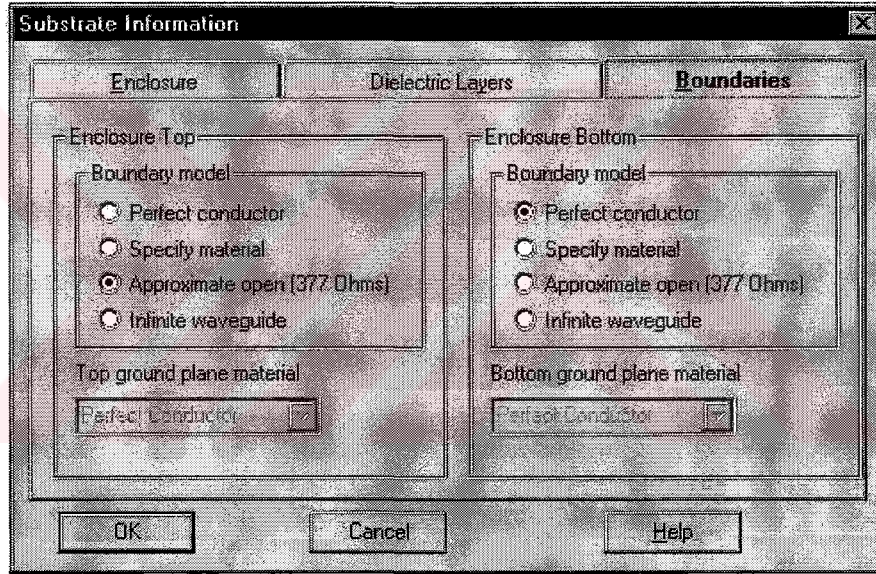
Simülasyon ortamı ve dielektrik madde için yapılan ayarlar aşağıda Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Bu ayarlar tasarım boyunca aynı kalmıştır.



Şekil 4.1 Simülasyon ortamı ayarları-1



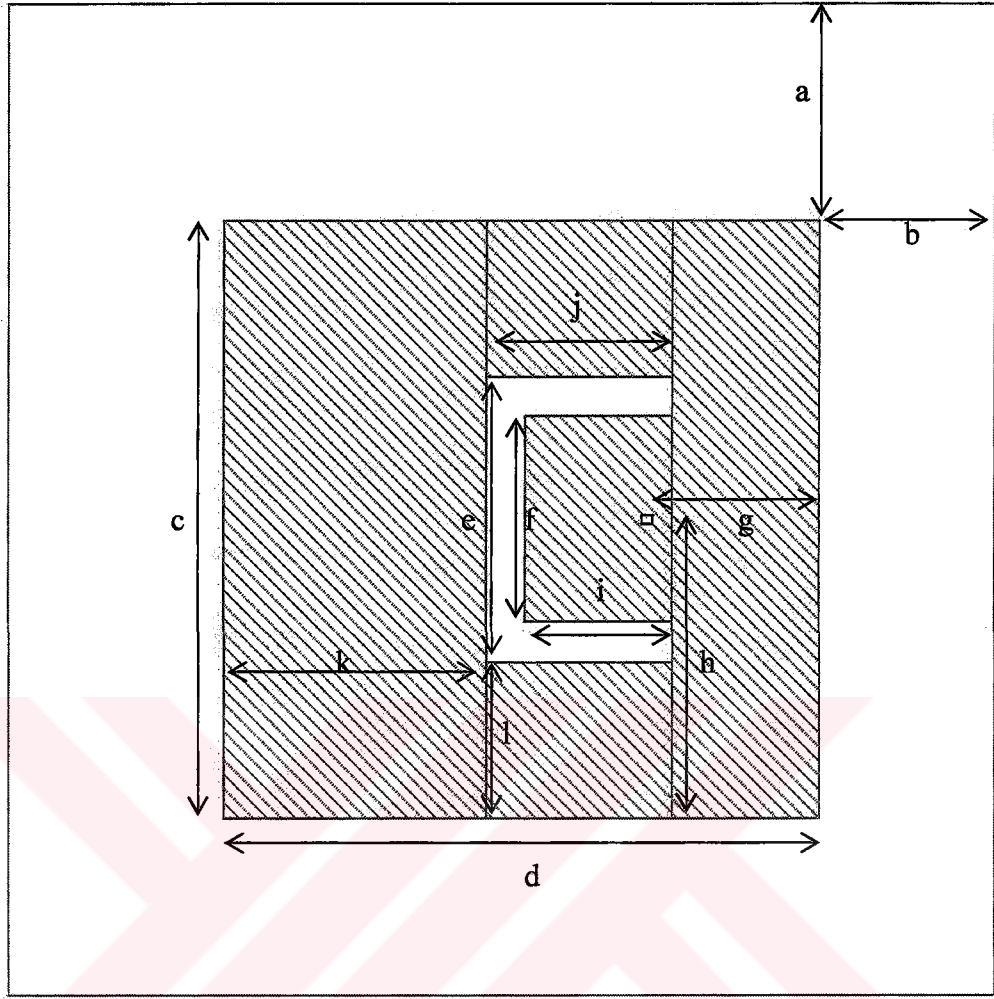
Şekil 4.2 Simülasyon ortamı ayarları-2



Şekil 4.3 Simülasyon ortamı ayarları-3

Ortam ayarları yapıldıktan sonra anten boyutu, yarık boyutu ve besleme noktası gibi çeşitli parametreler üzerinde denemeler yapılarak L-bandında çalışacak anten yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan 1.59 MHz merkez frekanslı u-yarıkli mikroşerit anten Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Antene ilişkin boyutlar Tablo 4.1'de sunulmuştur. Antenin simülasyon ortamındaki üç boyutlu görünüşü de Şekil 4.5'te görülmektedir.

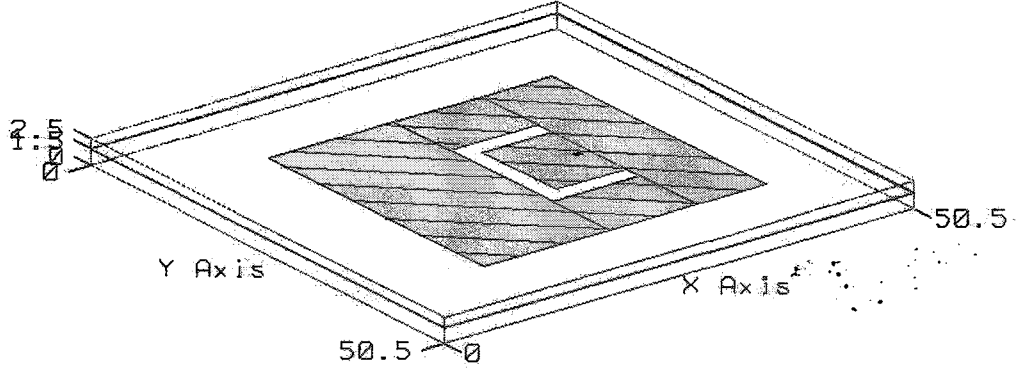
Anten beslemesi dielektrik madde içinden metal yüzeye konulan bir geçiş ile sağlanmıştır. Bu şekilde tasarım esnekliği sağlanırken besleme devresinden oluşabilecek parazitik yayılım engellenebilir.



Şekil 4.4 L-bandı u-yarıklı mikroşerit yama anten

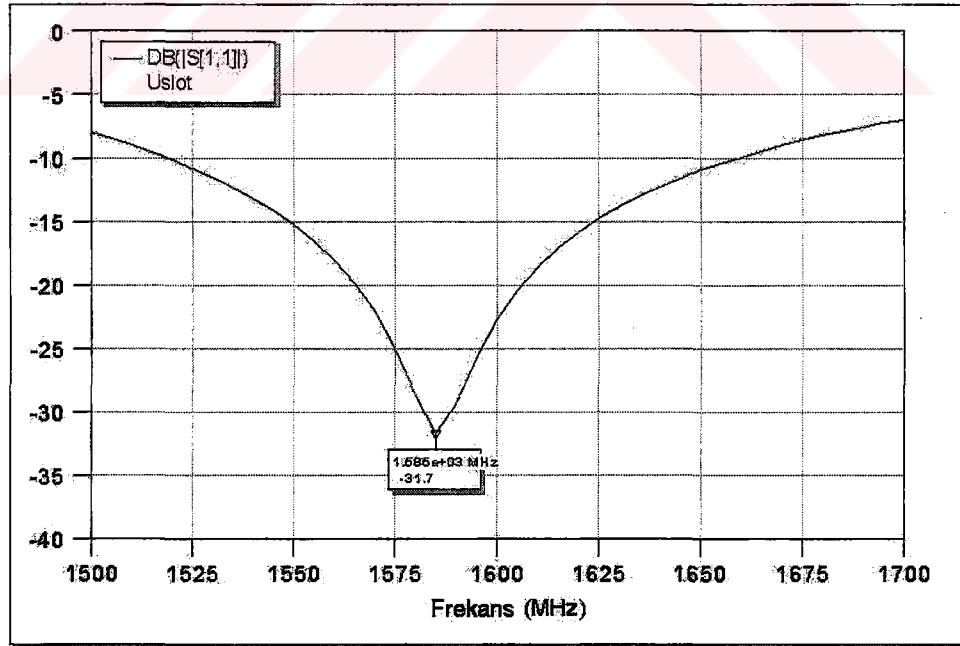
Tablo 4.1 L-bandı u-yarıklı mikroşerit yama anten boyutları

Parça	Uzunluk (mm)	Parça	Uzunluk (mm)
a	10	g	8.75
b	10	h	15.25
c	30.5	i	7.5
d	30.5	j	9.5
e	14.5	k	13.5
f	10.5	l	8



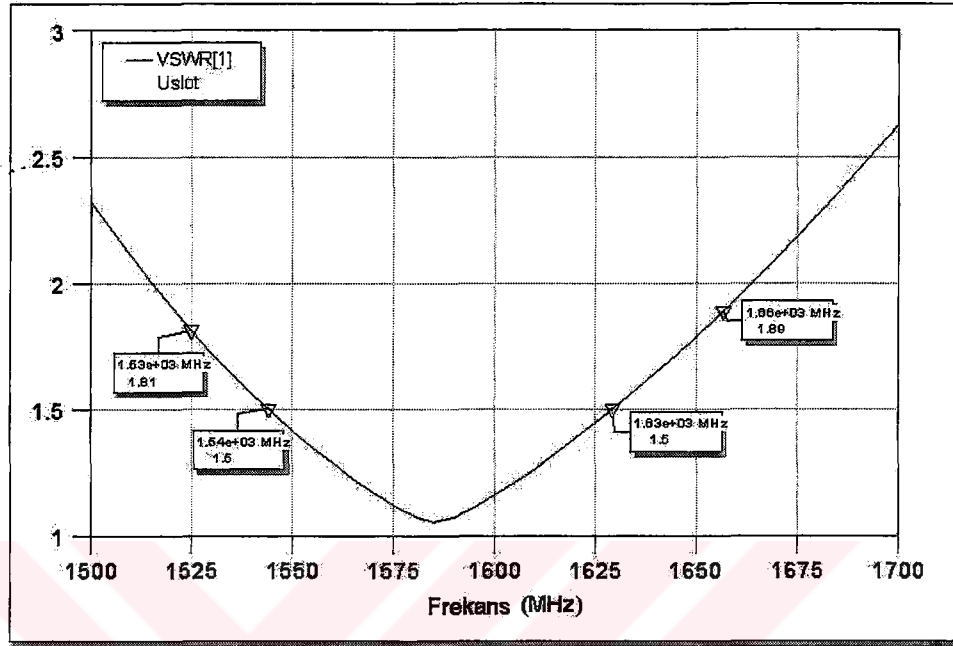
Şekil 4.5 L-bandı u-yarıklı mikroşerit yama antenin üç boyutlu görünüşü

Tasarlanan antenin performansını ve çalışma bandını gözlemlemek üzere bir dizi simülasyon yapılmıştır. Bu aşamada tasarımdaki öncelik anten boyutlarının belirlenmesi ve frekans bandının oturtulması olduğundan, sadece antenin giriş yansıma parametresine ve duran dalga oranına bakılarak geometrik değerler üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Son geometrisi yukarıda verilmiş olan anten yapısı için yapılan simülasyonlar sonucunda 1500-1700 MHz aralığında elde edilen S_{11} , giriş yansıma parametresi grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 U-yarıklı mikroşerit yama anten S_{11} grafiği

Giriş Yansıma katsayısına bağlı olarak bulunan ve anten performansını ifade etmek için kullanılan duran dalga oranı (VSWR) için de, aynı bant boyunca elde edilen simülasyon sonuçları aşağıda Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 U-yarıklı mikroşerit yama anten duran dalga oranı grafiği

Simülasyon sonucunda oluşan grafikten görüldüğü üzere, yapılan antende standart olarak bantgenişliğini tanımlayan duran dalga oranının 1.5 sınır değeri 1540-1630 MHz aralığındaki bant boyunca sağlanmaktadır. Bunun nedeni dielektrik sabitin, ileride tasarlanacak besleme devrelerindeki boyutları uygulanabilir tutmak için yüksek seçilmesidir. Eğer dielektrik sabiti düşürülecek olursa veya maddenin yüksekliği arttırılacak olursa bantgenişliğinde artış olacaktır, fakat bu durum da bir diğer tasarım kriterimiz olan boyutlar olumsuz etkilenecektir. Çalışma bandımız olan 1525-1660.5 MHz aralığında grafiğe baktığımızda en kötü duran dalga oranının göndermeç bandı ucunda 1.89 olduğu tespit edilmiştir.

Mobil uydu iletişim sistemleri için tasarımda esas parametre olarak aldığımız dairesel polarizasyonlu patern için yapılacak olan çalışmalar da göz önüne aldığımızda bu değerlerde değişim olabilecektir. Bu yüzden bu aşamada elde edilen bu değerler yeterli kabul edilerek tasarıma devam edilmiştir.

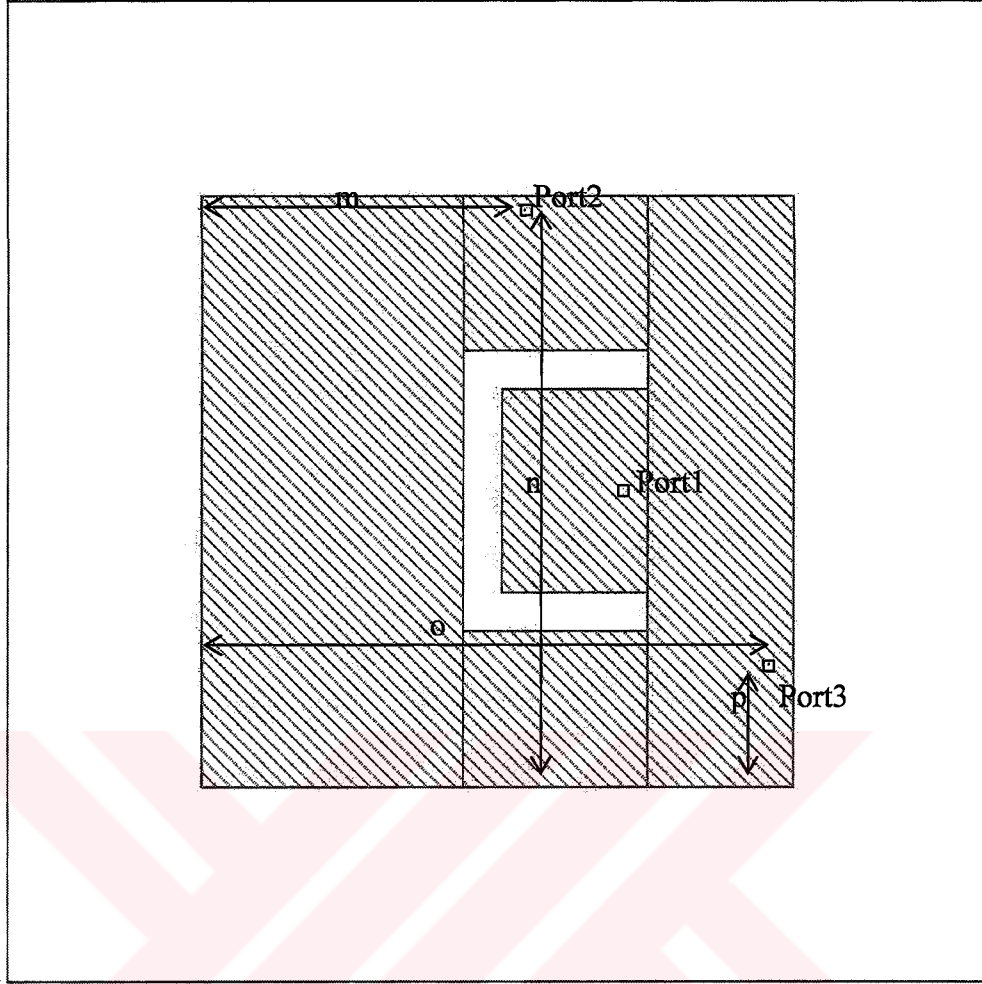
4.2 Tasarlanan Antenin Mobil Uydu İletişimi İçin Modifikasyonu ve Analizi

Kişisel mobil uydu iletişim sistemleri için yapılan bu tasarım çalışmasında iki ana etken göz önüne alınmıştır. Uydu iletişim sistemlerinin çoğunlukla dairesel polarize işaret kullandıkları ve bu sistemler için tasarlanan antenlerin de dairesel polarize olması gerektiği daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Mobil uygulamalarda ise tasarlanan antenlerde en önemli parametrenin kesintisiz iletişimi sağlayacak bir patern olduğu açıklanmıştır. Bu iki faktör ele alındığında, tasarlanan antenin dairesel polarizasyonlu geniş bir paterne sahip olması gerekmektedir. Bu bölümde, bir önceki başlık altında oluşturulan u-yarıkli mikroşerit yama anten üzerinde modifikasyonlar yapılarak anten yapısı analiz edilmiş ve kişisel mobil uydu iletişim sistemleri için gerekli bu iki şartın sağlandığı gösterilmiştir.

Bir önceki başlık altında oluşturulan anten yapısının, düzgün bir dairesel polarize paterne sahip olabilmesi için, değişik noktalardan değişik fazlarda yeni beslemeler uygulama metodu benimsenmiştir. Çeşitli noktalardan değişik fazlarda yeni beslemelerle uyarılan u-yarıkli mikroşerit anten için yapılan denemeler sonucunda en uygun sol el dairesel polarize patern, Tablo 4.2’de eklenen yeni portların geometrik yerinin verildiği ve Şekil 4.8’de görülen anten yapısı ile elde edilmiştir. Yeni anten yapısı için diğer ölçüler Tablo 4.1’deki ile aynıdır. Her port 0 dB olmak üzere aynı güç seviyesi ile uyarılmıştır, fakat Port1’in fazı 0° , Port2’nin fazı 76° ve Port3’ün fazı da -100° yapılmıştır. Yeni beslemeler de aynı şekilde, metal yüzeye dielektrik madde içinden geçiş yapılarak uygulanmıştır.

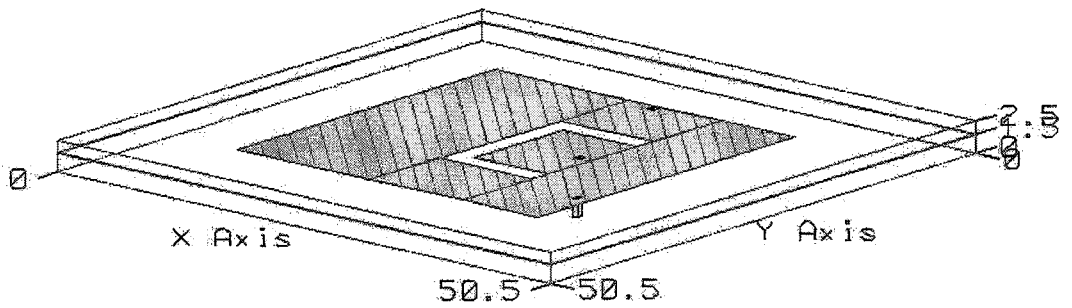
Tablo 4.2 Dairesel polarize u-yarıkli mikroşerit yama anten boyutları

Parça	Uzunluk (mm)
m	16.75
n	29.75
o	29.25
p	6.25



Şekil 4.8 Dairesel polarize u-yarıkli mikroşerit yama anten

Aşağıdaki Şekil 4.9'da yeni antenin üç boyutlu görüntüsü verilmiştir.

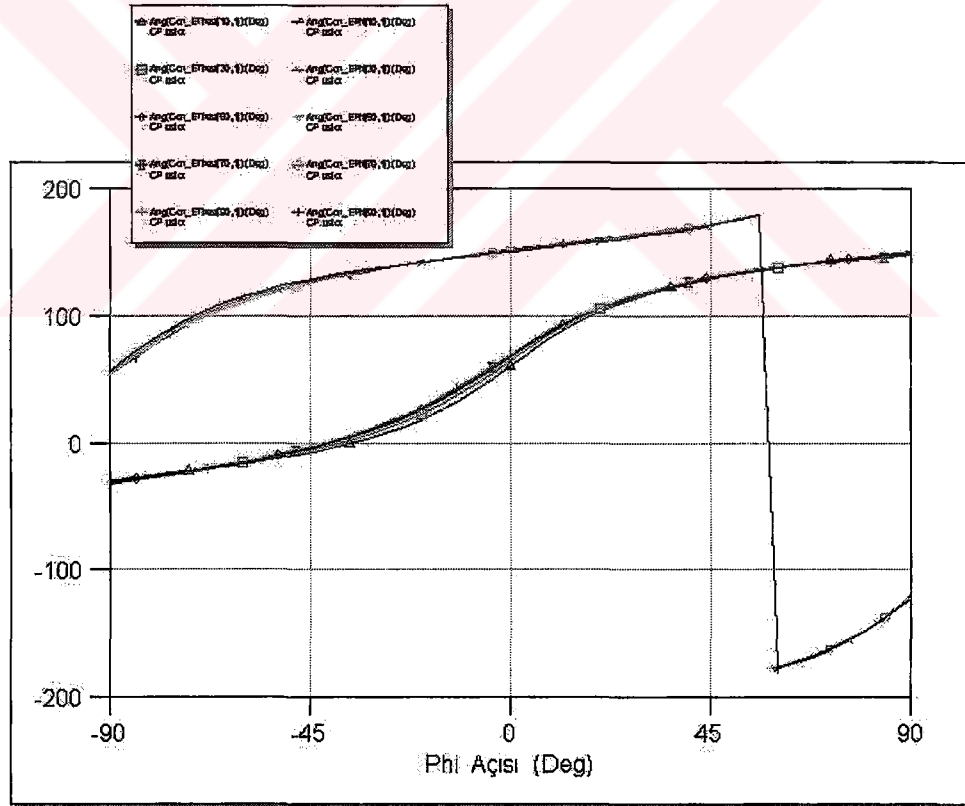


Şekil 4.9 Dairesel polarize u-yarıkli mikroşerit yama antenin üç boyutlu görüntüsü

Yapılan anten ölçümlerinde, polarizasyon LHCP seçilerek simülasyonlar koşturulmuştur. LHCP, E_ϕ ve E_θ elektriksel alanlarının lineer kombinasyonudur ve (4.1) ile ifade edilir.

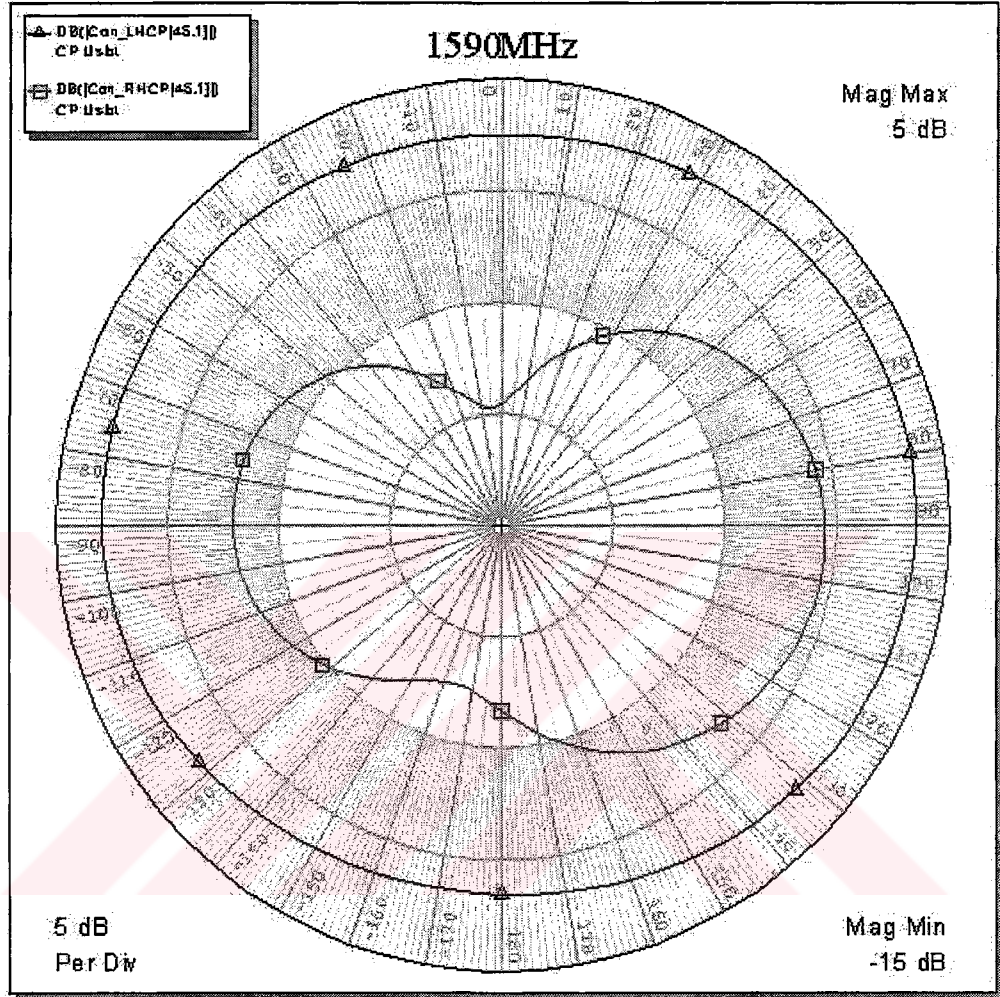
$$LHCP = (E_\theta - jE_\phi) / \sqrt{2} \quad (4.1)$$

Düzgün bir dairesel polarizasyon için E_ϕ ve E_θ elektriksel alanlarının açı değerleri konumdan bağımsız olarak birbirleriyle uyum içinde olmalıdırlar. Simülasyon sonucunda elde edilen çıktıların güvenilirliğinin testi açısından Şekil 4.10'daki gözlem yapılmıştır. Phi düzleminde değişen konumlara rağmen, simülasyon sonucunda iki elektriksel alan içinde açı değerleri birbirine paralellik göstermektedir. Bu test sonucu itibariyle LHCP seçilerek alınan simülasyon sonuçlarına güvenilirlik onaylanmıştır. Bundan sonraki ölçümlerde polarizasyon seçilerek anten paternleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.10 E_ϕ ve E_θ elektriksel alanlarının açı değişimleri

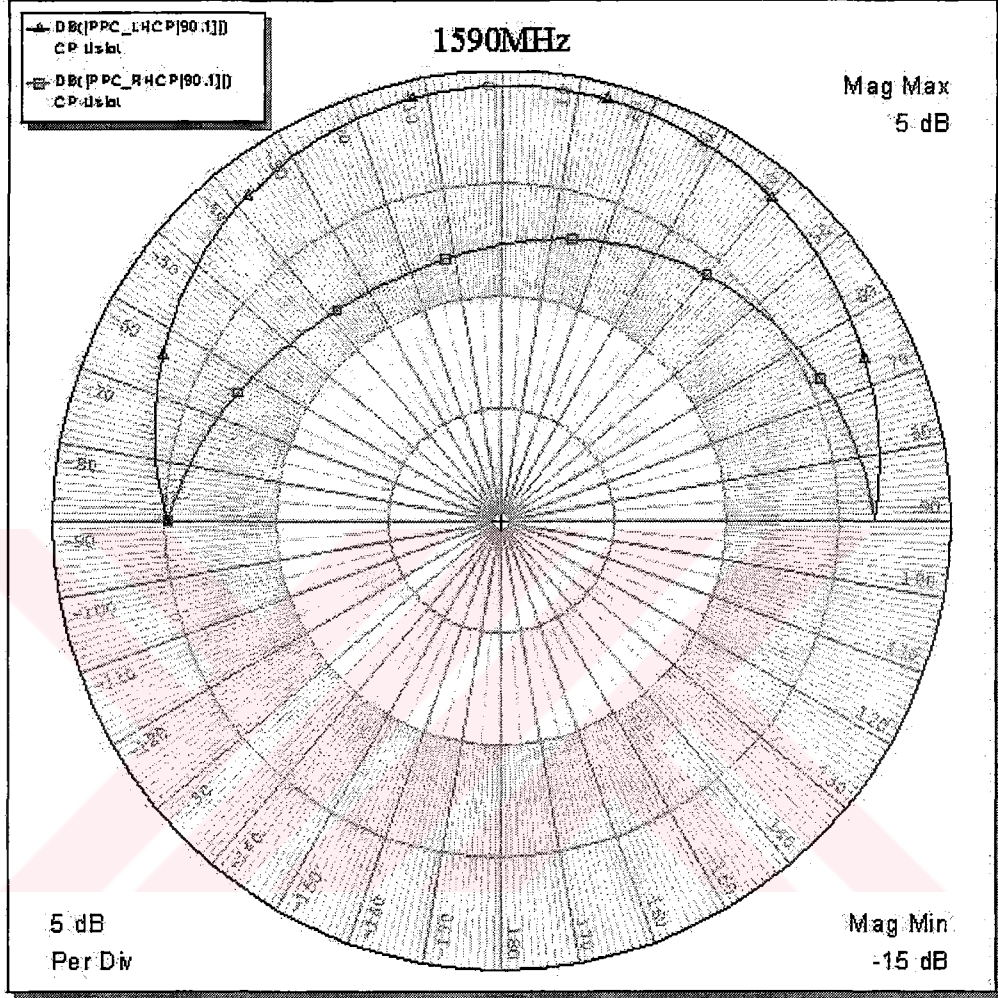
Yeni yapı için yapılan anten paterni ölçümlerinden ilki Şekil 4.11’de görülmektedir. Merkez frekansta konik düzlemde, $\theta=45^\circ$ için sağ ve sol el dairesel polarizasyon paternleri aynı grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP RHCP grafiği

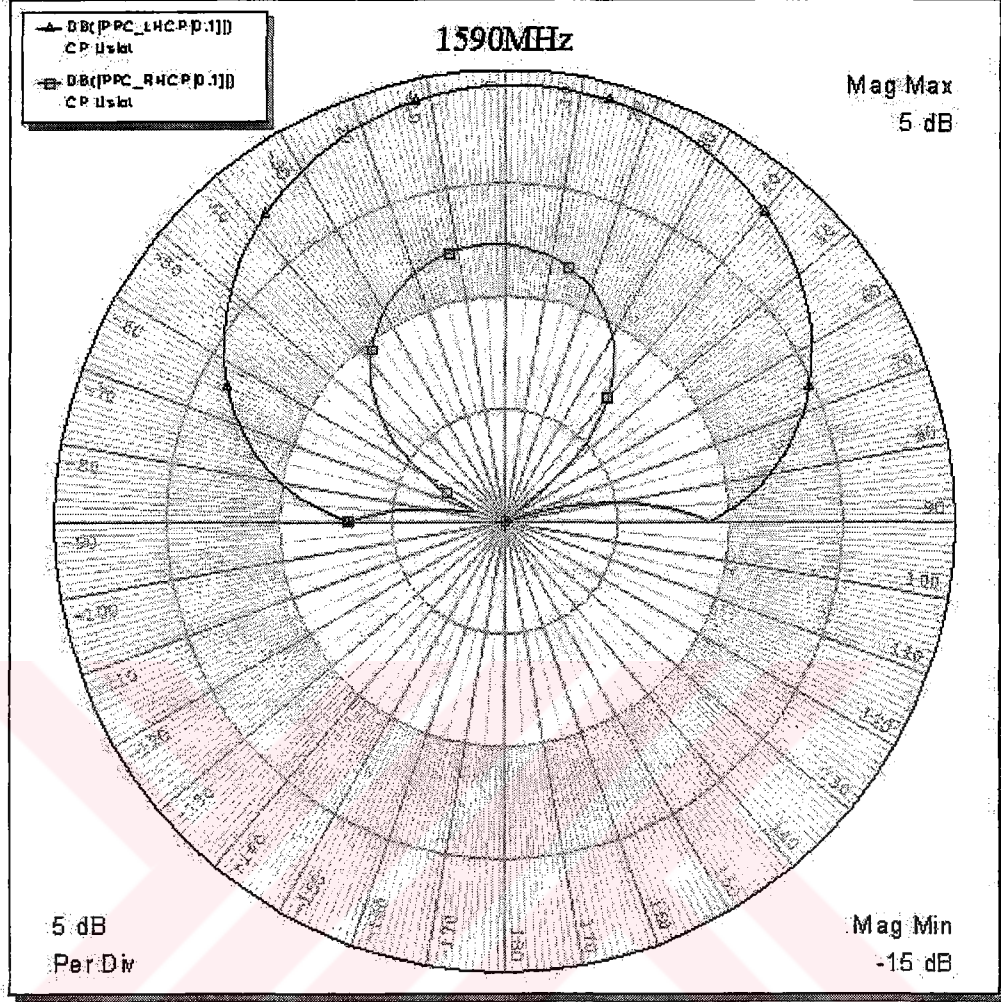
Anten grafiğinden görüldüğü üzere, LHCP paterni $\theta=45^\circ$ için ortalama 3 dB kazançlı, yaklaşık izotropik bir yapıya sahiptir. Ayrıca LHCP ve RHCP paternleri için işaret güçlerinde, en kötü olduğu açı değeri için 5 dB’e yakın fark olduğu görülmektedir. Bu fark paternin diğer bölgelerinde daha da artmaktadır. İki polarizasyon arasındaki farkın fazla olması sistem seçiciliği açısından önemli bir faktördür.

Zenit düzleminde gene merkez frekansta, $\Phi=90^\circ$ ve $\Phi=0^\circ$ için yapılan sağ ve sol el dairesel polarize anten ölçümü sonuçları da sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.12 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP RHCP grafiği

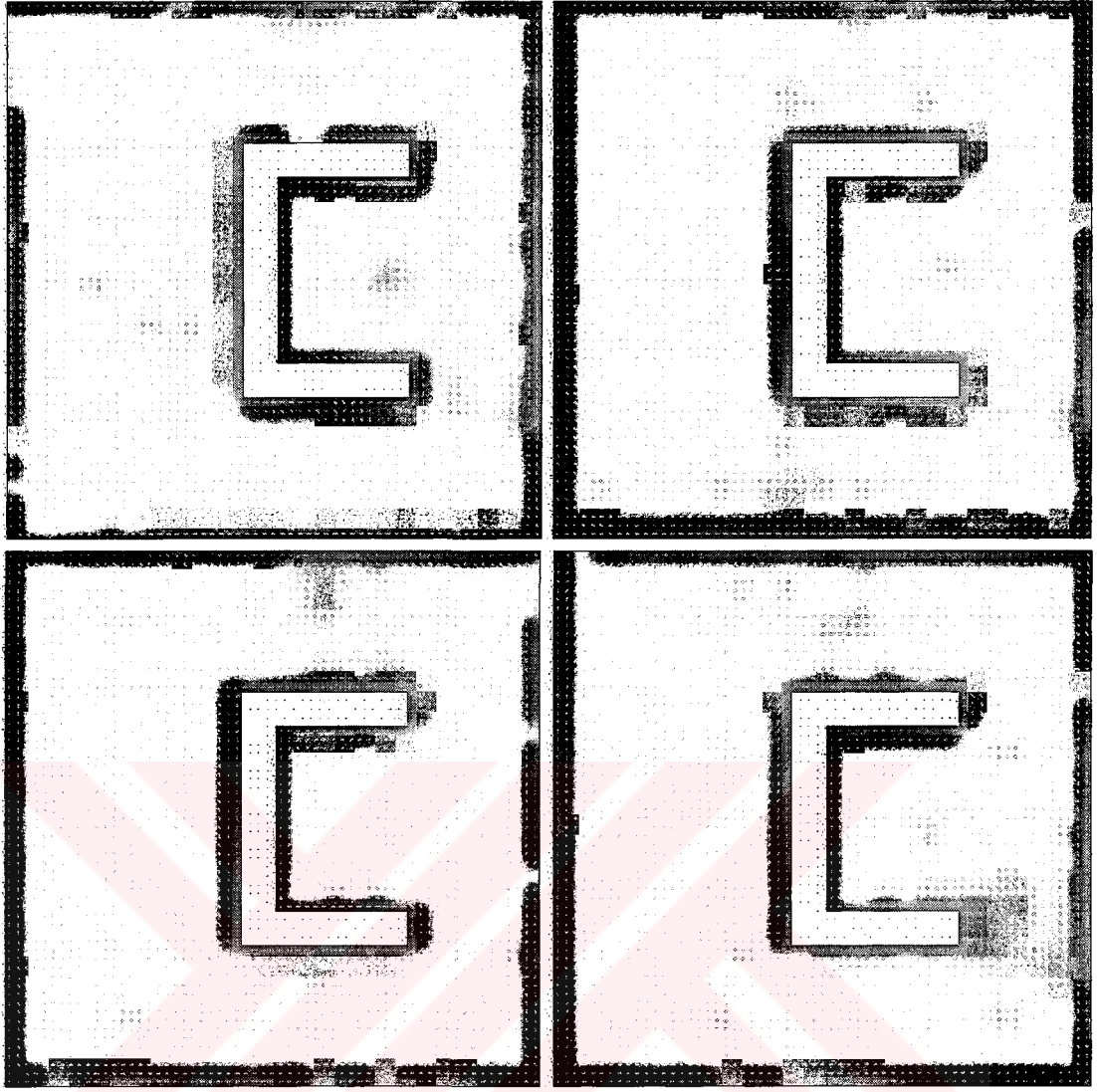
Burada sunulmuş olan anten grafiklerinden görüldüğü üzere theta ekseninde de düzgün değişen yarı izotropik bir yayılım söz konusudur. Gücün maksimum olduğu zenitte tespit edilen değer 4.2 dB civarındadır. $\Phi=90^\circ$ için zenit düzleminde çizilmiş olan paternde 3 dB yarı güç noktası yaklaşık olarak $\pm 82^\circ$ 'yi bulmuştur. $\Phi=0^\circ$ için çizilen grafikte ise 3 dB yarı güç noktası yaklaşık olarak $\pm 53^\circ$ olarak tespit edilmiştir. Bu bütün anten patern ölçümleri arasında tespit edilmiş en kötü değerdir. Anten özellikleri belirtilirken 3 dB yarı güç açısı olarak bu en düşük performansı veren noktadaki değer olan $\pm 53^\circ$ alınmıştır.



Şekil 4.13 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP RHCP grafiği

Konik ve zenit düzlemde değişen çeşitli açı değerleri için 1525 MHz, 1590 MHz ve 1660.5 MHz’de yapılan anten ölçümleri sonucunda elde edilen paternler Ek A’da sunulmuştur. Sunulan bu grafiklerde frekans bandı boyunca patern yapısının ve kazancın fazla değişmediği gözlenmiştir.

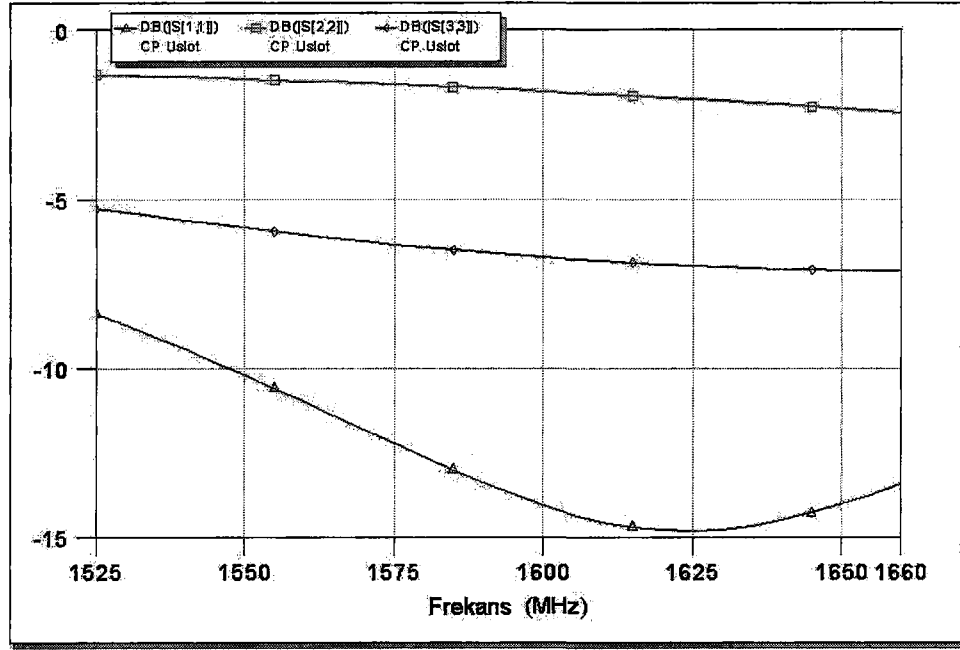
Yeni yapı üzerinde dairesel polarizasyonun ayrıca tespiti ve gözlenmesi için anten yüzeyinde oluşan akımların yönünün dört evresi Şekil 4.14’te gösterilmiştir. Yüzey akımları sağdan sola ve yukarıdan aşağıya sıralanmış olan bu dört evrede değişmektedir. Akım yönleri incelendiğinde hareketin sol el kuralı ile tekrar ettiği görülmektedir.



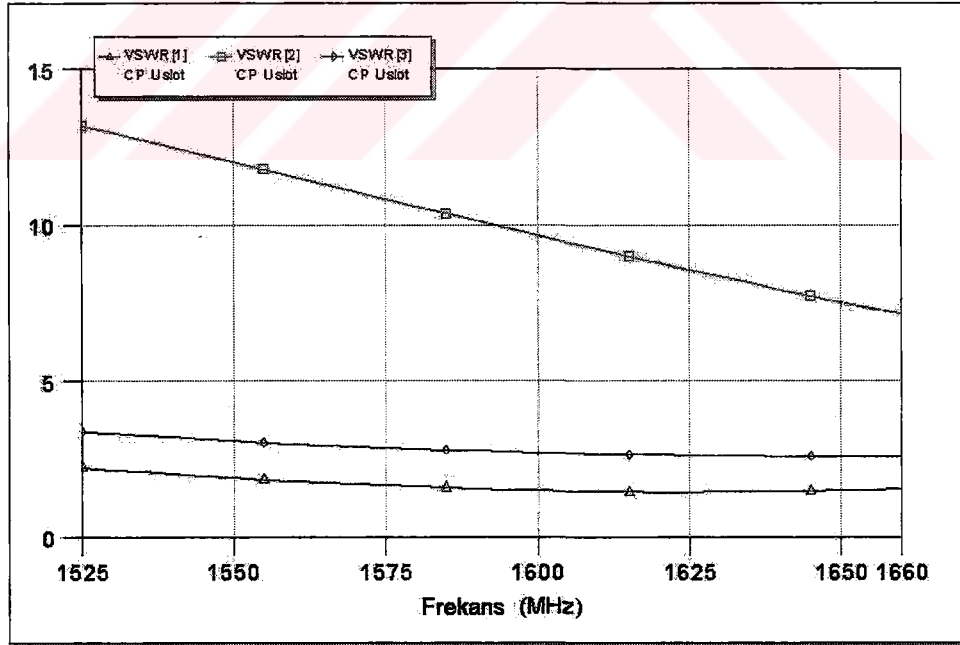
Şekil 4.14 Anten yüzeyi akım hareketleri

Esas tasarım amacımız olan sol el dairesel polarize geniş paternli bir yapıyı anten ölçümleri sonucunda elde etmiş bulunmaktayız. Bundan sonraki basamak oluşturulan bu yapının elektriksel davranışını incelemek ve uygun besleme devrelerini oluşturmak olacaktır.

Elektriksel simülasyonlar çalışma bandımız boyunca koşturulmuştur. İlk olarak besleme portları için giriş yansıma parametreleri Şekil 4.15'te ve benzer şekilde duran dalga oranları Şekil 4.16'da sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde ikinci kapıdan antene aktarılan gücün diğer iki kapıya göre daha az olduğu görülmektedir. Bunun yanında giriş yansıma parametrelerindeki bant boyunca kaydedilen değişimin, besleme devresi tasarımında bir problem yaratmayacağı tespit edilmiştir.

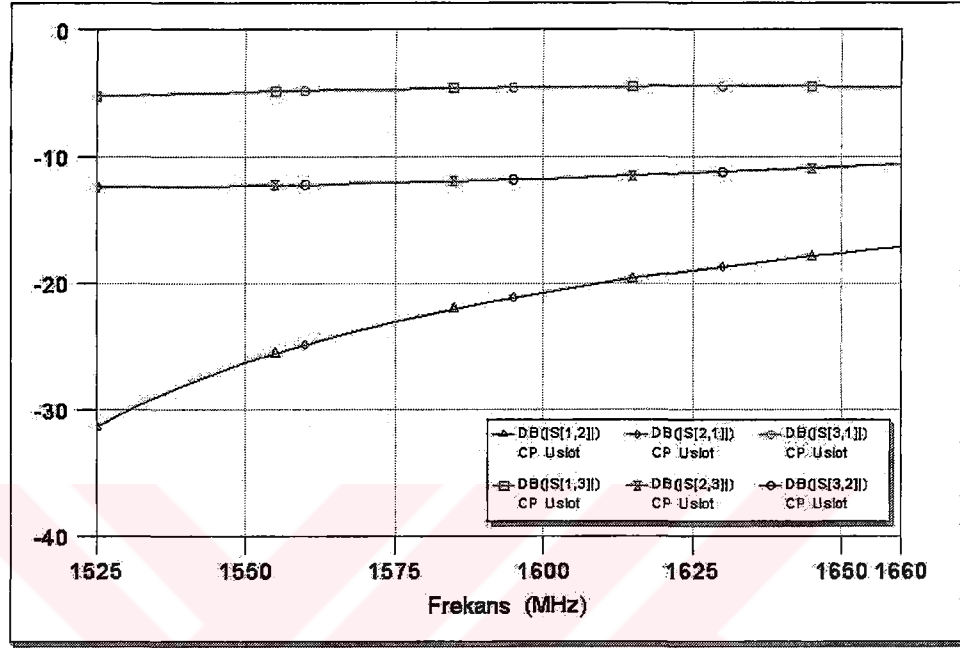


Şekil 4.15 Giriş yansıma katsayıları



Şekil 4.16 Duran dalga oranları

Şekil 4.17’de besleme kapıları arasındaki izolasyon grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde en düşük değerin 5 dB civarında olduğu görülmektedir. Her hangi bir geribesleme ihtimalini engellemek amacıyla izolasyon konusuna besleme devresinin tasarımında özel önem gösterilmiştir.

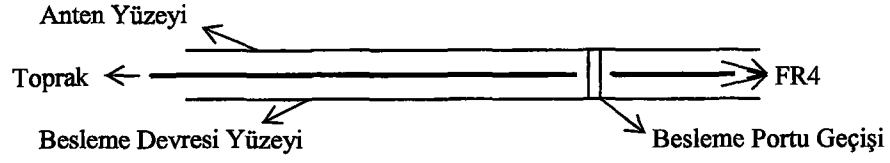


Şekil 4.17 Besleme kapıları arasındaki izolasyon

4.3 Besleme Devresi Tasarımı

Yeni sunulan anten için elde edilen patern özelliklerine erişebilmek, antenin elektriksel davranışına uygun bir besleme devresinin tasarımı ile mümkündür. Besleme devresinin görevi portlara uygun gücü, uygun faz farkı ile iletmektir.

Besleme devresi gene FR4 malzeme üzerine mikroşerit hatlarla tasarlanmıştır. Şekil 4.18’de anten üretimi için önerilen topoloji verilmiştir. İki katlı FR4 malzeme arasındaki iletken sadece geçiş noktalarından aşındırılarak ortak toprak olarak kullanılmıştır. Baskı devre kartının bir yüzeyine anten diğer yüzeyine besleme devresi çizilerek, besleme kapılarına iletim, simülasyon ortamında olduğu gibi dielektrik madde içine konulan geçişler ile sağlanmıştır. Bu üretim yapısı sayesinde besleme hatlarından oluşacak parazitik yayılım sonucu anten paterninin bozulması engellenebilir.



Şekil 4.18 Besleme devresi üretim topolojisi

Besleme devresinin tasarımına, kapılara aktarılabacak güçleri ve oranlarını hesaplayarak başlanmıştır. Şekil 4.16'daki grafikten merkez frekansta duran dalga oranları okunarak (4.2) formülü ile girişten kapılara aktarılan güç oranları bulunmuştur. Elde edilen değerler (4.2a-c)'de görülmektedir.

$$\frac{P_y}{P_{IN}} = \frac{4SWR}{(1 + SWR)^2} = 1 - |\Gamma|^2 \quad (4.2)$$

$$VSWR_1 = 1.5 \rightarrow \frac{P_1}{P_{IN}} = 0.96 \quad (4.2a)$$

$$VSWR_2 = 10 \rightarrow \frac{P_2}{P_{IN}} = 0.34 \quad (4.2b)$$

$$VSWR_3 = 2.7 \rightarrow \frac{P_3}{P_{IN}} = 0.78 \quad (4.2c)$$

Anten simülasyonunda besleme portları 0 dB giriş gücü ile uyarılmıştır. Bu değer ve (4.2a-c)'de bulunan oranlar kullanılarak her kapıya iletilen güç değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler (4.3a-c)'de verilmiştir.

$$P_1 = 0.96W \quad (4.3a)$$

$$P_2 = 0.34W \quad (4.3b)$$

$$P_3 = 0.78W \quad (4.3c)$$

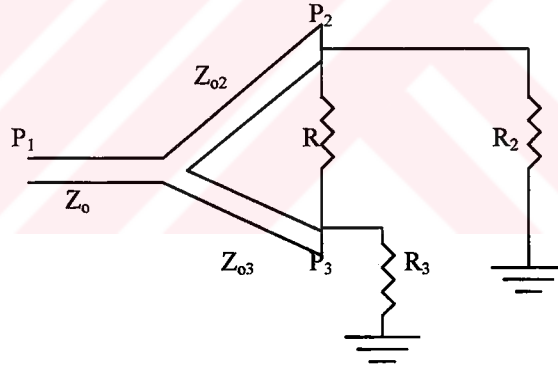
Sonuç olarak anteni beslemek için kullanılan, $P_T = 2.08W$ toplam giriş gücünden her kapağıya aktarılabacak gücün oranı ve dB olarak iletim kaybı değerleri bulunmuştur. Sonuçlar (4.4a-c)'de gösterilmiştir.

$$\frac{P_1}{P_T} = \frac{0.96}{2.08} = 0.46 \quad \rightarrow \quad IL = 3.35dB \quad (4.4a)$$

$$\frac{P_2}{P_T} = \frac{0.34}{2.08} = 0.16 \quad \rightarrow \quad IL = 7.86dB \quad (4.4b)$$

$$\frac{P_3}{P_T} = \frac{0.78}{2.08} = 0.38 \quad \rightarrow \quad IL = 4.26dB \quad (4.4c)$$

Girişten besleme kapılarına gücün belirlenen oranda dağıtımı için Wilkinson güç bölücü devresi tercih edilmiştir. Şekil 4.19'da görülen eşit olmayan güç bölücü devre için parametrelerin hesabı (4.5a-f)'deki gibi verilmiştir [9].



Şekil 4.19 Eşit olmayan Wilkinson güç bölücü devre şeması

$$K^2 = P_3 / P_2 \quad (4.5a)$$

$$Z_{03} = Z_o \sqrt{\frac{1+K^2}{K^3}} \quad (4.5b)$$

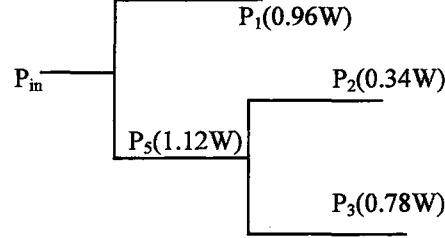
$$Z_{02} = Z_o \sqrt{K(1+K^2)} = K^2 Z_{03} \quad (4.5c)$$

$$R = Z_o \left(K + \frac{1}{K} \right) \quad (4.5d)$$

$$R_2 = Z_o K \quad (4.5e)$$

$$R_3 = \frac{Z_o}{K} \quad (4.5f)$$

Giriş gücünün besleme kaplarına dağılımı Şekil 4.20'deki şemada gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Besleme kaplarına gücün dağılımı

Besleme devresinin güç dağılımını sağlayacak elemanlar için (4.5)'teki formüller kullanılarak aşağıda görülen (4.6) hesaplamaları yapılmıştır.

$$K^2 = \frac{P_5}{P_1} = \frac{1.12}{0.96} = 1.17 \quad \rightarrow \quad K = 1.08 \quad (4.6a)$$

$$Z_{os} = 50 \sqrt{\frac{1+1.17}{1.26}} = 65.6\Omega \quad (4.6b)$$

$$Z_{o1} = 1.17 * 65.6 = 76.8\Omega \quad (4.6c)$$

$$R_5 = 50 \left(1.08 + \frac{1}{1.08} \right) = 100\Omega \quad (4.6d)$$

$$R_1 = 50 * 1.08 = 54\Omega \quad (4.6e)$$

$$R_4 = \frac{50}{1.08} = 46.3\Omega \quad (4.6f)$$

$$K^2 = \frac{P_3}{P_2} = \frac{0.78}{0.34} = 2.29 \quad \rightarrow \quad K = 1.51 \quad (4.6g)$$

$$Z_{o3} = 46.3 \sqrt{\frac{1+2.29}{3.44}} = 45.3\Omega \quad (4.6h)$$

$$Z_{o2} = 2.29 * 45.3 = 103.7\Omega \quad (4.6i)$$

$$R_6 = 46.3(1.51 + \frac{1}{1.51}) = 100.6\Omega \quad (4.6j)$$

$$R_2 = 46.3 * 1.51 = 69.9\Omega \quad (4.6k)$$

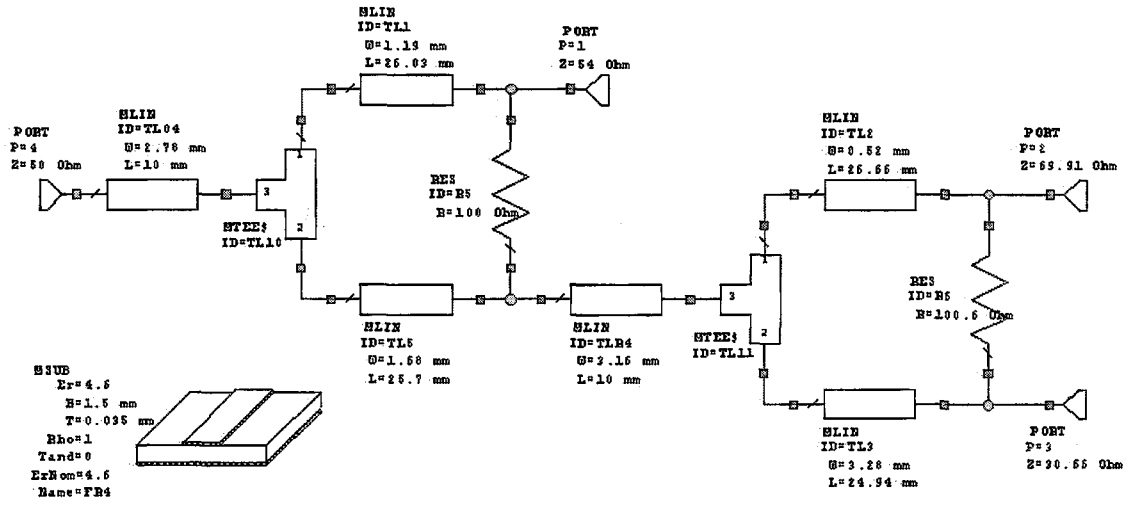
$$R_3 = \frac{46.3}{1.51} = 30.6\Omega \quad (4.6l)$$

Çalışmamız boyunca elde ettiğimiz değerlere dayanarak, kullanılan FR4 baskı devre malzemesi ile, devre şeması çiziminde kullanılacak mikroşerit hatların hesaplanan genişlikleri ve dalga boyları Tablo 4.3'te verilmiştir.

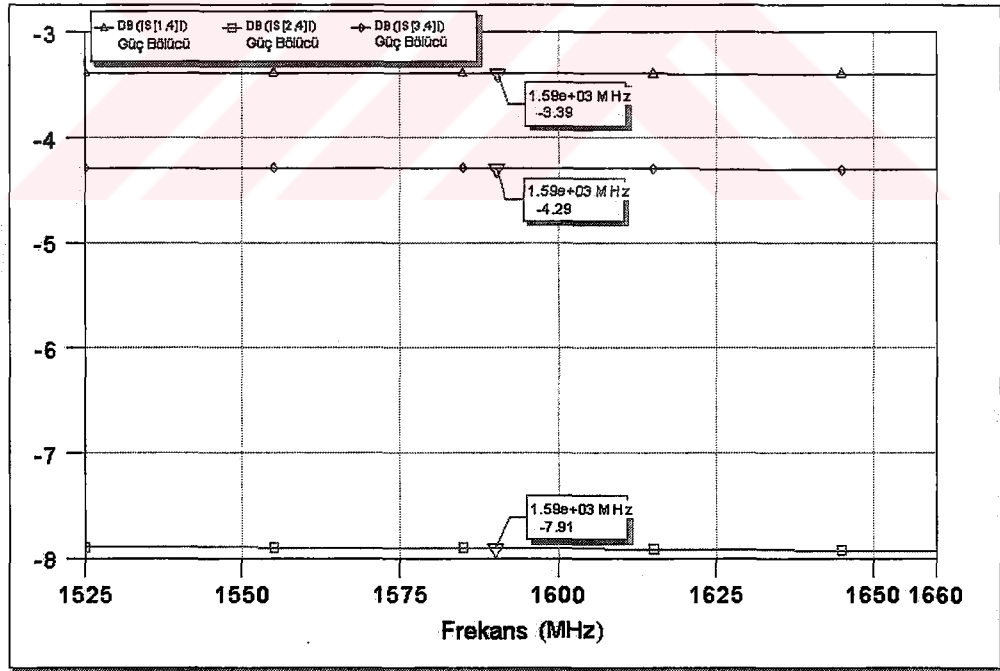
Tablo 4.3 Kullanılan mikroşerit hatların genişlik ve dalga boyu uzunlukları

FR4 f=1590MHz			
$\epsilon_r=4.6$ $h=1.5mm$ $t=35\mu m$ Bakır			
İsim	Z_0	w(mm)	$\lambda(mm)$
TL4	50	2.78	100.56
TL5	65.6	1.68	102.82
TL1	76.8	1.19	104.13
TLPC1	54	2.43	101.19
TLR4	46.3	3.16	99.94
TL3	45.3	3.28	99.76
TL2	103.7	0.52	106.65
TLPC2	69.9	1.47	103.36
TLPC3	30.6	5.88	96.85
TLIM1,4,6	80	1.08	104.47
TLIM3	98.1	0.62	106.06
TLIM5	43.2	3.54	99.39

Hesaplanan değerler kullanılarak besleme devresinin güç bölücü kısmı kurulmuştur. Devre şeması Şekil 4.21'de görülmektedir. Simülasyon sonucunda elde edilen iletim parametrelerinin bant boyunca değişimi Şekil 4.22'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde simülasyon sonuçlarının hesaplarla örtüştüğü gözlenmiştir.



Şekil 4.21 Besleme güç bölücü devresi



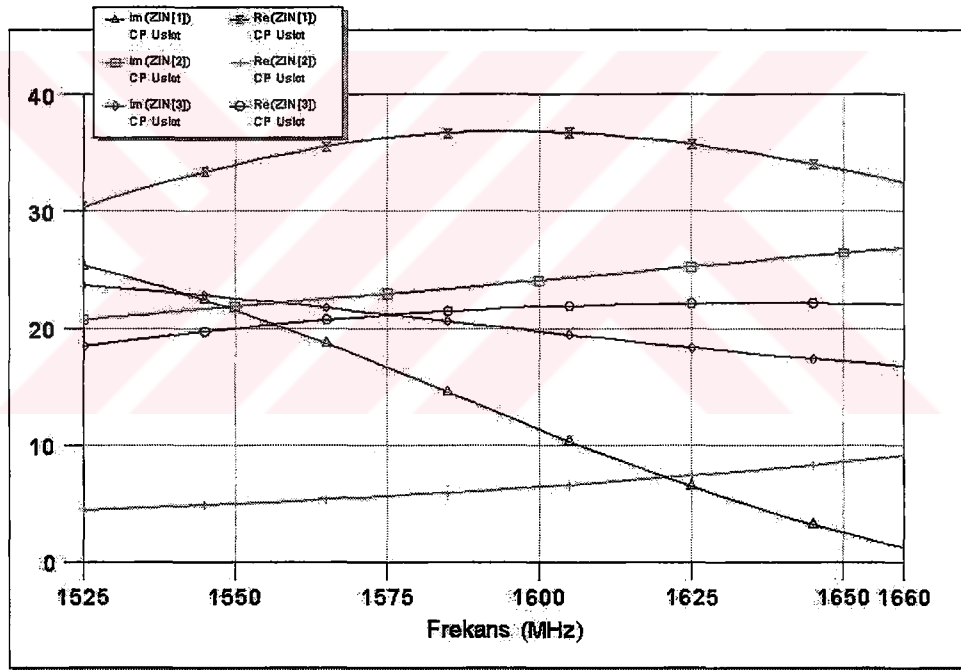
Şekil 4.22 Besleme güç bölücü devresi iletim parametreleri

Girişten belirlenen oranlarda dağıtımı yapılan gücün, besleme kapılarına tam iletimini sağlamak için, güç bölücü devre çıkışları ile besleme kapıları arasında empedans uydurma işlemi yapılmalıdır. Yeni sunulan antenin, besleme kapıları giriş empedansı değerlerinin çalışma bandımız boyunca değişimi Şekil 4.23'teki grafikte verilmiştir. Merkez frekansta okunan değerler (4.7a-c)'de görülmektedir.

$$Z_{IN1} = 36.8 + j12.5 \quad (4.7a)$$

$$Z_{IN2} = 6.1 + j23.6 \quad (4.7b)$$

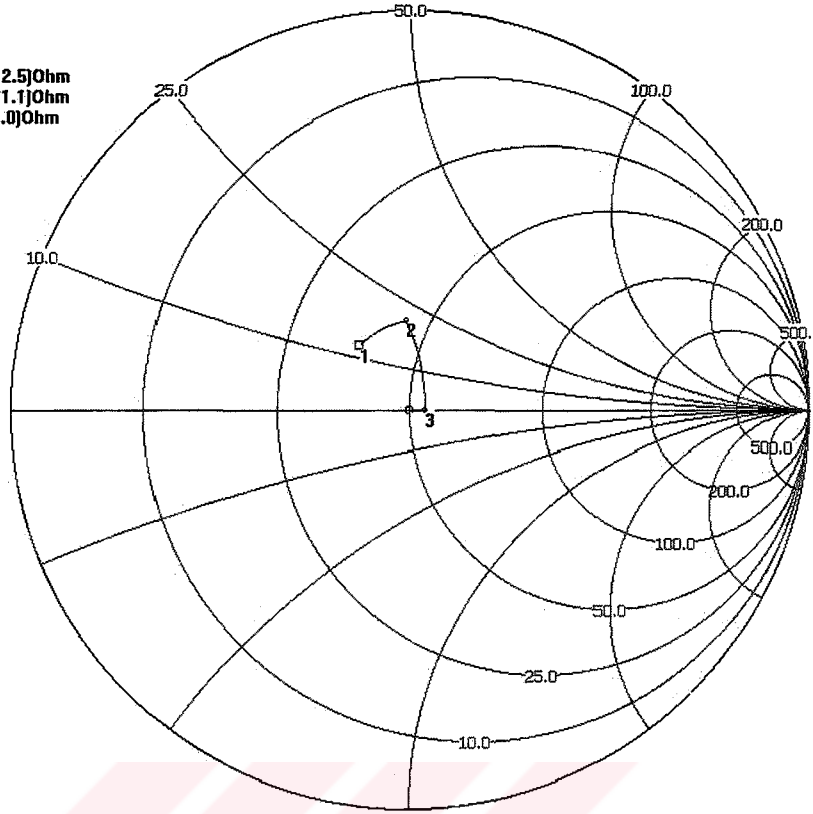
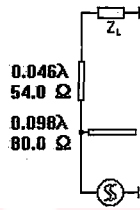
$$Z_{IN3} = 21.5 + j20.3 \quad (4.7c)$$



Şekil 4.23 Anten besleme kapıları giriş empedansı değişimi

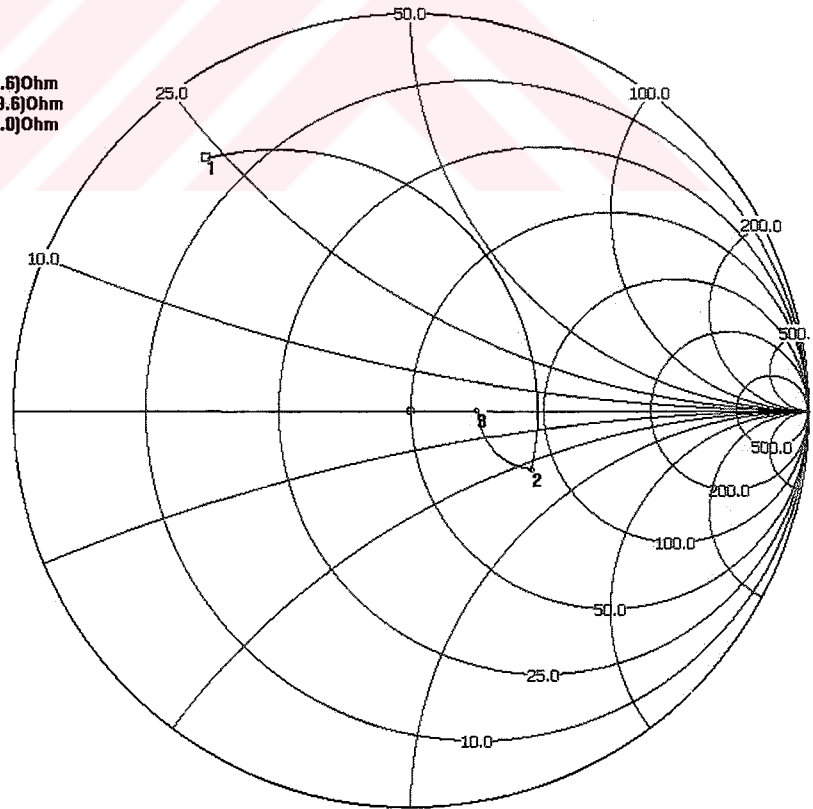
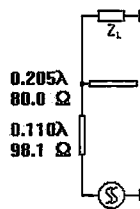
Empedans uydurma işlemi “Smith” programını kullanarak yapılmıştır. Bir numaralı besleme kapısı için yapılan empedans uydurma işlemi ve empedans uydurucu devre Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Benzer şekilde iki ve üç numaralı kapılar için yapılan empedans uydurma işlemi sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

DP-Nr. 1 [36.8 + j12.5] Ohm
 DP-Nr. 2 [44.2 + j21.1] Ohm
 DP-Nr. 3 [54.0 + j0.0] Ohm



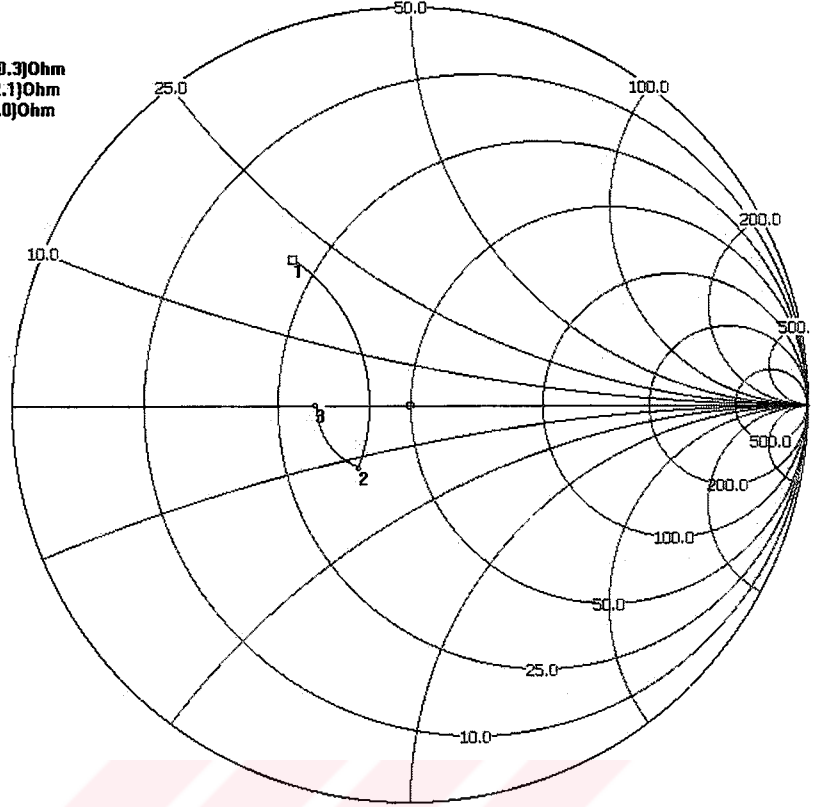
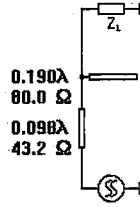
Şekil 4.24 Port1 empedans uydurucu

DP-Nr. 1 [6.1 + j23.6] Ohm
 DP-Nr. 2 [87.3 - j29.6] Ohm
 DP-Nr. 3 [69.9 + j0.0] Ohm



Şekil 4.25 Port2 empedans uydurucu

DP-Nr. 1 $[21.5 + j20.3]\Omega$
 DP-Nr. 2 $[36.7 - j12.1]\Omega$
 DP-Nr. 3 $[30.6 + j0.0]\Omega$



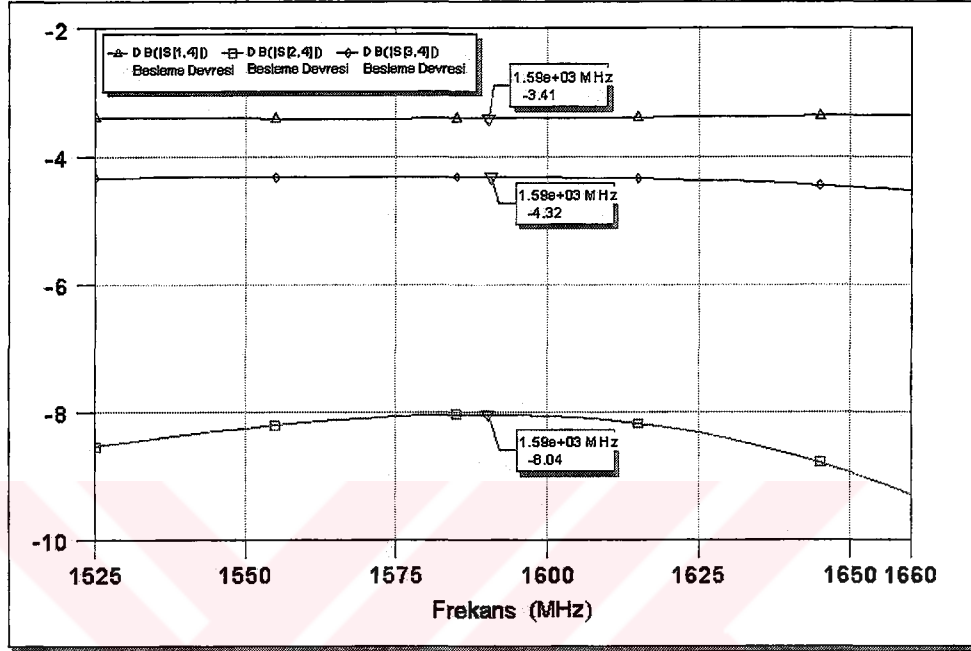
Şekil 4.26 Port3 empedans uydurucu

Sunulan yeni antenin paterni için anten besleme kapılarına gelen gücün oranı yanında, faz farkı da önemlidir. Besleme kapılarına gelen işaretlerin fazı, güç bölücü devrenin her çıkışına konan mikroşerit iletim hatları ile ayarlanmıştır. Bu hatların boyu değiştirilerek besleme kapıları arasındaki faz farklarının uygun değerde olması sağlanmıştır.

Güç bölücü devreye, oluşturulan empedans uydurucu ve faz kaydırıcı elemanlar eklenerek çizilmiş anten besleme devre şemasının tamamı Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Standart çıkış kapıları “Gamma” kapıları ile değiştirilerek anten besleme kapılarındaki kompleks giriş empedansları simülasyona dahil edilmiştir. “IM” isimli mikroşerit iletim hatları, her besleme çıkışındaki empedans uydurucu devre elemanlarını göstermektedir. Anten besleme çıkışlarındaki, fazı ayarlamak için güç bölücü devrenin çıkışlarına konan mikroşerit hatlar ise “PC” ile isimlendirilmiştir.

Yeni anten için oluşturulan besleme devre şeması üzerinde yapılan ilk simülasyon, güç bölücü devrede olduğu gibi iletim parametrelerinin gözlenmesi olmuştur.

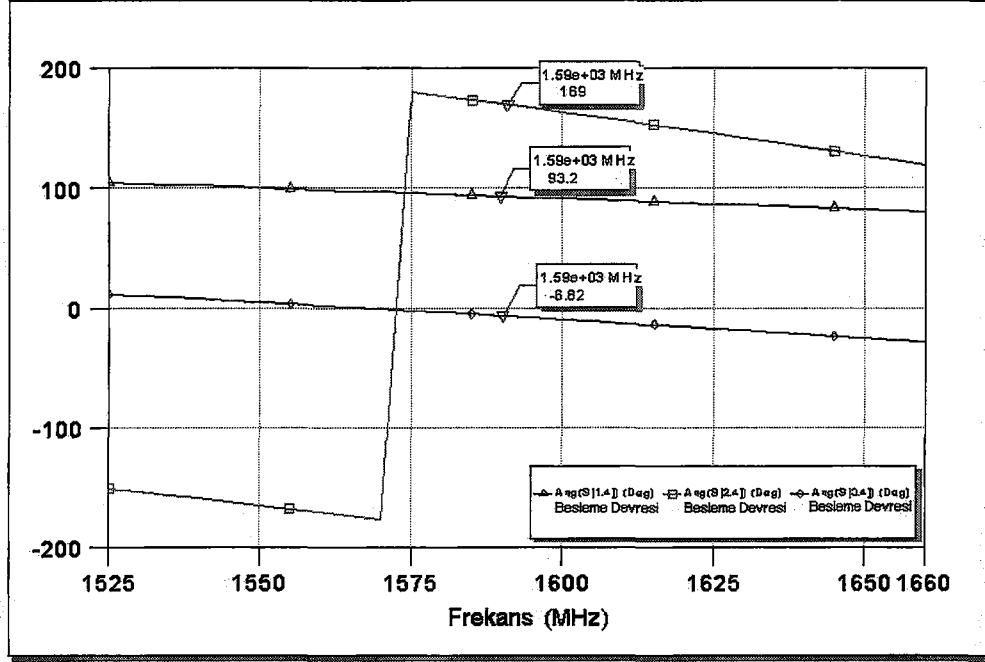
Simülasyon sonucunda elde edilen grafik, Şekil 4.28’de verilmiştir. Grafikteki değerler incelendiğinde güç dağıtım oranında büyük bir değişikliğin olmadığı gözlenmiştir. Bu gözlem bize empedans uydurucu devrelerin doğru çalıştığını göstermektedir.



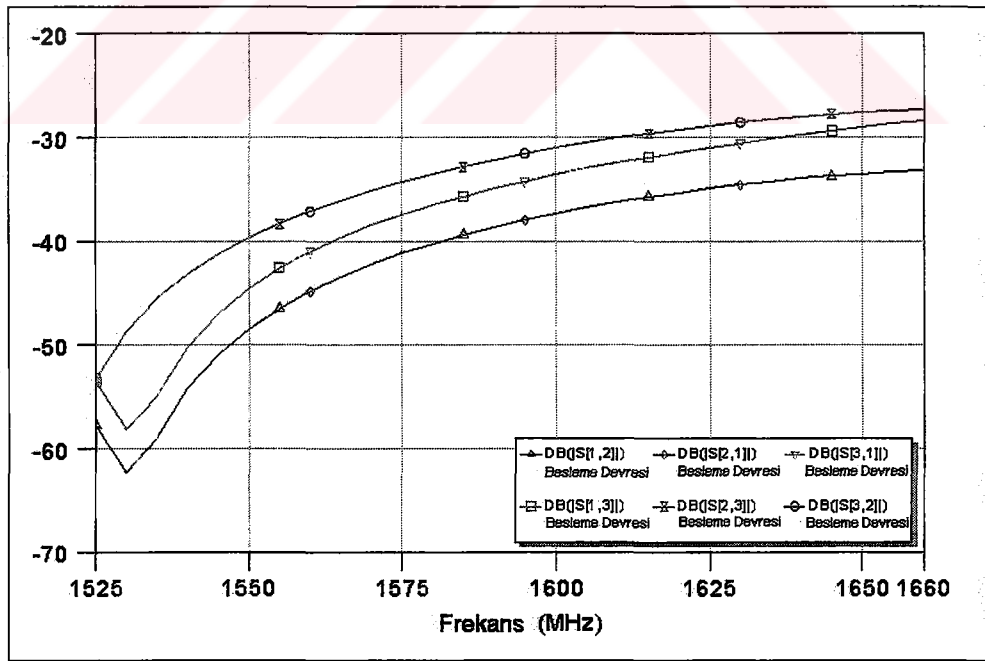
Şekil 4.28 Anten besleme devresi iletim parametreleri

Antenin elektriksel karakteristiğini belirlemede etkili olan faz farkı için yapılan simülasyon sonuçları da Şekil 4.29’da verilmiştir. Grafikte işaretlenen değerler arasındaki fark antenin besleme noktaları için gereken faz farkına eşittir.

Besleme devresi ile ilgili son olarak verilen grafik Şekil 4.30’da, çıkış kapıları arasındaki izolasyonu göstermektedir. Besleme devresi tarafında en kötü olduğu noktada 27 dB’lik bir izolasyon sağlanmıştır.



Şekil 4.29 Anten besleme devresi çıkış faz farkları



Şekil 4.30 Besleme devresi çıkış kapıları arasındaki izolasyon

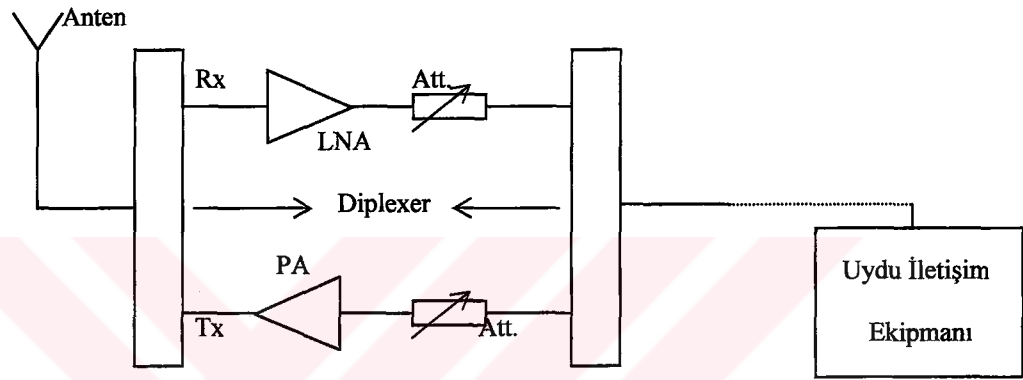
4.4 Yeni Antenin Kullanım Alanları Ve Örnek Uygulamaları

Sunulan yeni anten tasarımı kişisel uydu iletişim sistemlerinin mobil uygulamaları için geliştirilmiştir. Özellikle kara vasıtalarında uydu iletişimini sağlayacak antenlerin ince profilli, geniş paternli ve dayanıklı olması gerekir. Bu tez çalışması boyunca belirtilen bu özellikler tasarlanan anten için elde edilmeye çalışılmıştır.

Sunulan antenin en büyük kullanım alanı, başta otomobil gibi kara vasıtaları olmak üzere mobil uydu iletişimi kullanan araçlarda, araç içerisine monte edilen uydu iletişim ekipmanlarına bağlanan harici anten olarak düşünülmüştür.

Uygulama aşamasına gelindiğinde ise, antenin işlevini tam olarak yerine getirmesi için dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Mobil uydu iletişim sistemlerinde kullanılan harici anten sisteminin görevi, bağlandığı iletişim ekipmanının, harici bir bağlantı kullanmadan uydu ile sağladığı iletişim gereksinimlerini aynen yerine getirmektir. Bu gereksinimler içinde alıcı hassasiyetinin sağlanması ve uygun çıkış gücüne ulaşılabilmesi temel faktörlerdir. Sunulan anten paterninin çok yönlü olmasına bağlı olarak anten kazancı en fazla 4 dB civarında olmaktadır. Düşük kazançlı harici bir antenle çalışmak üzere sistem kurulumu dikkatle yapılmalıdır. İlk olarak harici anteni, dahili uydu iletişim ekipmanına bağlamak için kullanılan koaksiyel kablounun türü ve uzunluğu iyi tespit edilmelidir. Toplam bağlantı kaybı nedeniyle, uydu iletişim ekipmanına ulaşan sinyal seviyesi ve göndermeç yönünde çıkış gücü sağlıklı iletişim kurmak için yetersiz kalabilir. Bu yüzden toplam kablo kaybı ile kullanılan coğrafi bölgedeki anten kazancı arasında bir marjın bırakılmalıdır. Otomobil gibi mobil araçlarda kullanılan koaksiyel kablounun kırılmaya dayanıklı, esnek ve ince olması istenir fakat bu da birim uzunluk başına kablo kaybının artması demektir. Sistem kurulumunun daha uzun bağlantı kablosu gerektirdiği deniz taşıtları veya nakliye araçları gibi uygulamalarda ise çözüm antenin aktif devrelerle desteklenmesidir. Şekil 4.31’de bu tür uygulamaya yönelik tasarlanmış bir aktif devre blok diagramı görülmektedir. Anten çıkışına kurulan devrede diplexerlar kullanılarak almaç ve göndermeç bantları ayrılmaktadır. Kullanılacak diplexerlar tümlşik seçilmek yerine, $\lambda/4$ hat ve bant geçiren filtreler kullanılarak baskı devre kartı üzerinde ucuza oluşturulabilir. Tasarlanacak böyle bir diplexer devresinin bantlar arasındaki izolasyonu yaklaşık 20 dB civarında olur ve bu aktif devre için yeterlidir. Almaç bandı üzerine yerleştirilen LNA ile zaten

düşük seviyede olan uydu işareti uydu iletişim ekipmanına gönderilmeden önce yükseltilmekte, göndermeç bandı üzerine yerleştirilen yüksek güç kuvvetlendiricisi ile de uydu iletişimini sağlayacak çıkış gücü elde edilmektedir. Hatlar üzerinde bulunan zayıflatıcılar opsiyoneldir ve kurulan bağlantı kaybına göre ayarlanır. Kablo kaybı kuvvetlendirme seviyesinin çok altında kalmışsa uydu iletişim ekipmanının doyuma girmemesi ve çıkış gücünün belirlenen sınırlarda kalması için zayıflatıcıların kullanılması önerilir. Aktif devrenin DC beslemesi uydu iletişim ekipmanına giden koaksiyel kablo üzerinden sağlanabilir.



Şekil 4.31 Mobil anten aktif devre blok diagramı

5 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, tasarımı yapılan yeni mikroşerit yama antenin benzetim sonuçları değerlendirilmiş, literatürde ve piyasada ki benzer örnekleri ile karşılaştırması sunulmuştur.

Sunulan anten, mobil uydu haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere geniş paternli ve ince profilli olarak tasarlanmıştır. Bu iki tasarım kriteri genel olarak mobil uydu haberleşme sistemlerinde kullanılan antenler için aranan temel özelliklerdir. Bu özelliklerin dışında, coğrafi kullanım alanı ve montaj ortamında ki fiziksel şartlara bağlı olmak üzere de özel amaçlı uygun anten tasarımları yapılmaktadır. Tasarlanan ve incelenen antenlerin karşılaştırılması sırasında, belirtilen çeşitli türden antenlerin genel özellikleri de sunulmuştur.

Anten paterni incelendiğinde genelde çokyönlü olduğu gözlenmektedir. Sadece zenit düzleminde kırk derecelik karşılıklı oluşan bir bölge için düşük theta açılarında kazancın çoğu görülmüştür. Bu bölgede bile en kötü 3 dB yarım güç açısı değeri yaklaşık $\pm 53^\circ$ olarak tespit edilmiştir.

Anten baskı devre kartı için toplam 3.1 mm kalınlıkla tasarım tamamlanmıştır. Antenin üretimi için gereken koaksiyel kablo bağlantısı veya konnektör, anten kabı ve anten bağlantı elemanları gibi faktörleri de katarsak antenin kullanılmaya hazır yüksekliği yaklaşık 15 mm olabilir. Bu özellik, anten yüksekliğinin büyük problem olduğu otomobil türü araçlarda yeni tasarıma büyük avantaj sağlayacaktır.

Tasarımı yapılan antenin, benzerleri ile karşılaştırılmasının yapılabilmesi için literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş, piyasada kullanıcıya sunulan ürünler araştırılmış ve elde edilen veriler, frekans aralığı, polarizasyon, maksimum kazanç, kullanılabilir uydu görüş açısı ve yapının yüksekliği başlıkları altında Tablo 5.1'de sunulmuştur. Tablo incelendiğinde, tasarımı yapılan mobil uydu haberleşme anteninin benzer kapsama performansı sunan diğer antenlere göre en önemli avantajının, ince profil yüksekliği olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1 Benzer amaçla üretilen antenlerden bazılarının özellikleri

Ref.	Frekans Aralığı (MHz)	Polarizasyon	$G_{\max}$ (dBi)	θ_s	Yükseklik (mm)
[10]	1525-1660.5	RHCP	2.0	>14	125
[10]	1525-1660.5	RHCP	6.0	26-45	245
[11]	1525-1660.5	LHCP	3.0	<40	159
[12]	1525-1660.5	LHCP	4.0	>40	50
[13]	1700-1950	LHCP	1.4	>12	87
Tasarlanan	1525-1660.5	LHCP	4.2	>37	15

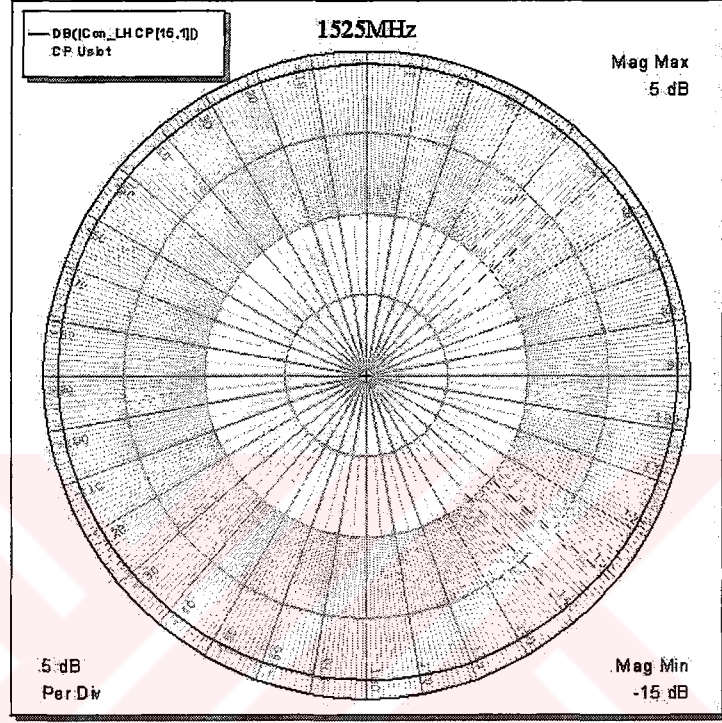
KAYNAKLAR

- [1] **Potton, B.**, 1998. Satellite Based Global Cellular Communications, McGraw-Hill New York.
- [2] **Richharia, M.**, 1999. Satellite Communication Systems: Design Principles, McGraw-Hill, New York.
- [3] **Nunberg, M.W. and Volakis, J.L.**, 1997. A Planar Slot Spiral For Multi-Function Communications Apertures, Radiation Laboratory, Dept. Of Elect. Engin. & Comp. Sci., **MI48109-2122**, University Of Michigan.
- [4] **Lee, K. F.; Luk, K. M.; Tong, K. F.; Shum, S. M.; Huynh, T. and Lee, R. Q.**, Oct 1997. Experimental And Simulation Studies Of The Coaxially Fed U-Slot Rectangular Patch Antenna, *IEE Proc.-Microwave Antennas Propagat.*, vol. **144**, pp. 354–358.
- [5] **Weigand, S.; Huff, G.H.; Pan, K.H.; Bernhard, J.T.**, Apr 1998. Analysis And Design Of Broad-Band Single-Layer Rectangular U-Slot Microstrip Patch Antennas, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol **46**, pp. 457-468.
- [6] **Tong, K. F.; Luk, K. M.; Lee, K. F. and Lee, R. Q.**, June 2000. A Broad-Band U-Slot Rectangular Patch Antenna on a Microwave Substrate, *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol **48**, pp. 954-960.
- [7] **Antenna Measurements Overview**, Microwave Office Help Menu
- [8] **EMSight Cell Size Definition**, <http://www.mwoffice.com/support/appnotes/guidelines.html>
- [9] **Pozar, David M.**, 1990. Microwave Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- [10] **Inmarsat Antennas**, Seavey Engineering. <http://www.seaveyantenna.com/catalog/p14/pg14-17.htm>

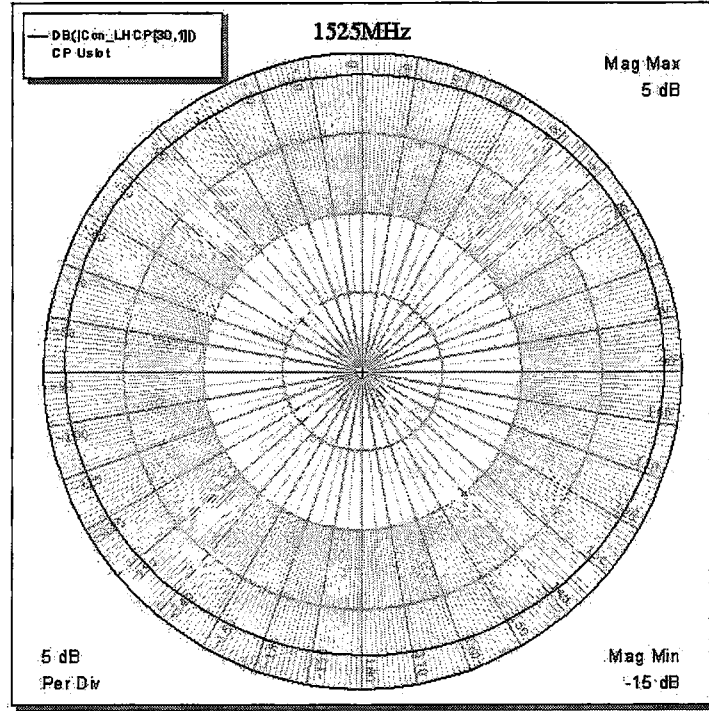
- [11] **Antennas**, 2004. Thuraya Satellite Telecommunications Company, <http://www.thuraya.com/products/partnerproducts/daniset/#antennas>
- [12] **Mobile Triband Antenna For Thuraya Satellite Phone System**, Mastercom, <http://www.mastercom.dk/triband.htm>
- [13] **Agius, A. A.; Saunders, S. R.; Evans, B. G.**, April 1997. Antenna Design For The ICO Handheld Terminal, *International Conference On Antennas & Propagation*, Edinburgh, UK.



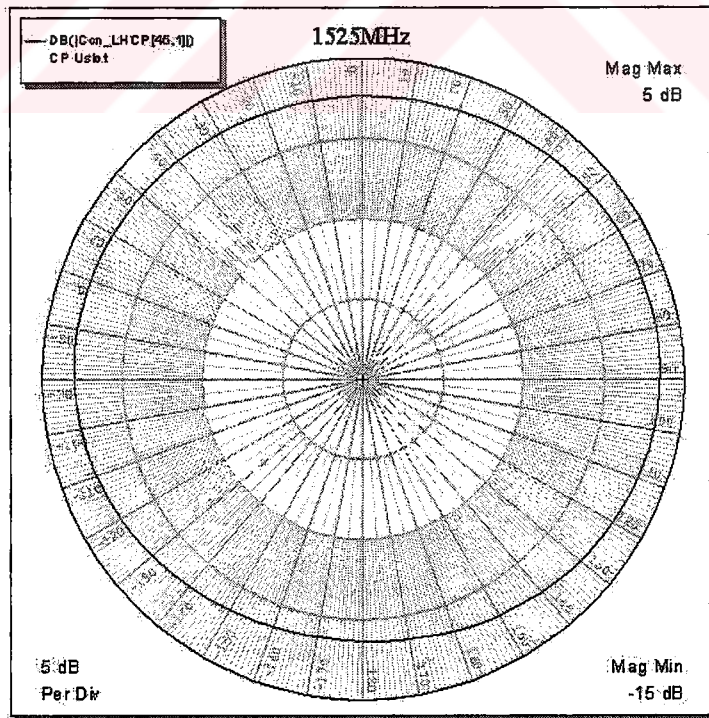
EK A



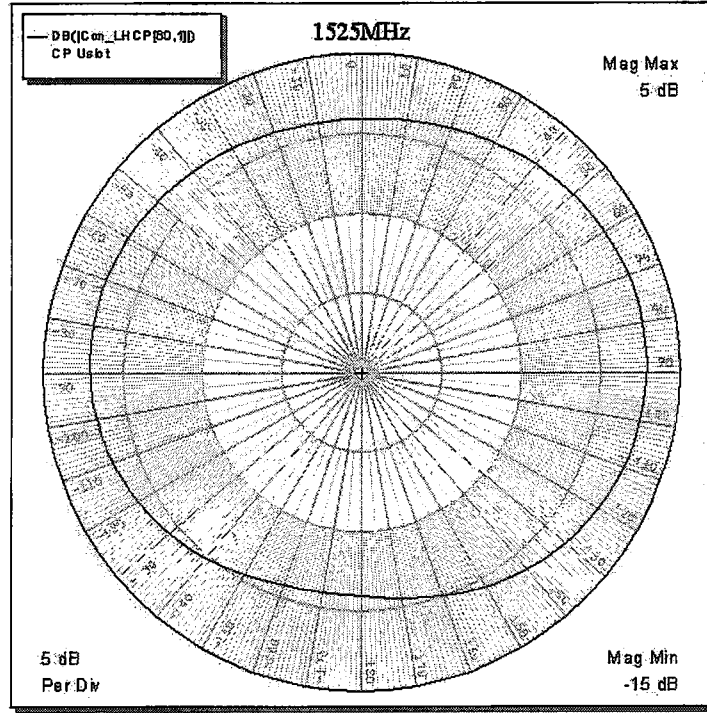
Şekil A.1 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=15^\circ$, LHCP grafiği



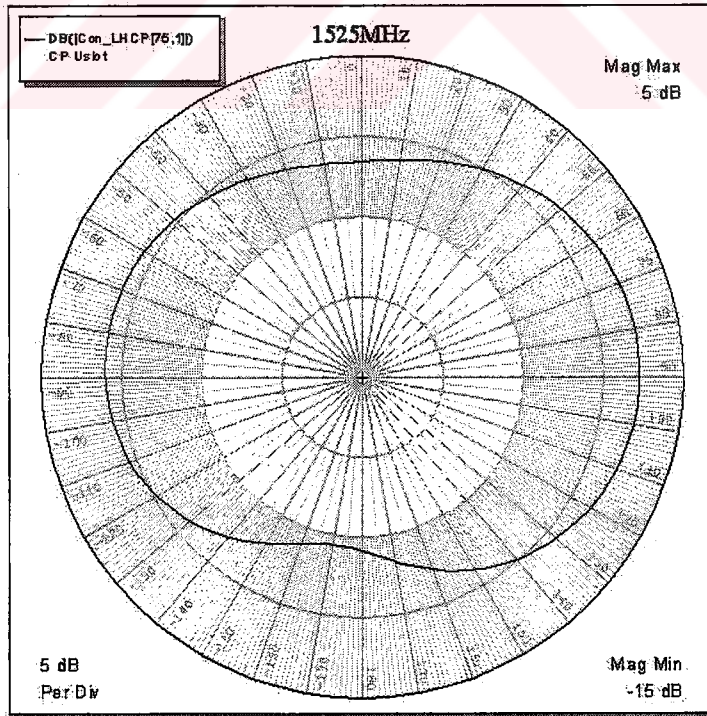
Şekil A.2 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=30^\circ$, LHCP grafiği



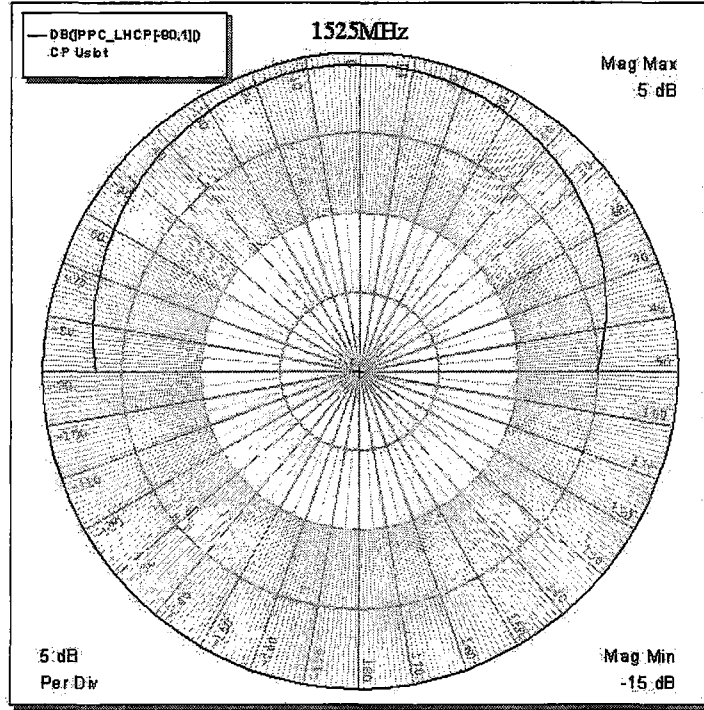
Şekil A.3 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP grafiği



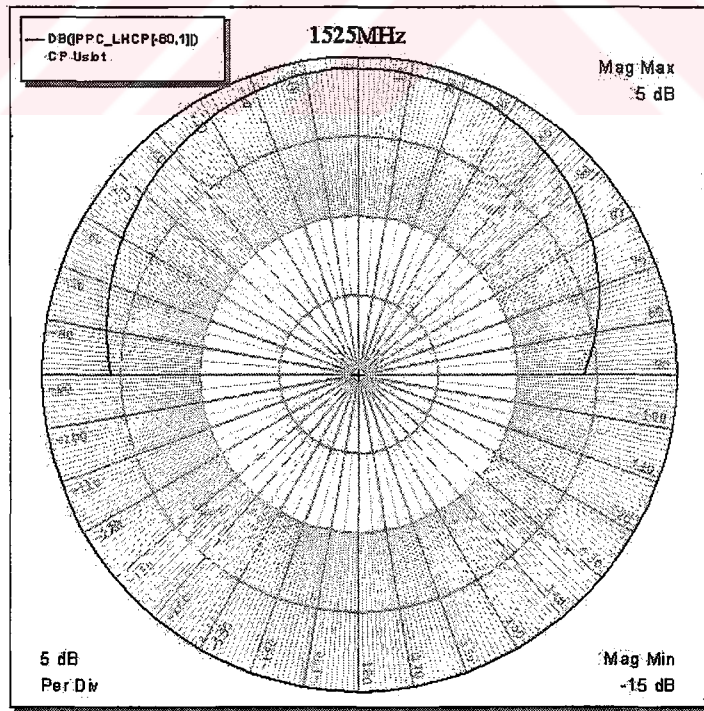
Şekil A.4 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=60^\circ$, LHCP grafiği



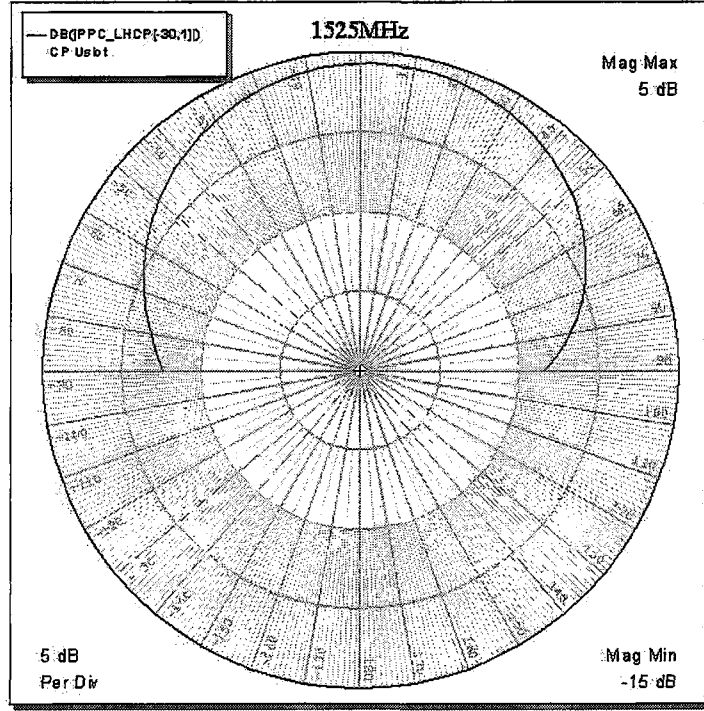
Şekil A.5 Konik düzlemde $f=1525\text{MHz}$ $\theta=75^\circ$, LHCP grafiği



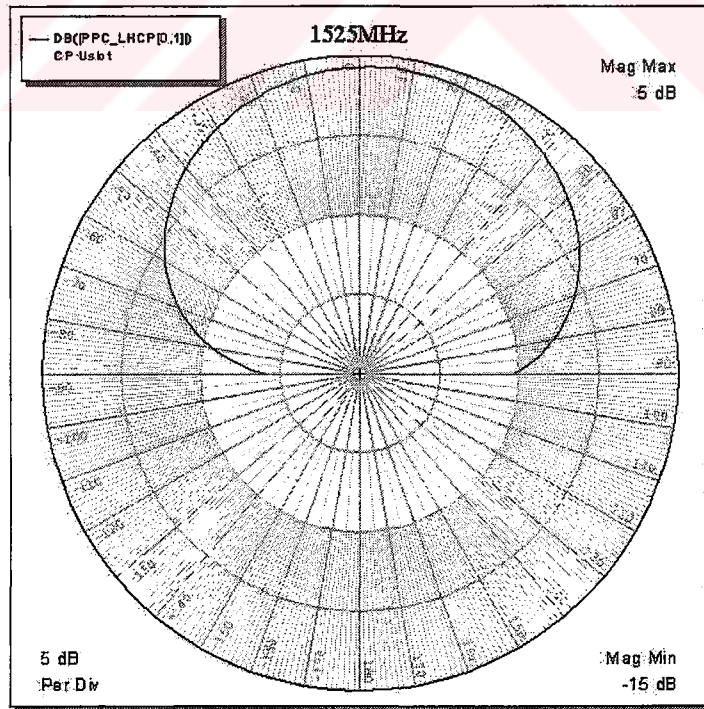
Şekil A.6 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=-90^\circ$, LHCP grafiği



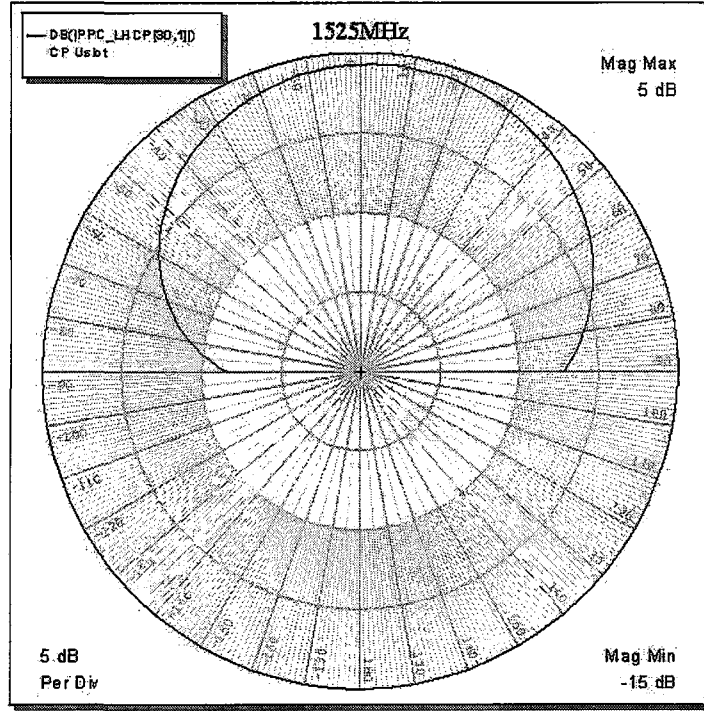
Şekil A.7 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=-60^\circ$, LHCP grafiği



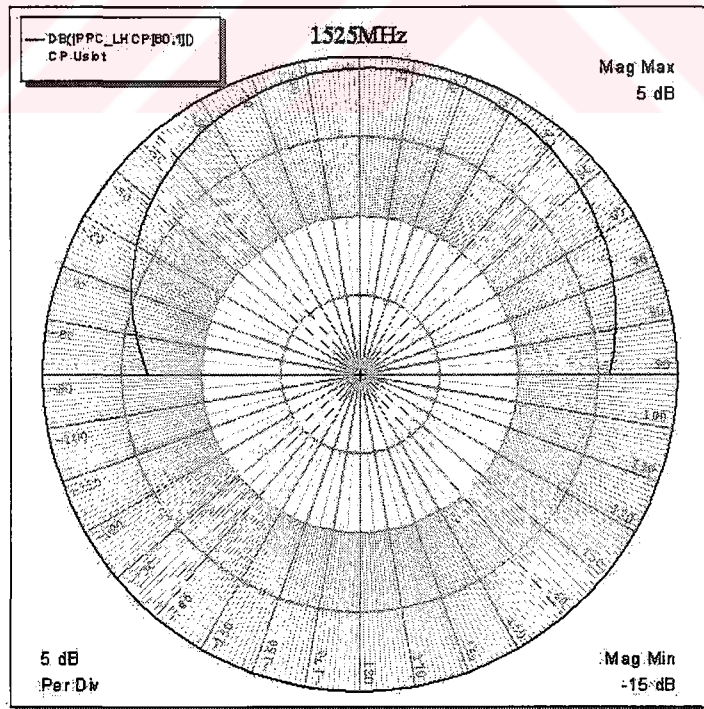
Şekil A.8 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=-30^\circ$, LHCP grafiği



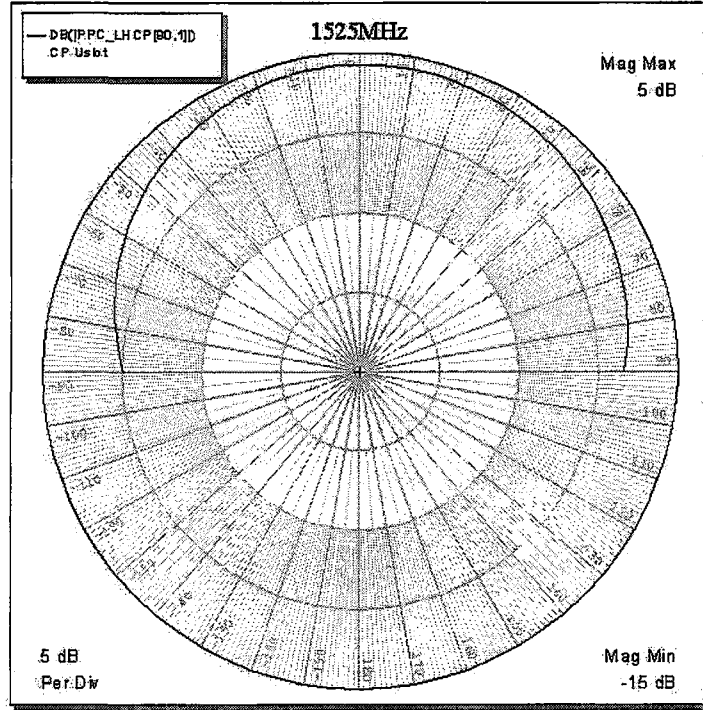
Şekil A.9 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP grafiği



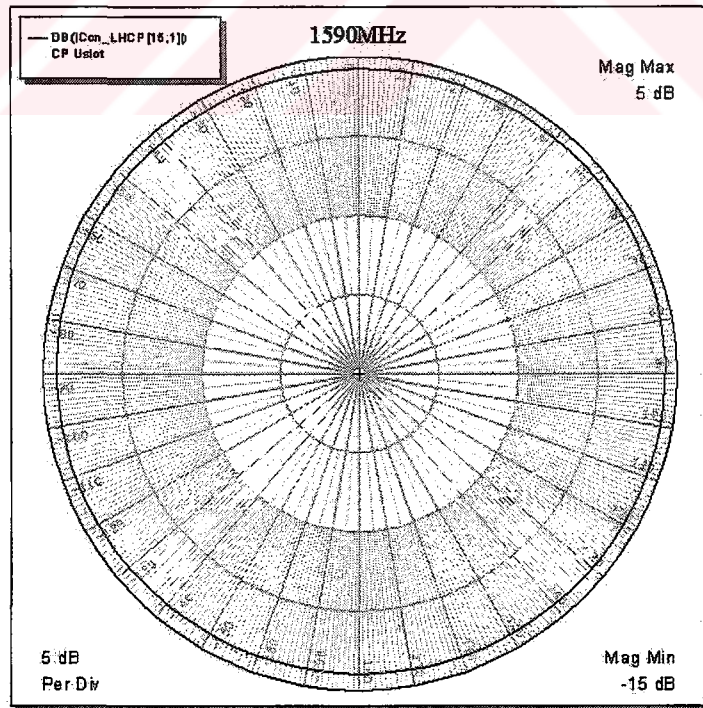
Şekil A.10 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=30^\circ$, LHCP grafiği



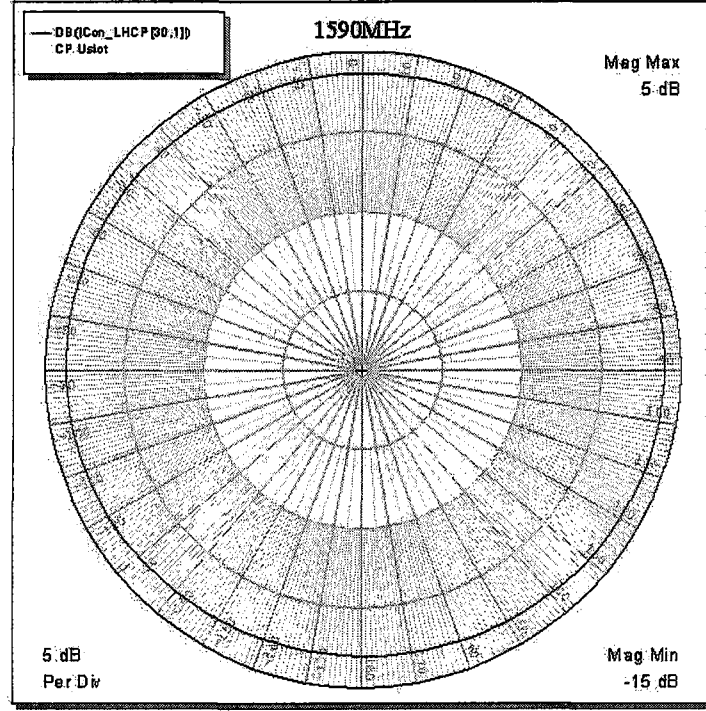
Şekil A.11 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=60^\circ$, LHCP grafiği



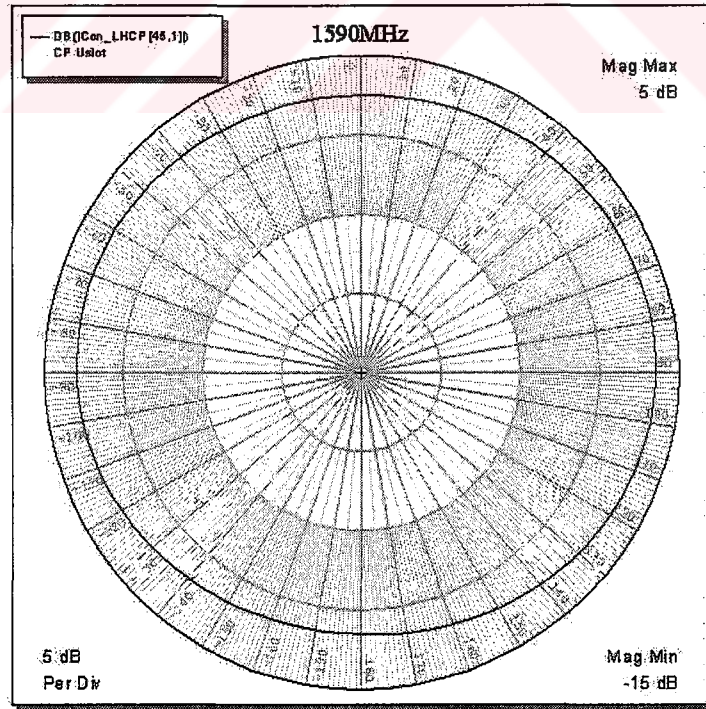
Şekil A.12 Theta düzleminde $f=1525\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP grafiği



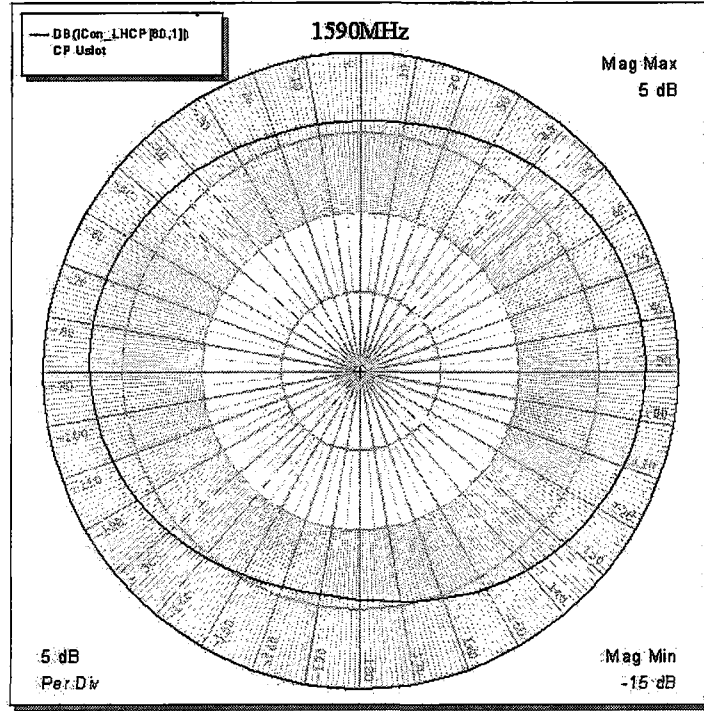
Şekil A.13 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=15^\circ$, LHCP grafiği



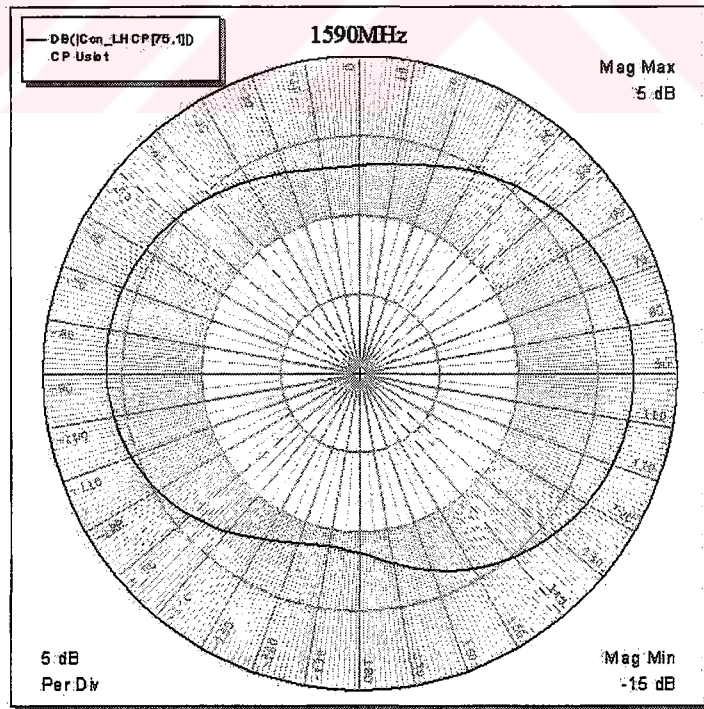
Şekil A.14 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=30^\circ$, LHCP grafiği



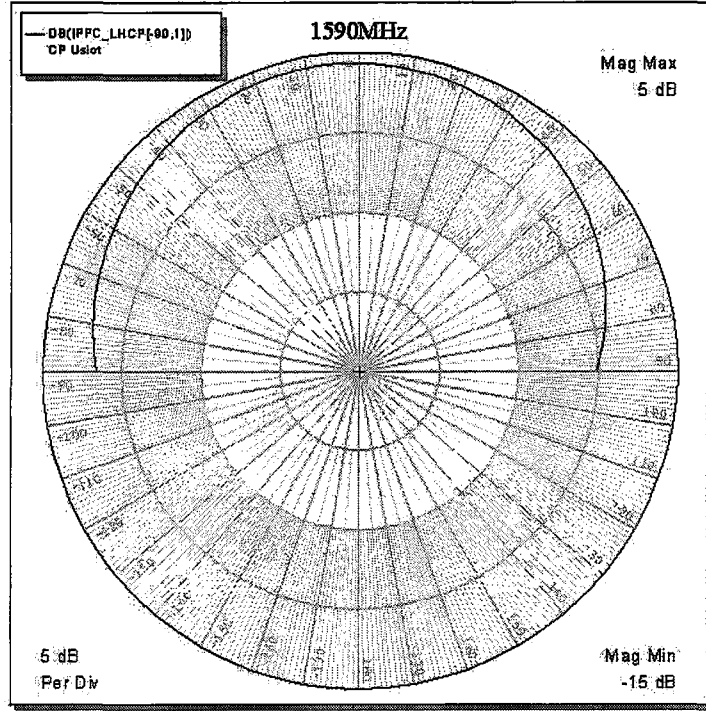
Şekil A.15 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP grafiği



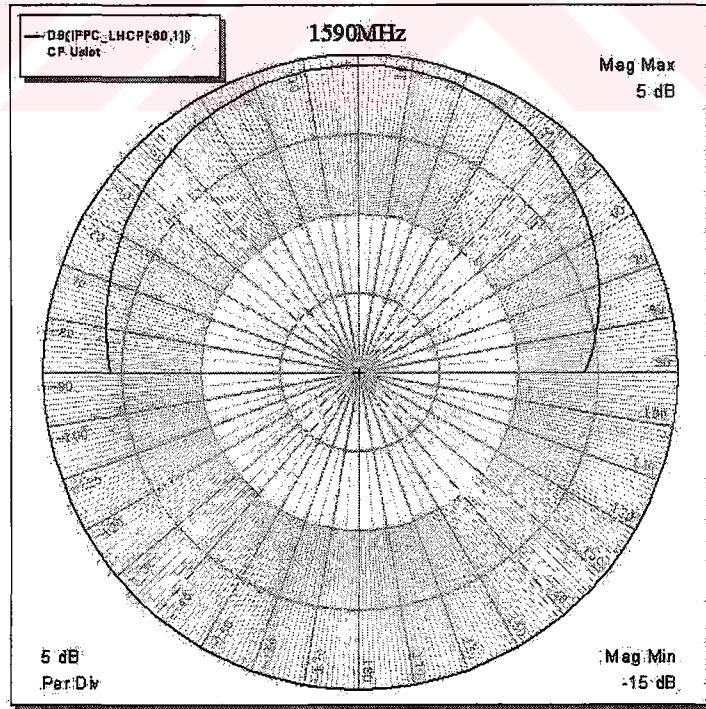
Şekil A.16 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=60^\circ$, LHCP grafiği



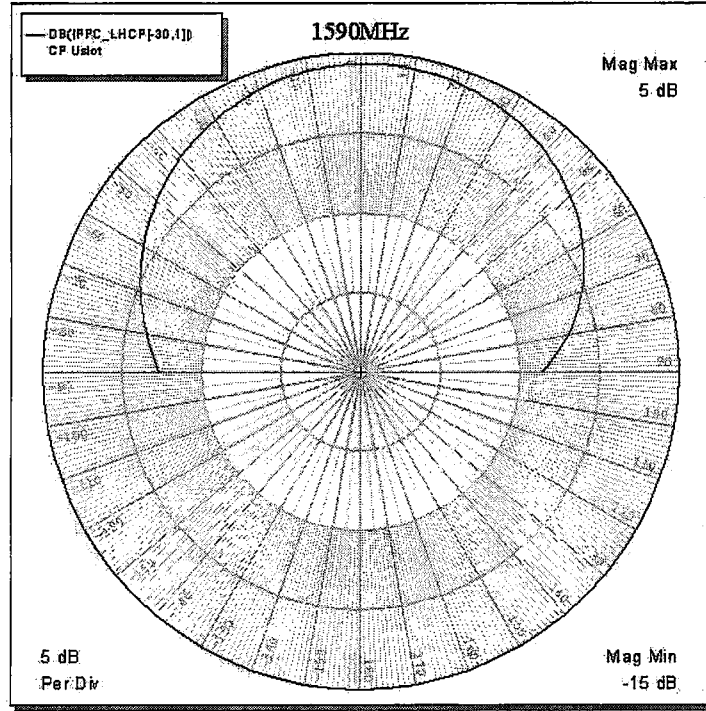
Şekil A.17 Konik düzlemde $f=1590\text{MHz}$ $\theta=75^\circ$, LHCP grafiği



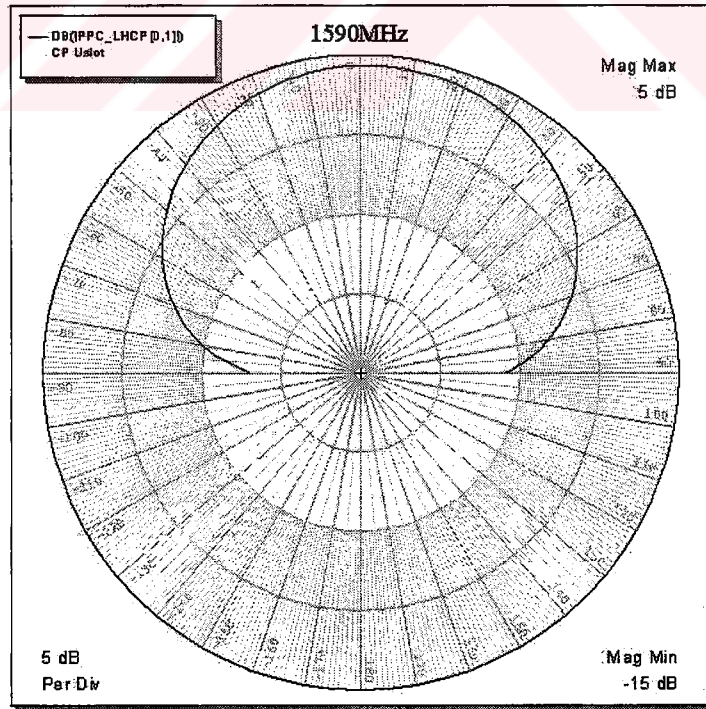
Şekil A.18 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=-90^\circ$, LHCP grafiği



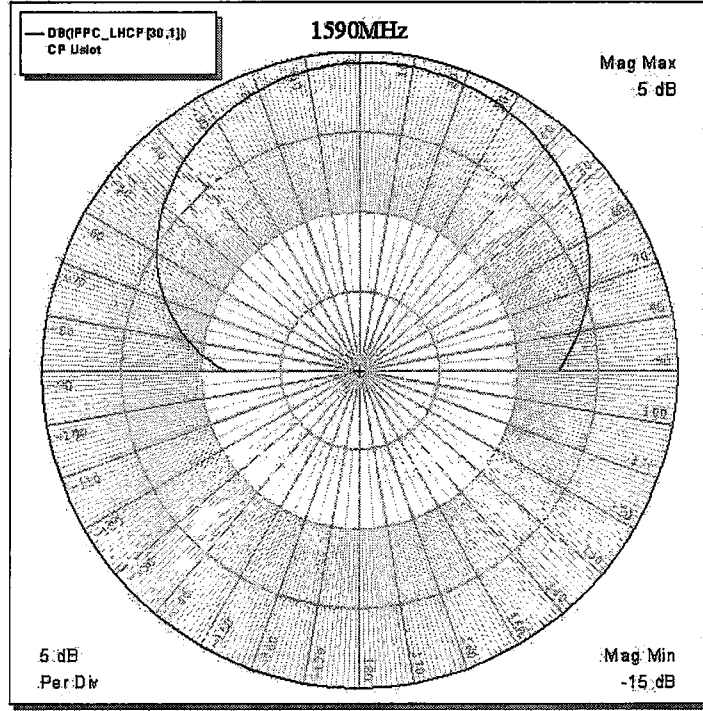
Şekil A.19 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=-60^\circ$, LHCP grafiği



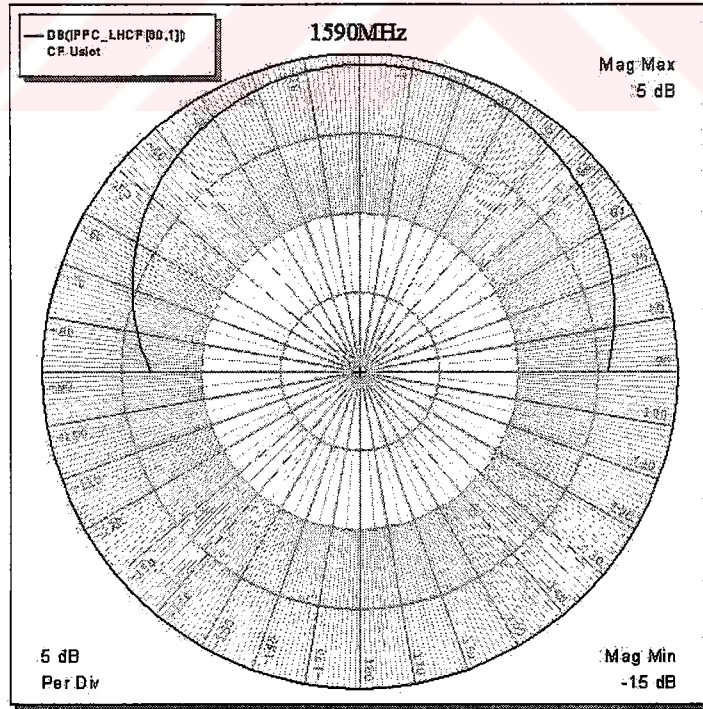
Şekil A.20 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=-30^\circ$, LHCP grafiği



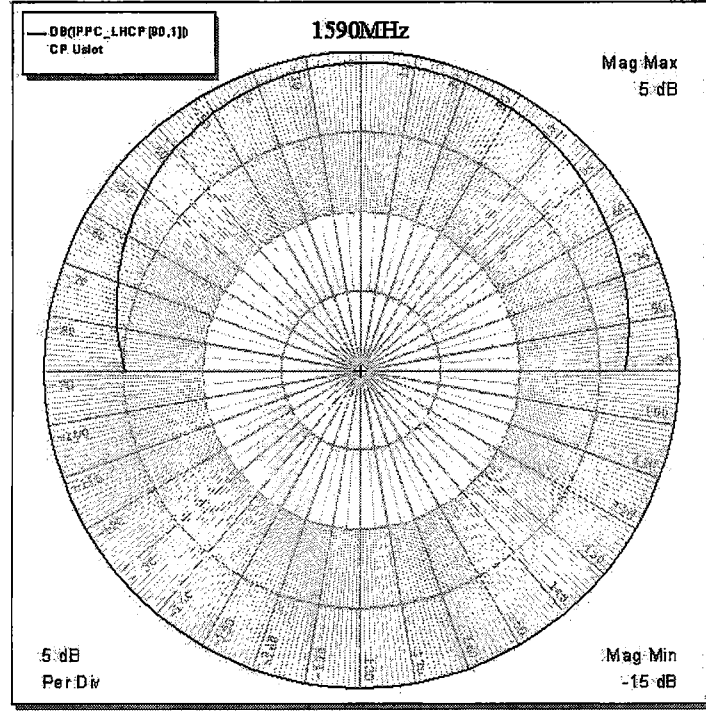
Şekil A.21 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP grafiği



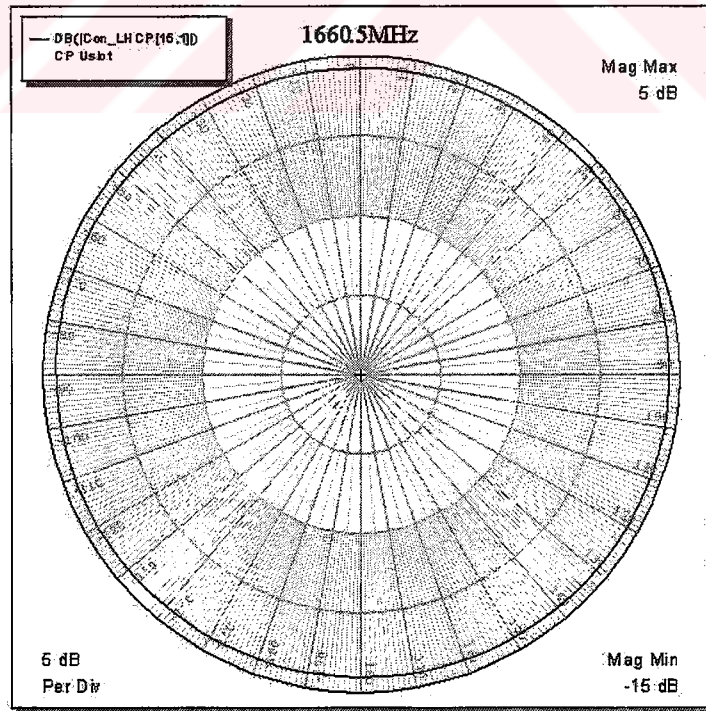
Şekil A.22 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=30^\circ$, LHCP grafiği



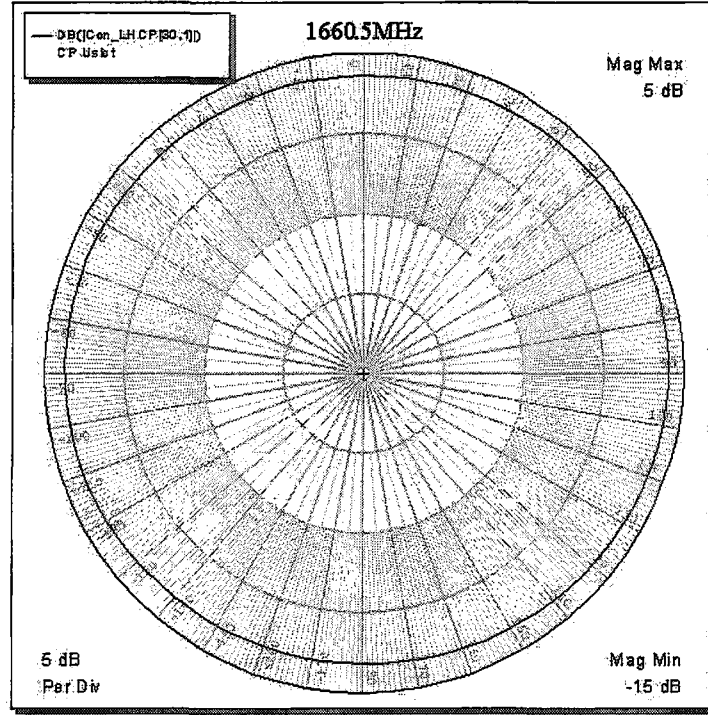
Şekil A.23 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=60^\circ$, LHCP grafiği



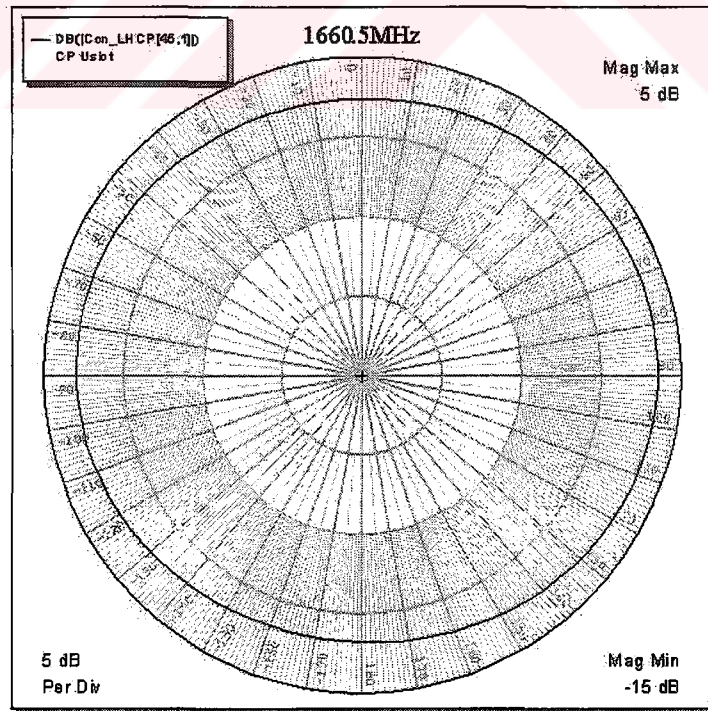
Şekil A.24 Theta düzleminde $f=1590\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP grafiği



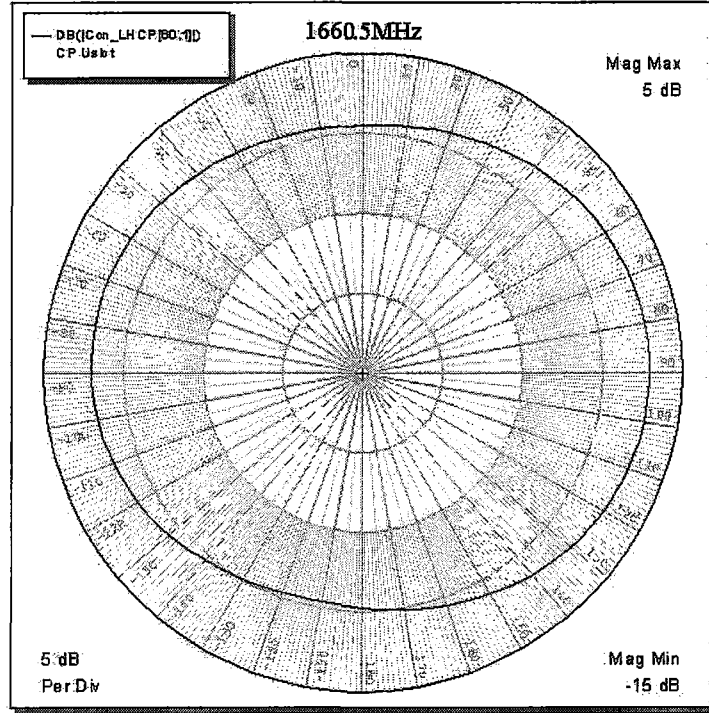
Şekil A.25 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=15^\circ$, LHCP grafiği



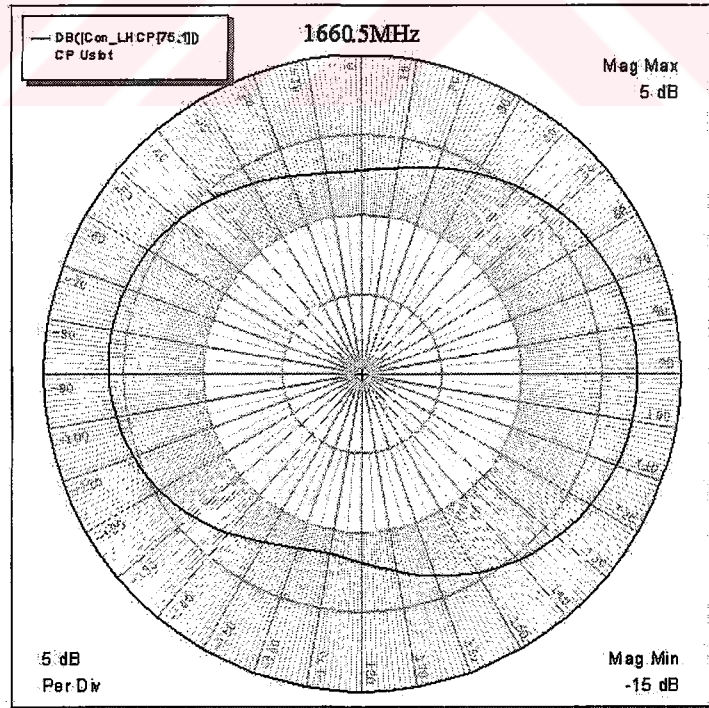
Şekil A.26 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=30^\circ$, LHCP grafiği



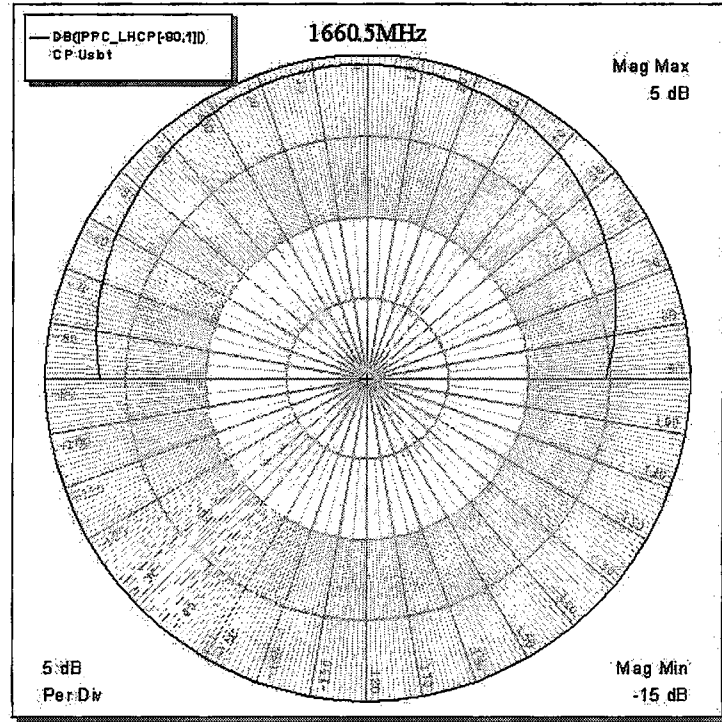
Şekil A.27 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=45^\circ$, LHCP grafiği



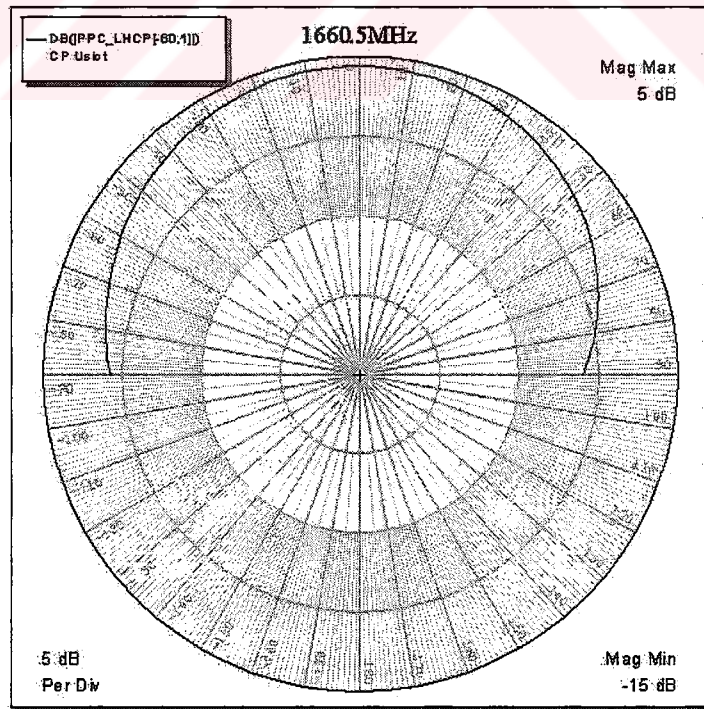
Şekil A.28 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=60^\circ$, LHCP grafiği



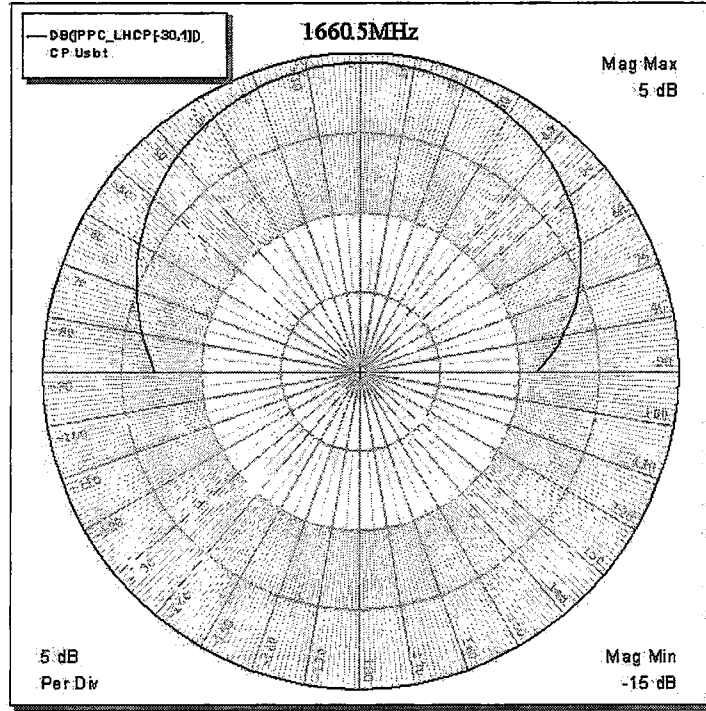
Şekil A.29 Konik düzlemde $f=1660.5\text{MHz}$ $\theta=75^\circ$, LHCP grafiği



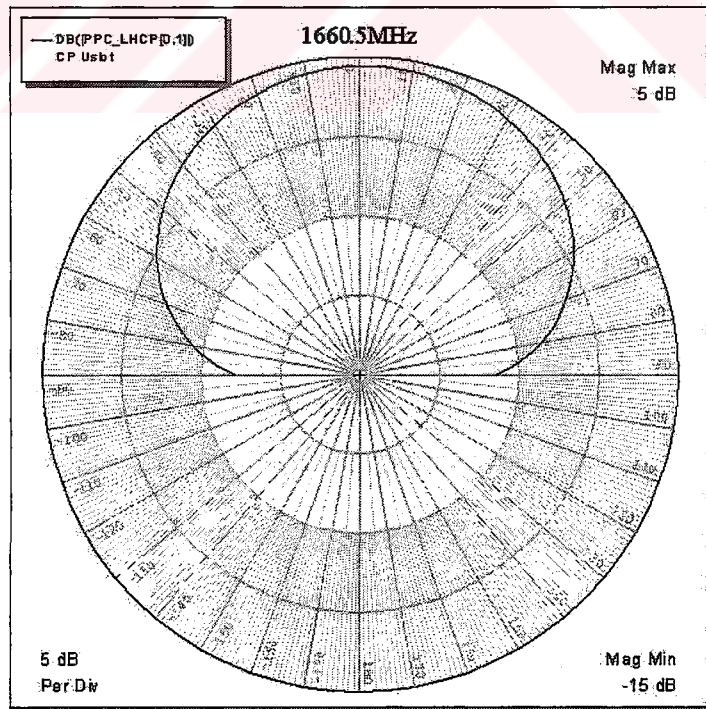
Şekil A.30 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=-90^\circ$, LHCP grafiği



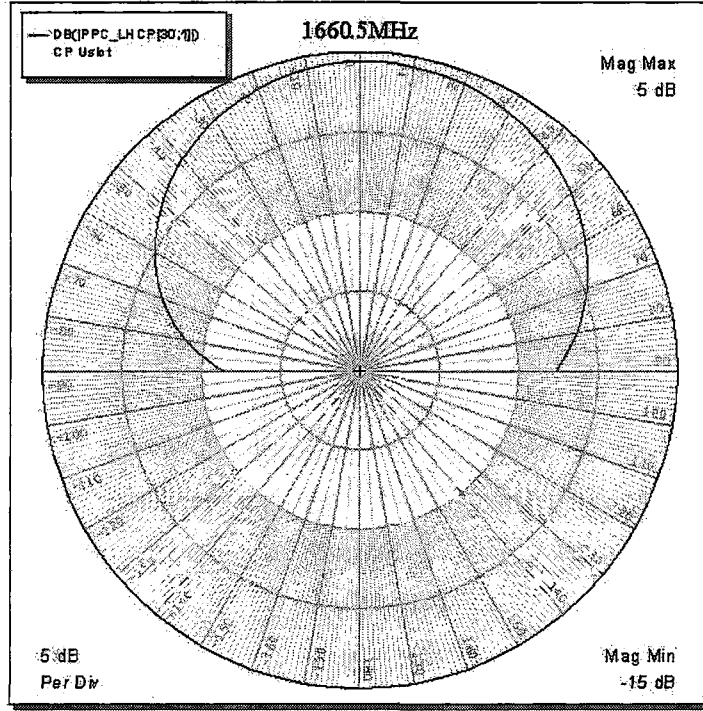
Şekil A.31 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=-60^\circ$, LHCP grafiği



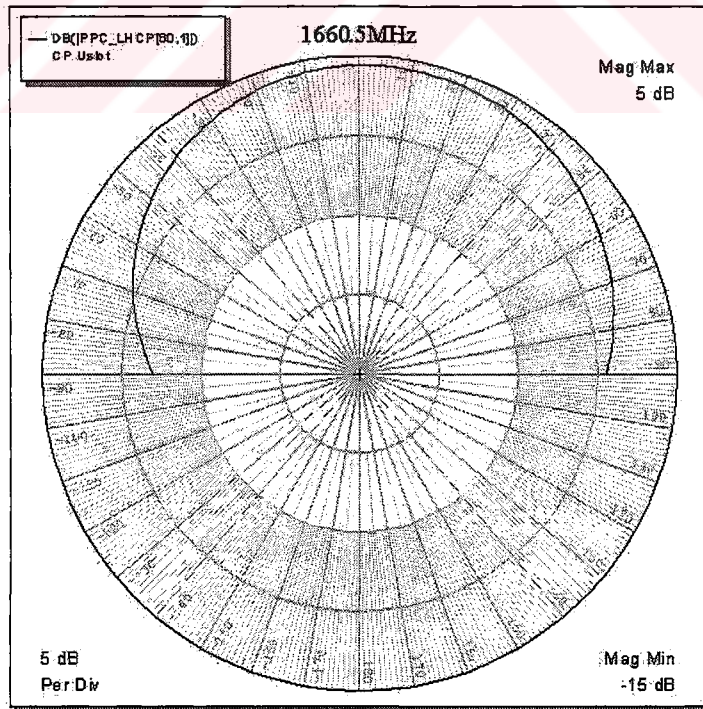
Şekil A.32 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=-30^\circ$, LHCP grafiği



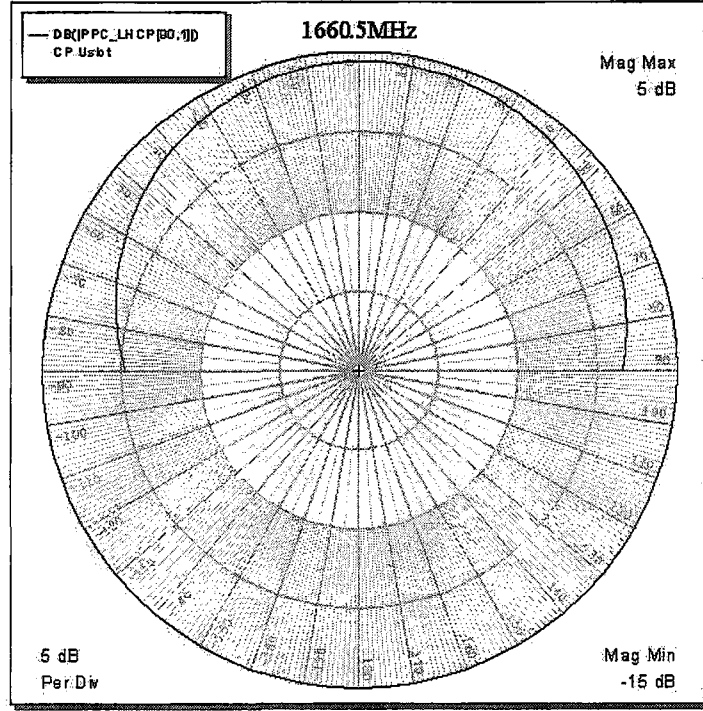
Şekil A.33 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=0^\circ$, LHCP grafiği



Şekil A.34 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=30^\circ$, LHCP grafiği



Şekil A.35 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=60^\circ$, LHCP grafiği



Şekil A.36 Theta düzleminde $f=1660.5\text{MHz}$ $\Phi=90^\circ$, LHCP grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Burak BAYRAKCI, 1979 yılında Eskişehir’de doğdu. 1997 yılında Bursa Tophane Anadolu Teknik Lisesi Elektronik Bölümü’nden mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 2001 yılı bahar döneminde Elektronik ve Haberleşme Mühendisi ünvanını aldı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans’ına başladı.

