

**ÇİFT BANT MİKROŞERİT GPS ANTEN ANALİZİ VE
TASARIMI**

**ANALYSIS AND DESIGN OF DUAL BAND MICROSTRIP
GPS ANTENNA**

MEHMET KÜPELİ

PROF. DR. BİRSEN SAKA TANATAR

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

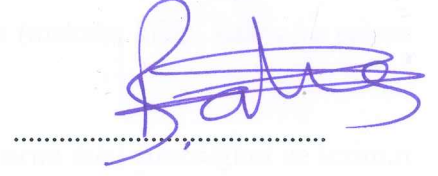
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2017

MEHMET KÜPELİ'nin hazırladığı "Çift Bant Mikroşerit GPS Anten Analizi ve Tasarımı" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

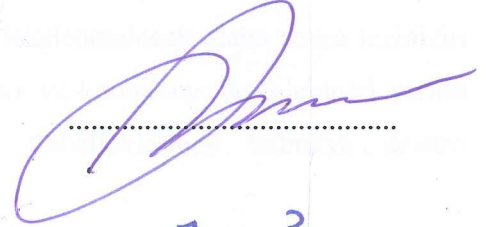
Prof. Dr. Birsen Saka TANATAR
Danışman



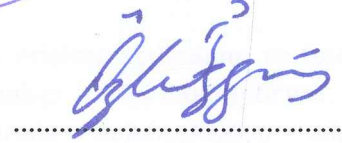
Prof. Dr. Adnan KÖKSAL
Üye



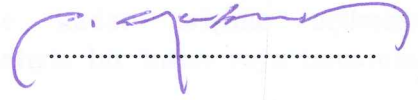
Prof. Dr. Çiğdem Seçkin GÜREL
Üye



Doç. Dr. Özlem ÖZGÜN
Üye



Prof. Dr. Asım Egemen YILMAZ
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

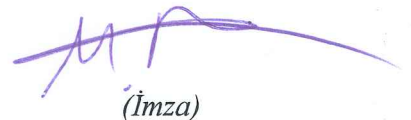
YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**
(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)
- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)
- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**
- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

06 / 12 /2017



(İmza)

Mehmet KÜPELİ

Canım kızım Aslı'ya

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

06/12/2017



MEHMET KÜPELİ

ÖZET

ÇİFT BANT MİKROŞERİT GPS ANTEN ANALİZİ VE TASARIMI

Mehmet KÜPELİ

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Birsen SAKA TANATAR

Aralık 2017, 72 sayfa

Bu tez çift bant mikroşerit GPS antenlerin tasarımını, üretimini ve ölçümlerini içermektedir. Yığın yapıda mikroşerit antenler kullanılarak L1 ve L2 bantlarında çalışabilen GPS anten yapıları tasarlanmıştır. Dairesel polarizasyon sağlanması için köşe kesim yöntemi kullanılmıştır. Tasarım aşamasında anten parametrelerinin, antenin giriş empedansına ve aksel orana olan etkileri adım adım incelenmiştir. İlk olarak, her bant için ayrı ayrı yayın yapabilen anten tasarımları araştırılmıştır. Sonra, üst üste yığın yapıda, tek koaksiyel besleme tekniği ile L1 ve L2 bantlarında aynı anda rezonansa olmasını sağlayan ve köşe kesim yöntemi tekniği kullanılarak her iki bandın da dairesel polarizasyona sahip olması üzerinde çalışılmıştır. Son olarak anten yapısı elektromanyetik çözümleyici yazılımı olan HFSS kullanılarak analiz edilmiştir. HFSS yazılımı kullanılarak parametrik analizler yapılmış ve anten davranışı elde edilmiştir. Analizleri yapılan bu antenler üretilerek ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları ile benzetim sonuçları karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: GPS anten, mikroşerit anten, dairesel polarizasyon, çift bant

ABSTRACT

ANALYSIS AND DESIGN OF DUAL BANT MICROSTRIP GPS ANTENNA

Mehmet KÜPELİ

**Master of Science, Department of Electrical and Electronics
Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Birsen SAKA TANATAR

December 2017, 72 pages

This thesis contains design, production and measurements of dual bant microstrip GPS antennas. GPS antenna is designed which works L1 and L2 bands by used stacked structure microstrip antennas. The dual band circular polarization is achieved by corner truncation method. During the design process, the effects of antenna parameters on the input impedance and axial ratio characteristics are investigated step by step. First, antenna designs are investigated which individually radiation for each bands. Then, in stacked structure, antenna design is studied on L1 and L2 bands resonance at the same time with coaxial feeding technique and each bands have circular polarization by corner truncation method. The desired structure is analyzed by electromagnetic solver tool HFSS. Information about the design parameters are acquired by parametric analyses on HFSS. Designed anttennas are fabricated and measured. The measurement results of the fabricated antennas and simulation results are presented and compared with simulations.

Keywords: GPS antenna, microstrip antenna, circular polarization, dual band

TEŐEKKÖR

Tez alıőmamın her aőamasında desteklerini esirgemeyen biricik eőim Saliha Kartal Kűpeli'ye, canım aileme, tez danıőmanım sayın Prof. Dr. Birsen Saka TANATAR'a ve arkadaőlarım Akın Dalkılıç, Caner Bayram, Egemen Yıldırım ve Fikret Tatar'a teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
2. MİKROŞERİT ANTENLER	5
2.1 Mikroşerit Antenlerde Besleme Teknikleri	5
2.2 Mikroşerit Antenlerde Polarizasyon Teknikleri	6
2.2 Dikdörtgen Yapıda Tek Katmanlı Mikroşerit Yama Antenler	14
2.3 Dikdörtgen Yapıda Çok Katmanlı Mikroşerit Yama Antenler	16
3. MİKROŞERİT ANTENLER VE BENZETİMLERİ.....	18
3.1 Doğrusal Polarizasyona Sahip Tek Bant Mikroşerit Anten	18
3.2 Doğrusal ve Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant Mikroşerit Anten	21
3.3 Dairesel Polarizasyona Sahip Tek Beslemeli Çift Bant Mikroşerit Anten....	24
3.4 Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant LTCC Uygulamalı Mikroşerit Anten	33
3.5 Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant PIFA Uygulamalı Mikroşerit Anten	37
3.6 Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant Rogers RO3210 Alttaşa Sahip Mikroşerit Anten	41
4. PARAMETRİK BENZETİM ANALİZLERİ.....	44
4.1 Kenar Uzunluğu Etkisi	45
4.2 Köşe Kesim Uzunlukları Etkisi	48
4.3 Besleme Noktası Etkisi.....	50
4.4 Dielektrik Alttaş Kalınlığı Değişimi Etkisi	51
5. ÜRETİLEN ANTEN SONUÇLARI.....	56
5.1 FR4 Alttaşı Kullanılarak Üretilen Anten Sonuçları	56
5.2 Rogers-3210 Alttaş Kullanılarak Üretilen Anten Sonuçları.....	62
6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ	66

7. KAYNAKÇA	69
8. EKLER	72

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 L1 ve L2 bant değişkenleri.....	18
Çizelge 3.2 L1 bant ve WLAN bant değişkenleri	22
Çizelge 3.3 L1 bant ve L2 bant değişkenleri.....	26
Çizelge 3.4 L1 bant ve L2 bant değişkenleri.....	33
Çizelge 3.5 L1 bant ve L2 bant değişkenleri.....	37
Çizelge 3.6 L1 bant ve L2 bant değişkenleri.....	41
Çizelge 4.1 L1 bant ve L2 bant değişkenleri.....	44
Çizelge 4.2 Alt yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi.....	45
Çizelge 4.3 Üst yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi.....	47
Çizelge 4.4 Alt yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi.....	48
Çizelge 4.5 Üst yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi.....	49
Çizelge 4.6 Yama anten besleme noktası lokasyonu parametrik analiz çizelgesi.....	51
Çizelge 4.7 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi parametrik analiz çizelgesi.....	52
Çizelge 4.8 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi parametrik analiz çizelgesi.....	54
Çizelge 5.1 FR4 alttaşı ile üretim anten L1 bant ve L2 bant değerleri.....	56
Çizelge 5.2 Rogers 3210 alttaş ile üretim anten L1 bant ve L2 bant değerleri	65

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Doğrusal polarizasyon.....	7
Şekil 2.2 Yatay-Düşey doğrusal polarizasyon.....	7
Şekil 2.3 Dairesel polarizasyon	8
Şekil 2.4 Eliptik polarizasyon.....	8
Şekil 2.5 Ex ve Ey bileşenleri tarafından oluşturulan elektrik alanlar ve eksenel oran.....	9
Şekil 2.6 İki farklı nokta üzerinden beslenerek oluşturulan dairesel polarizasyona sahip antenler	11
Şekil 2.7 Tek noktadan beslemeli, kesim yöntemi ile dairesel polarizasyona sahip antenler	11
Şekil 2.8 Mikroşerit temel konfigürasyonu ve yama antenin iki farklı versiyonu	12
Şekil 2.9 Tek katmanlı mikroşerit anten yapısı	15
Şekil 2.10 Çift bant çok katmanlı mikroşerit anten yapısı	17
Şekil 3.1 Tek bant, tek katman (L1 ve L2) çalışan mikroşerit anten.....	18
Şekil 3.2 L1 bant (1575 MHz) S11 grafiği.....	19
Şekil 3.3 L2 bant (1227 MHz) S11 grafiği.....	19
Şekil 3.4 Yanca (φ) ve yükseliş (θ) eksenleri gösterimi	20
Şekil 3.5 L1 bant θ vs toplam kazanç φ (0 derece iken).....	20
Şekil 3.6 L2 bant θ - toplam kazanç φ (0 derece iken).....	21
Şekil 3.7 WLAN bant ve L1 bant tasarım	22
Şekil 3.8 L1 bant ve WLAN bandı S11 grafiği	23
Şekil 3.9 L1 bant SAEDP, SOEDP kazanç karşılaştırması.....	23
Şekil 3.10 L1 bant eksenel oran grafiği.....	24
Şekil 3.11 Anten parametreleri başlangıç değerleri hesaplama programı arayüzü	25
Şekil 3.12 L2 bant ve L1 bant tasarım.....	26

Şekil 3.13 L1 bant (1.575 GHz) ve L2 bantı (1.227 GHz) S11 grafiği.....	27
Şekil 3.14 L2 bant SAEDP, SOEDP kazanç karşılaştırması.....	28
Şekil 3.15 L1 bant SAEDP, SOEDP kazanç karşılaştırması.....	28
Şekil 3.16 L1 bant anten yönlülüğü φ ve θ eksenlerinde 3 boyutlu gösterimi	29
Şekil 3.17 L2 bant anten yönlülüğü φ ve θ eksenlerinde 3 boyutlu gösterimi	29
Şekil 3.18 L2 bant eksenel oran	30
Şekil 3.19 L1 bant eksenel oran	30
Şekil 3.20 L1 bant köşe kesim uygulanmış anten J akım vektörleri	31
Şekil 3.21 L2 bant köşe kesim uygulanmış anten J akım vektörleri	31
Şekil 3.22 L1 bant köşe kesim uygulanmamış anten J akım vektörleri	32
Şekil 3.23 L2 bant köşe kesim uygulanmamış anten J akım vektörleri	32
Şekil 3.24 L1 bant geri dönüş kaybı	34
Şekil 3.25 L2 bant geri dönüş kaybı	34
Şekil 3.26 L1 bant eksenel oran	35
Şekil 3.27 L2 bant eksenel oran	35
Şekil 3.28 L1 bant sağ el dairesel polarizasyon - sol el dairesel polarizasyon.....	36
Şekil 3.29 L2 bant sağ el dairesel polarizasyon - sol el dairesel polarizasyon.....	36
Şekil 3.30 L1; L2 bant elektrik alan ve J yüzey vektörleri grafiği	38
Şekil 3.31 L1; L2 bant elektrik alan ve J yüzey vektörleri grafiği ve (PIFA) anten yapısı. 39	
Şekil 3.32 L1 bant geri dönüş kaybı	40
Şekil 3.33 L2 bant geri dönüş kaybı	40
Şekil 3.34 L1-L2 bant eksenel oran.....	41
Şekil 3.35 L1 bant geri dönüş kaybı	42
Şekil 3.36 L2 bant geri dönüş kaybı.....	42
Şekil 3.37 L1 bant eksenel oran	43
Şekil 3.38 L2 bant eksenel oran	43

Şekil 4.1 L2 bant ve L1 bant tasarımı.....	44
Şekil 4.2 Alt rezonans bandı uzunluk değişimi geri dönüş kaybı	46
Şekil 4.3 Alt rezonans bandı uzunluk değişimi eksenel oran	46
Şekil 4.4 Üst rezonans bandı uzunluk değişimi geri dönüş kaybı.....	47
Şekil 4.5 Üst rezonans bandı uzunluk değişimi eksenel oran.....	48
Şekil 4.6 Alt rezonans bandı köşe kesim uzunluk değişimi eksenel oran	49
Şekil 4.7 Üst rezonans bandı köşe kesim uzunluk değişimi eksenel oran.....	50
Şekil 4.8 Alt ve üst rezonans bandı uzunluk değişimi geri dönüş kaybı.....	51
Şekil 4.9 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi geri dönüş kaybı.....	52
Şekil 4.10 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi L1 bandı eksenel oran	53
Şekil 4.11 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi L2 bandı eksenel oran	53
Şekil 4.12 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi geri dönüş kaybı	54
Şekil 4.13 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi L1 bandı eksenel oran.....	55
Şekil 4.14 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi L2 bandı eksenel oran.....	55
Şekil 5.1 LPKF protomat H100PCB	56
Şekil 5.2 SATIMO yakın alan test düzeneği	57
Şekil 5.3 SATIMO anten yerleşimi	57
Şekil 5.4 Üretilen antenin alt rezonans bandı ölçülen eksenel oranı	58
Şekil 5.5 Üretilen antenin alt rezonans bandı dairesel polarizasyon karşılaştırması (SAEDP-SOEDP)	58
Şekil 5.6 Üretilen antenin üst rezonans bandı eksenel oran	59
Şekil 5.7 Üretilen antenin üst rezonans bandı dairesel polarizasyon karşılaştırması	59
Şekil 5.8 Alt bant benzetim-üretim eksenel oran karşılaştırması	60
Şekil 5.9 Üst bant benzetim-üretim eksenel oran karşılaştırması.....	61
Şekil 5.10 Alt bant benzetim ve üretim ölçüm SAEDP ve SOEDP karşılaştırması.....	61
Şekil 5.11 Üst bant benzetim ve üretim ölçüm SAEDP ve SOEDP karşılaştırması	62

Şekil 5.12 Alt bant benzetim ve üretim ölçüm geri dönüş kaybı karşılaştırması	62
Şekil 5.13 Üst bant benzetim ve üretim ölçüm geri dönüş kaybı karşılaştırması.....	63
Şekil 5.14 Alt bant benzetim ve üretim ölçüm aksenal oran karşılaştırması.....	64
Şekil 5.15 Üst bant benzetim ve üretim ölçüm aksenal oran karşılaştırması	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E_x	Elektrik alan vektörü yatay bileşeni
E_y	Elektrik alan vektörü dikey bileşeni
ΔS	Köşe kesim alanı
Q_0	Toplam kalite faktörü
c	Işık hızı
f_r	Rezonans frekansı
G_{rad}	Anten kazancı
Z_r	Antenin giriş empedansı
h	Alttaş kalınlığı
ϵ_r	Dielektrik sabiti
$\epsilon_{r,e}$	Etkin dielektrik sabiti
Q_{dlc}	Dielektrik kalite faktörü
Q_{rad}	Yayılm kalite faktörü
$\tan\delta$	Alttaş kayıp tanjantı
E_z	Düzleme dik elektrik alan vektörü
J_z	Düzleme dik akım vektörü
L	Mikroşerit antenin iletken uzunluğu
W	Mikroşerit antenin iletken genişliği
v	Dalganın dielektrik ortam içindeki hızı
E	Elektrik alan vektörü
H	Manyetik alan vektörü
ϵ'	Gerçek geçirgenlik sabiti
ϵ''	Sanal geçirgenlik sabiti
ϵ_0	Boşluk elektrik geçirgenlik sabiti
μ_0	Boşluk manyetik geçirgenlik sabiti
μ_r	Dielektrik manyetik geçirgenlik sabiti
T	Dielektrik toprak uzunluğu

θ Yükseliş açısı

φ Yanca açısı

Kısaltmalar

GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
SAEDP	Sağ El Dairesel Polarizasyon
SOEDP	Sol El Dairesel Polarizasyon
DP	Dairesel Polarizasyon
AR	Axial Ratio-Eksenel Oran
WLAN	Wireless Local Area Network
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
PIFA	Planar Inverted-F Antenna
LTCC	Low Temperature CoFired Ceramic
HFSS	High Frequency Structural Simulator
MATLAB	Matrix Laboratory

1. GİRİŞ

Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System (GPS)) ve Mobil İletişim için Küresel Sistemlerinde (Global System for Mobile Communications (GSM)) olduğu gibi çoğu modern haberleşme protokollerinde çift ya da çoklu frekans operasyonlarına ihtiyaç duyulur. Literatür incelemesi yapıldığında GPS sistemlerinde kullanılan antenlerin farklı yapılarda tasarımlarının yapıldığı görülmüştür. Besleme tipleri, dairesel polarizasyon gerekliliği, çalışılacak frekans bant sayısı, ürün maliyeti gibi etkenler bu farklılıkların oluşmasındaki başlıca etkenlerdir.

Literatürde küresel konumlama sistemlerinde kullanılan başlıca üç yapıda anten vardır; Sarmal, dipol, mikroşerit antenler. Sarmal yapıdaki antenler diğer yapıdaki antenlere göre daha iyi bir kazanç, yalıtım sağlamaktadır ve üretim maliyetleri düşüktür [1]. Literatürde bu anten yapılarının dışında mikroşerit ya da dipol yapılarda GPS sistemlerinde kullanılması için tasarlanmış antenler de mevcuttur [2] [3].

GPS sistemleri için üretilen mikroşerit yama anten tasarımlarında antenin besleme tekniği antenin fiziksel yapısının nasıl olacağını belirleyen en önemli parametredir. Koaksiyel besleme tekniği ile gerçekleştirilen mikroşerit yama anten yapısındaki GPS anten tasarımları bulunduğu gibi [4], mikroşerit hat besleme tekniği ile gerçekleştirilen GPS anten tasarımları da mevcuttur [5].

Mikroşerit antenlerdeki çoklu frekans yapılarında başlıca iki yöntem mevcuttur. Bunlardan ilki, tek yama anten tasarımıdır. Tek yama anten tasarımı farklı çalışma frekansları arasındaki oranın 1.5 ve üzerinde olduğu yapılarda daha sıklıkla kullanılmaktadır [6]. İkinci yöntem olan yığın yama antenlerde ise çalışma frekanslarının birbirine daha yakın olması sağlanabilir [7]. Özellikle sistemlerin farklı çalışma frekansları arasındaki oran 1.5 ve altında ise bu yapılarda tasarımlar tercih edilmektedir. Bu yöntem uygulanırken antenlerin yan yana durması da sağlanabilir fakat bu şekilde bir yapı istenmeyen ışımalara neden olabileceği ve fazla alan kaplayacağı için üst üste yığın şeklinde antenlerin yerleşimi sağlanarak uygulanmaktadır. Bu şekilde istenmeyen ışımaların daha düşük seviyede kalabilmesi de sağlanabilmektedir [8].

GPS sinyalleri sağ el dairesel polarizasyonludur (SAEDP). Dairesel polarizasyonun (DP) doğrusal polarizasyona göre avantajları, mikrodalga radar, takip ve haberleşme teknolojilerinde görülebilmektedir. Dairesel polarizasyon çok yönlü girişimleri, yansımaları

soğurmaları ve diğer hava koşullarından kaynaklı olumsuzlukları eler. GPS dairesel polarizasyonu sayesinde kanal kapasitesini de arttırır. Bu gerekten dolayı istenen anten yapısı dairesel polarize olmuş ışıma örüntüsüne sahip olmalıdır. Bu örüntüye sahip anten yapısını tek ve çift besleme kullanarak elde etmenin literatürde çeşitli yöntemleri mevcuttur. Çift-besleme yönteminde aynı genlikte fakat aralarında 90° faz farkı bulunan iki besleme yardımı ile birbirine dik iki mod üretilir. Bu beslemeyi sağlayabilmek için harici güç bölücüler kullanılabilir. Wilkonson güç bölücü, çeyrek dalga hibrit, halka hibrit bunlara örnektir [17]. Tek besleme yöntemi genellikle harici güç bölücü kullanmanın zor olduğu tasarımlarda kullanılır. Bu yöntemle beslenen antenler genellikle doğrusal polarizasyonda ışıma yaparlar. Dairesel polarizasyon sağlamak için belirli simetrilere uyarak yama üzerinde ufak değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu değişiklikleri sağlamak için genellikle kareye yakın yama yöntemi ya da köşe kesim yöntemi kullanılmaktadır [9]. Dairesel polarizasyon sağlamak için ayrıca kare yamaya kısa devre pini veya direnç de eklenebilir [20]. Bu özelliklerin hepsinin tek bir yapıda gerçekleştirilebilmesi ise genelde istenen durumdur. Bu yüzden bu yöntemler arasında çok katmanlı antenlerde literatürde sıklıkla tek besleme yöntemi kullanılmaktadır [9].

Mikroşerit antenler ile alakalı literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur ve bunlardan tez çalışması ilgili olanlarına aşağıda değinilmiştir.

M.N. Srfi, M.Meloui ve Mohamed Essaaidi tarafından 5-6 GHz bandında Wireless Local Area Network (WLAN) uygulamalarında da kullanılabilecek bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlanmıştır. Mikroşerit hat besleme tekniği kullanılan bu çalışma kapsamında yama üzerinde boşluklar ve basamaklar oluşturulmuş, bu değişikliklerin anten parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda antenin çalışma frekansında boşluk ve basamakların antenin çalışma frekansını arttırdığını, bu sayede daha küçük boyutlarda anten tasarlanabileceği benzetim sonuçları ile gösterilmiştir [22].

P. A. Ambreshi, P. M. Hadalgi and P. V. Hunagund tarafından 3.3-3.5 GHz bandında Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) uygulamalarında kullanılabilecek bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlanmıştır. Koaksiyel besleme tekniği kullanılan bu çalışmada yama ile toprak hattı arası plastik aralayıcılılar yardımı ile hava boşluğu oluşturulmuş, yama üzerinde de FR4 alttaş malzemesi kullanılmıştır. Anten kenarları üzerinde biçim değişiklikleri yapılmış ve benzetimler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda %15 bant genişliğine ulaşılmıştır [23].

David M. Pozar ve Sean M. Duffy tarafından L1 ve L2 bantlarında, GPS uygulamalarında kullanılabilir çok katmanlı yapıda bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlanmıştır. Açıklık bağımlı besleme tekniği kullanılan bu çalışmada 0.635 cm kalınlığında iki katman Duroid 5870 alttaşı kullanılmıştır. Bant genişliğini arttırmak, materyal maliyetini düşürmek ve ürün ağırlığını azaltmak amacıyla Duroid 5870 alttaşları altına Rohacell köpük malzemesi de eklenmiştir. Mikroşerit besleme için en alt tabakada besleme hattının üzerinde bulunduğu bir katman daha mevcuttur. Bu beş katmanlı yapıda dairesel polarizasyon gerekliliğini de sağlamak amacı ile Wilkonson güç bölücüleri tasarıma dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda üretilen antene ait aksel oran, ışınma örüntüsü ve grup gecikmesi grafikleri verilmiştir [24].

Bing Bai, Jungang Miao ve Fengqin Lee tarafından L1 ve L2 bantlarında, GPS uygulamalarında kullanılabilir çok katmanlı yapıda bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlanmıştır. Çift koaksiyel besleme tekniği kullanılan bu çalışmada dairesel polarizasyon, güç bölücüleri kullanılarak sağlanmıştır. Çift besleme kullanarak maliyeti arttırılmasına rağmen üretimden kaynaklanabilecek hatalar en aza indirilmiş ve L1 (1575.42 MHz) ve L2 (1227.60 Mhz) bantlarında yüksek bant genişlikleri sağlanmıştır. L1 ve L2 bantlarında sırasıyla 250 MHz ve 100 MHz bant genişlikleri sağlanmıştır [25].

Günümüzde yaşanan hızlı teknolojik gelişmeler neticesinde tasarlanan antenlerin fiziksel boyutlarının küçültülmesi de gerekmektedir. Bu doğrultuda literatürde anten boyutlarını küçültecek çeşitli çalışmalar mevcuttur, bunların bazılarını aşağıda değinilmiştir.

Dong-Uk Sim ve Jae-Ick Choi tarafından yapılan çalışmada 2.4 GHz ve 5 GHz bantlarında, WLAN uygulamalarında kullanılabilir PIFA yapısında bir mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Koaksiyel besleme tekniği kullanılan bu çalışmada dairesel polarizasyon gerekliliği yoktur. Kısa devre pinler kullanılarak anten boyutları küçültülmüştür. Kısa devre pinli ve kısa devre pinsiz tasarımların geri dönüş kayıp grafikleri karşılaştırılmıştır [26].

Galih Fajar Kurnia, Bambang Setia Nugroho ve Agus D. Prasetyo tarafından yapılan çalışmada 2.2–2.5 GHz bandında uydu uygulamasında kullanılabilir Planar Inverted-F Antenna (PIFA) yapıda bir mikroşerit anten tasarlanmıştır. Dairesel polarizasyon, dört PIFA antenin bir çember oluşturacak şekilde ve aralarında 90 derece faz farkı olacak şekilde yerleştirilmesiyle sağlanmıştır. Aynı zamanda aksel oran değeri iyileştirmesi için köşe kesim yöntemi de kullanılmıştır [27].

ShiChai Chen, GuangCong Liu, XiangYu Chen, TingFen Lin, XiangGuo Liu ve ZhiQi Duan tarafından yapılan çalışmada L1 ve L2 bantlarında, GPS uygulamalarında kullanılabilir

bir mikroşerit anten tasarlanmıştır. Dairesel polarizasyon gerekliliği her iki bant için de köşer kesim yöntemi kullanılarak sağlanmıştır. Bu çalışmada anten boyutlarını küçültebilmek adına dielektrik sabiti 14 olan Ferro ULF140 alttaş ile birlikte Low Temperature CoFired Ceramic (LTCC) teknolojisi kullanılmıştır [9].

Bu tezin amacı ise koaksiyel-açıklıklı bir yama anten tasarımını tek besleme, çift katmanlı dairese polarizasyona sahip çift bantta çalışabilecek bir yapıda oluşturabilmek ve parametrik analizlerini yapmaktır. Özellikle bu anten GPS sistemlerinde ihtiyaç duyulan L1 ve L2 bantlarında sırasıyla 1575.42 MHz ve 1227.60 MHz'de yayın alınabilmesini sağlayacaktır.

Başlangıçta tek bant çalışan, dairese polarizasyona sahip olmayan 1575.42 MHz çalışma frekansında bir yama anten tasarımı yapılmış ve parametrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında çift bant anten modellemesi yapılmış ve parametrik analizleri yapılmıştır [10]. Bu antende dairese polarizasyon gerekliliklerini yerine getirmesi için bir çalışma yapılmamıştır. Sonrasında yapılan anten tasarımlarında ise köşer kesim yöntemi kullanılarak dairese polarizasyon gerekliliği sağlanmaya çalışılmıştır. Bu kesimler yapıldıktan sonra dairese polarizasyon gereklilikleri yerine getirilmiş, anten örüntülerinde ve çalışma frekanslarında ise değişiklik olmadığı görülmüştür.

Bir sonraki ve son aşamada GPS bantlarında çalışabilecek çift katmanlı, tek beslemeli ve her iki bantta da dairese polarizasyona sahip antenlerin tasarımı yapılmıştır. Sonuçlar 1.2-1.6 GHz bandında incelenmiştir. GPS sistemlerinde kullanılan iki bantta sırasıyla L1; 1.227 GHz ve L2 1.575 GHz yayın alabilecek antenler tasarlanmıştır. Bu antenler tasarlanırken bütün modellemeler ve parametrik analizler HFSS üzerinde yapılmıştır.

Bu tezin, ikinci ve üçüncü bölümünde literatürdeki mevcut çok frekansta çalışan anten yapılarının incelemeleri ve mikroşerit anten yapılarında dairese polarizasyon performanslarının nasıl geliştirilebileceği anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde antenin parametrik incelenmesi yapılmıştır.

Beşinci bölümde tasarlanan antenlerin üretimi anlatılmış, üretilen antenin sonuçları ile benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde ise tezde yapılan çalışmalar irdelenerek, gelecekte yapılabilecek geliştirmeler hakkında önerilerde bulunulmuştur.

2. MİKROŞERİT ANTENLER

Mikroşerit antenler, dielektrik bir alttaş ve bu alttaşın her iki yüzeyinde bulunan iletkenlerden oluşmaktadır. Mikroşerit antenlerin en bilinen özellikleri küçük yapıda olmaları, hafif olmaları, uyumlulukları ve kolay üretilebilmeleridir. Dezavantajları ise diğer anten yapılarına göre nispeten daha düşük bant genişlikleridir. Bu dezavantajlarına rağmen mikroşerit yama antenlerin haberleşme sistemleri, uydu, kablosuz yerel ağ uygulamalarında kullanılmaları kaçınılmazdır. Aslında dar bant genişliği çoklu frekans yama antenlerde filtre görevi de gördüğü için tercih edilen de bir durumdur. Mikroşerit antenleri doğrusal polarizasyonda ya da dairesel polarizasyonda, çift ya da üçlü bant uygulamalarında tasarlamak mümkündür.

2.1 Mikroşerit Antenlerde Besleme Teknikleri

Mikroşerit antenlerin üretimlerinin kolay olması, mikroşerit antenlerin çok çeşitli olmasına imkan sağlamaktadır. Bu çeşitlilikten dolayı mikroşerit antenler belirli ortak özelliklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Mikroşerit antenler geometrilerine göre sınıflandırılacağı gibi besleme çeşitlerine göre de sınıflandırılabilirler.

Mikroşerit antenleri beslemek için birçok farklı yöntem vardır ve birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bu yöntemler aşağıdaki başlıklarda toplanabilir:

- Koaksiyel Besleme
- Mikroşerit Besleme
- Yakınlık (Elektromanyetik) Bağlısımlı Mikroşerit Besleme
- Açıklık Bağlısımlı Mikroşerit Besleme

Mikroşerit antenlerin beslemesinde temas sağlanarak kullanılan en yaygın yöntem koaksiyel besleme metodudur. Koaksiyel konnektör baskı devre kartının arka tarafına sabitlenir ve besleme noktası pozisyonunda açılan delikten geçirilen koaksiyel kablonun merkez iletkeni, yama yüzeyine lehimlenir. Besleme noktasının pozisyonu, verilen modda en iyi empedans uyumunun sağlandığı pozisyon olarak tespit edilir. Bu koaksiyel beslemenin en önemli avantajlarından biridir. Bu sayede giriş empedans uyumlandırması kolay bir şekilde yapılabilir. Dar bir bant genişliğinin olması ise bu yöntemin dezavantajıdır. Dar bant genişliğinin nedeni koaksiyel besleme tekniğinde ince alttaş malzemelerin kullanılmasıdır. Çünkü kalın dielektrik alttaş kullanılan tasarımlarda sonda uzunluğu artacaktır [1]. Bu

durum sondadan dolayı oluşacak istenmeyen ışımda ve besleme endüktasında artmaya neden olur. Besleme endüktansı artması sorunu seri bağlanacak kapasitörler ile ya da koaksiyel kablunun canlı ucunun yamaya lehimlendiği nokta çevresinde bir halka slot açılarak düzeltilebilir [17].

Diğer bir besleme yöntemi ise mikroşerit hat ile yapılan beslemedir. Mikroşerit hat besleme yönteminde besleme hattı ile yama anten aynı alttaştan üretilir. Bu sebeple üretim zorluğu açısından besleme yöntemleri arasında en kolay olanı mikroşerit hat besleme yöntemidir. Mikroşerit hat, iletken ile aynı kalınlıkta fakat daha küçük bir genişliğe sahiptir. Mikroşerit hat besleme tekniği yama antenin daha geniş olmasına neden olabilir. Bu durum mikroşerit hat besleme tekniğinin dezavantajlarından biri olarak kabul edilebilir. Aynı zamanda bu anten ışımaya ötürüsünde istenmeyen yayınlar oluşturur. Dar bant genişliği de mikroşerit hat besleme tekniğinin bir diğer dezavantajlarından biridir [4].

Yakınlık bağlaşımlı besleme iki alttaşa ihtiyaç duyar. Yama üst alttaş üstünde uzanır. Besleme hattı iki alttaş arasında kalır ve en alt yüzeyde ise toprak hattı bulunur. Besleme hattı açık devre ile sonlandırıldığında güç üst alttaşa iletilir. Bu besleme yönteminin diğer yöntemlere göre avantajı daha geniş bant genişliği sağlamasıdır [11].

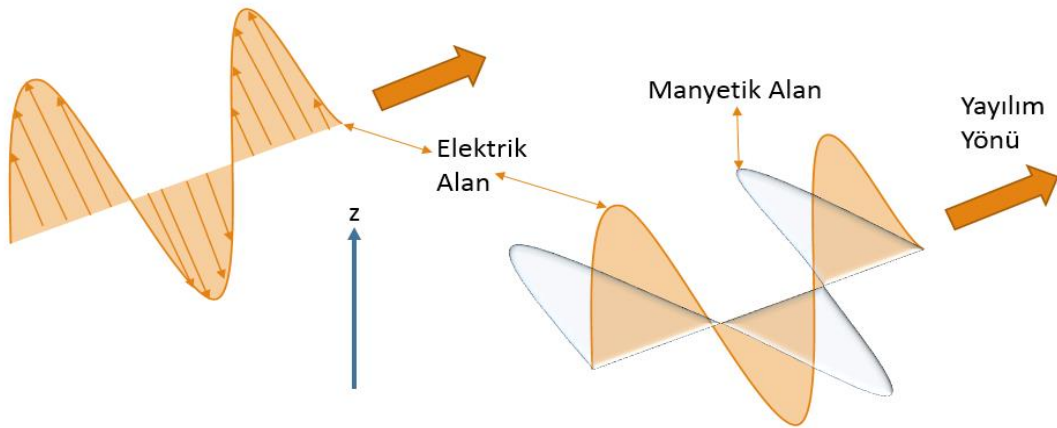
Açıklık bağlaşımlı mikroşerit besleme, iki alttaş katmandan oluşur. Alttaş katmanları toprak düzlemi ile ikiye ayrılır. Mikroşerit hat ise alt materyalin hemen altında uzanır. Enerji mikroşerit hattın toprak hattına arada bulunan yarıktan iletilir. Geniş bant genişliği isteyen uygulamalarda bu besleme tekniği kullanılabilir. Bant genişliği yarık uzunluğu ya da alttaş özellikleri ile artırılabilir. Besleme hattı ile anteni uyumlandırmak için alttaş kalınlığı, genişliği, uzunluğu ya da yarık yerleşimi parametreleri kullanılabilir. Bu parametreler optimize edilerek diğer besleme teknikleri ile sağlanan bant genişliğinden daha geniş bant genişliklerine ulaşılabilir. Bu besleme yönteminin dezavantajı ise üretilmesinin zor olmasıdır [12].

2.2 Mikroşerit Antenlerde Polarizasyon Teknikleri

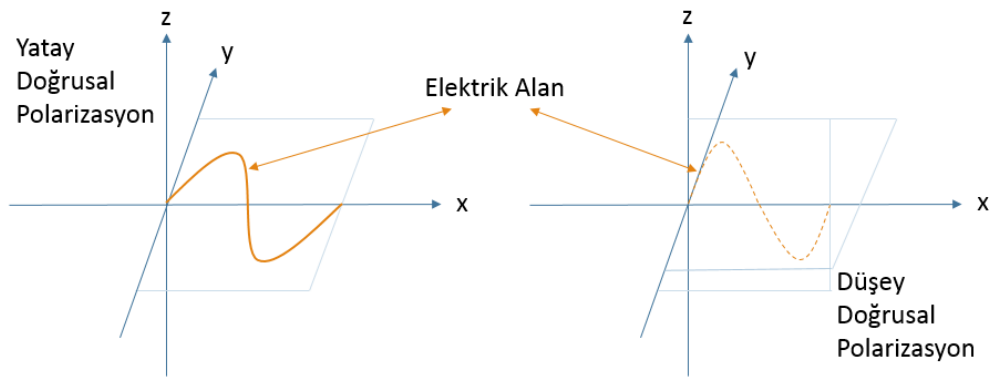
Bir elektromanyetik alanın bileşenlerinin yönü ve antenin yerleşim biçimi yayılımın polarizasyonunu belirler. Doğrusal, dairesel ve eliptik olarak üç tür polarizasyon mevcuttur. Şekil 2.1’de gösterilen doğrusal polarizasyon, düşey ve yatay olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi düşey polarizasyonda elektrik alanı yer yüzeyine dik, yatay polarizasyonda ise yer yüzeyine paraleldir. Eğer yayın yapan antenin elektrik ve manyetik alan vektörleri birbirine dik, aynı büyüklükte ve aralarında 90° nin tek katlarında

faz farkı varsa bu anten dairesel polarizasyona sahiptir. Eğer elektrik alan dönüşü saat yönünde ise sağ-el dairesel polarizasyon (SAEDP) alan dönüşü saat yönünün tersi ise sol-el dairesel polarizasyon (SOEDP) olarak adlandırılır. Şekil 2.3’de dairesel polarizasyona sahip alan yayılımı gösterilmiştir.

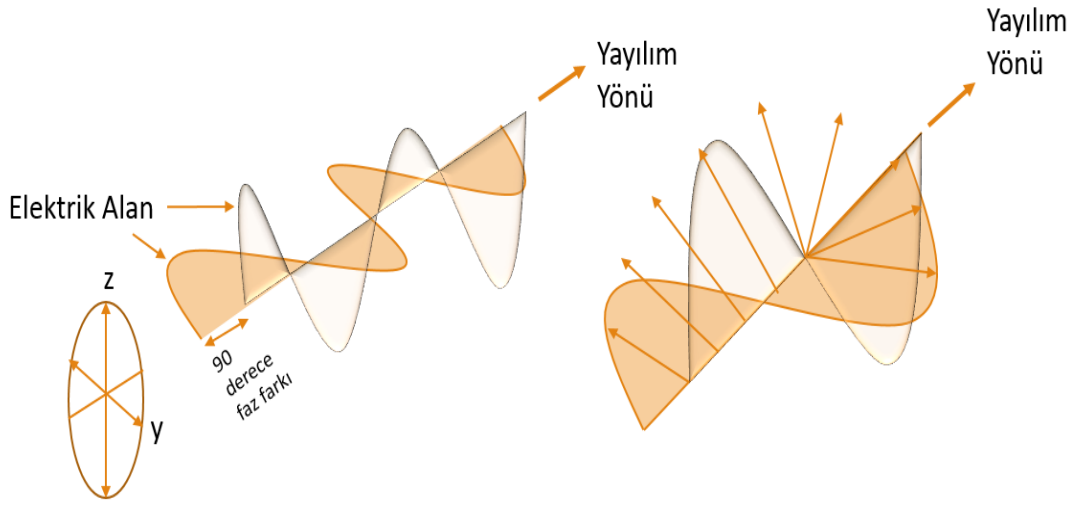
Diğer polarizasyon çeşidi ise eliptik polarizasyondur. Eliptik polarizasyon gösterimi Şekil 2.4’de verilmiştir. Eğer, antenin elektrik ve manyetik alan vektörleri farklı büyüklükte ise anten eliptik polarizasyona sahiptir.



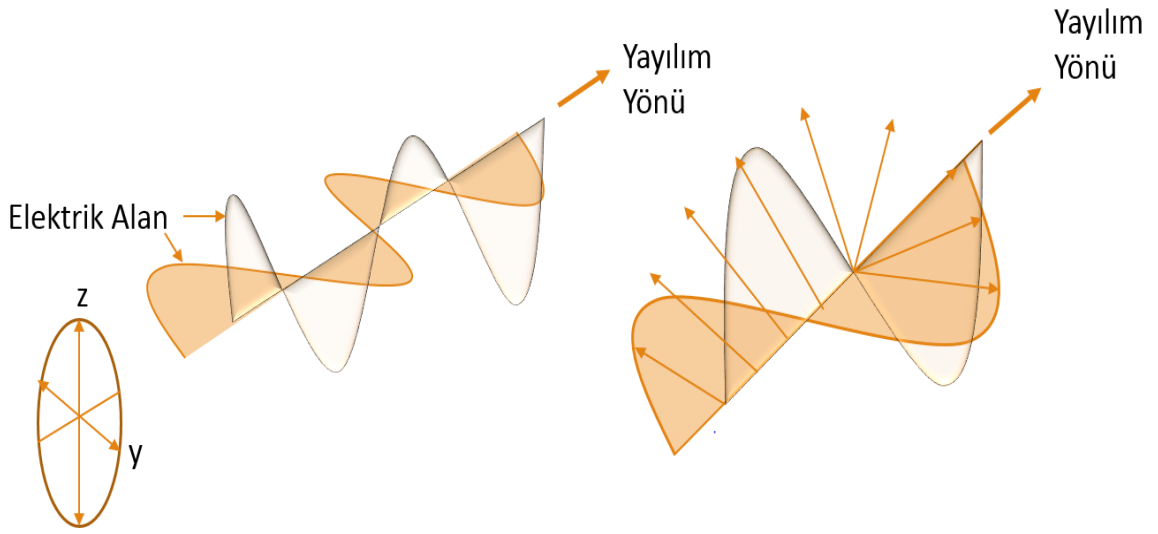
Şekil 2.1 Doğrusal polarizasyon



Şekil 2.2 Yatay-Düşey doğrusal polarizasyon

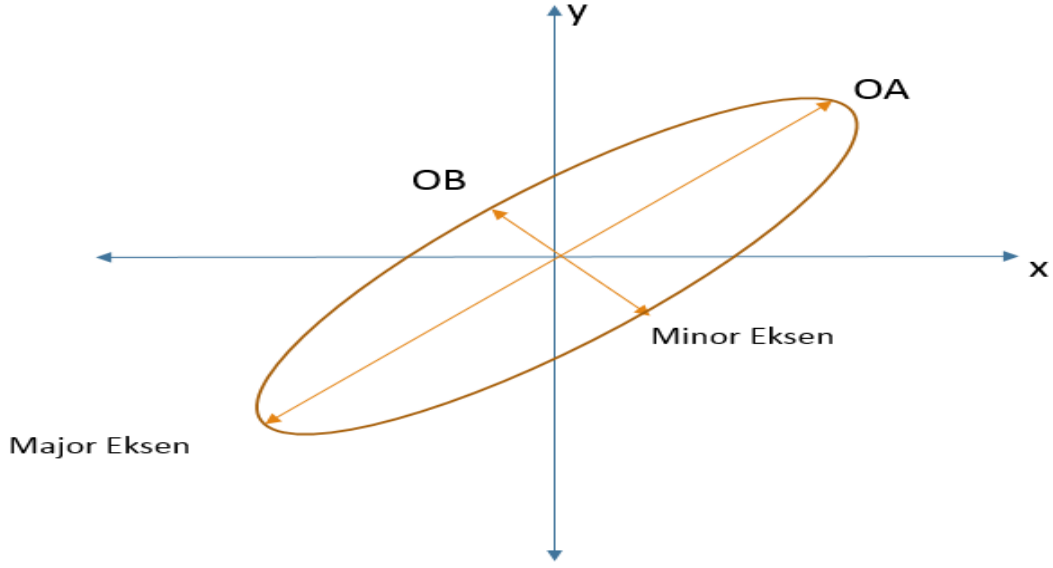


Şekil 2.3 Dairesel polarizasyon



Şekil 2.4 Eliptik polarizasyon

Dalgaların polarizasyonu dalganın aksenal oranı ile de tanımlanabilir.



Şekil 2.5 E_x ve E_y bileşenleri tarafından oluşturulan elektrik alanlar ve aksnel oran

Eliptik polarizasyonlu bir antenin yayınladığı elektrik alanın oluşturduğu elipsin, major ve minör çapları sırasıyla Şekil 2.5’de verildiği gibi OA ve OB olur ve bu iki eksen arasındaki oran, aksnel oran (axial ratio-AR) olarak tanımlanır. Eşitlik olarak da;

$$AR = \frac{\text{Major Eksen}}{\text{Minor Eksen}} = \frac{OA}{OB} \quad [\text{Birimsiz}] \quad (1.1)$$

şeklinde tanımlanır. Aynı zamanda bu tanım

$$AR = \frac{\max(E_x, E_y)}{\min(E_x, E_y)} \quad [\text{Birimsiz}] \quad (1.2)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Bu değer logaritmik ölçekte

$$AR [dB] = 20 \log \left(\frac{\max(E_x, E_y)}{\min(E_x, E_y)} \right) \quad \text{dB} \quad (1.3)$$

olarak da gösterilebilir. Doğrusal polarizasyonlu dalganın aksnel oranı elektrik alanın sadece bir bileşeni olduğundan dolayı sonsuzdur. $AR = \infty$ ($\text{dB} \gg 0$) ; $(OA = OB)$ $AR = 1$ (0dB). Dairesel polarizasyona sahip dalganın major ve minor eksenleri birbirine eşittir. $(OA = OB)$ Bu durumdan dolayı aksnel oran da $AR = 1$ (0dB) olur. Fakat pratikte gerçekleşmesi zordur. Bu yüzden bir miktar eliptik yayılım olması beklenir. Eliptik polarizasyonlu olan dalganın major ve minor eksenleri birbirinden farklı uzunluklara sahiptir ve aksnel oran şu aralıkta olur; $1 < AR < \infty$.

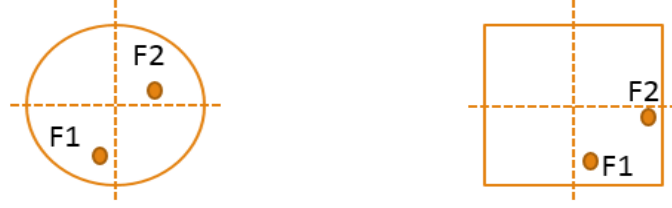
Eksenel oran anten tasarımında çok önemli bir kontrol parametresidir. Tasarımı yapılan antenin eksenel bileşenlerin genlikleri oranının $\sqrt{2}$ nin altında olduğu durum ya da logaritmik birim ile antenin eksenel oran değerinin ilgili frekanslarda 3 dB'nin altında olması beklenir. Bölüm 3'de de ayrıntılı inceleneceği gibi dairesel polarizasyona sahip yama anten tasarlamak için birçok farklı yöntem mevcuttur [14][15].

Genelde antenler eliptik polarizasyonda yayın yaparlar. Eliptik polarizasyon ise üç ana parametreye bağlıdır. Bu parametreler sırası ile eksenel oran, anten eğim açısı ve dönme yönüdür. Eğer eksenel oran sıfır ya da sonsuz bir değer alırsa anten doğrusal polarizasyonuna sahip olur. Eğer eksenel oran değeri bire eşit olursa tam anlamı ile antenin dairesel polarizasyona sahip olduğu söylenebilir [16].

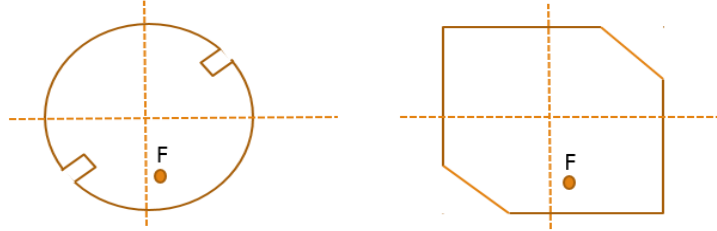
Bir mikroşerit anten genellikle doğrusal polarizasyonda tek modda yayın yapar. Dairesel polarizasyonda yayın yapabilmesi için ise yama antenin eş genlikte fakat aralarında 90 derece faz farkına sahip biçimde beslenmesi gerekir. Yama anten üzerinde bu gerekliliği sağlayabilmek için düzgün uyarımlar ya da yine yama antenlerden oluşan ve aralarında belirli bir faz farkı bulunan bir dizi kullanılabilir.

Literatürde mikroşerit yama antenlerin dairesel polarizasyona sahip olabilmesi çok farklı şekillerde sağlanmıştır. Literatürde en çok tercih edilen kare ve dairesel yama anten yapılarıdır.

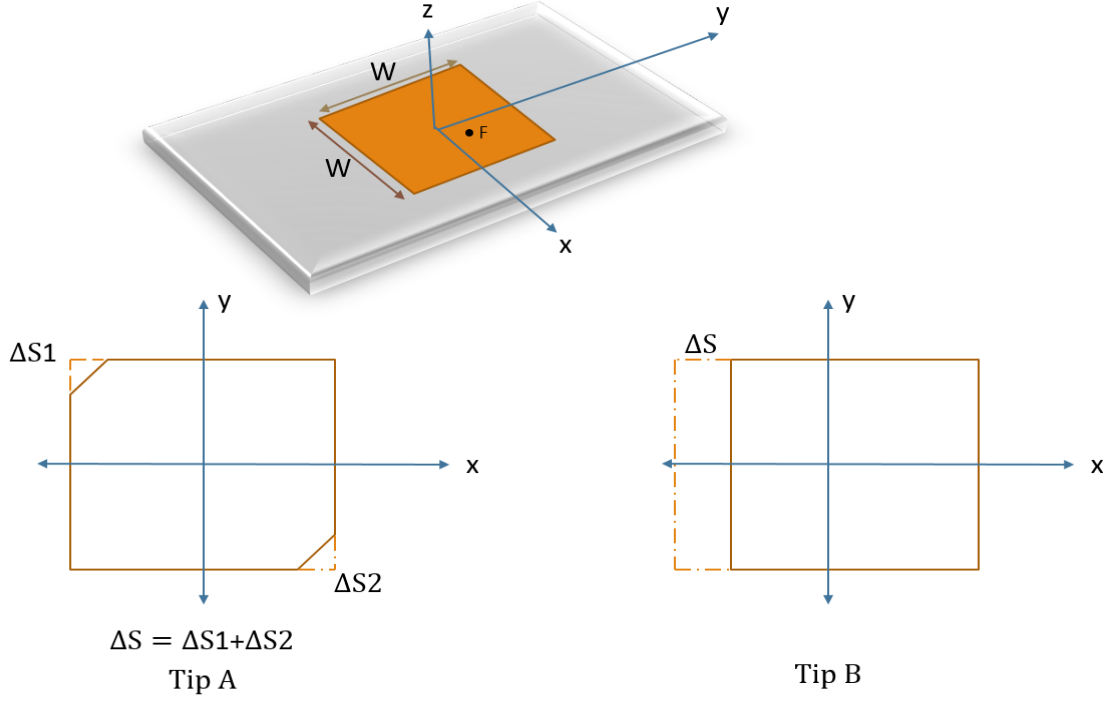
Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de bu çalışmada özellikle incelediğimiz daire ve kare şekillerinde dairesel polarizasyona sahip iki yama anten görülmektedir. Şekil 2.6'da bir güç bölücü yardımı ile çift besleme tekniği kullanılarak dairesel polarizasyona sahip yama anten oluşturulurken Şekil 2.7'de ise tek besleme tekniği kullanılmış ve köşe kesim yöntemi kullanıldığı için güç bölücü kullanmaya gerek kalmamıştır [17].



Şekil 2.6 İki farklı nokta üzerinden beslenerek oluşturulan dairesel polarizasyona sahip antenler



Şekil 2.7 Tek noktadan beslemeli, kesim yöntemi ile dairesel polarizasyona sahip antenler
Bir yama antenin temel yapısı Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8 Mikroşerit temel konfigürasyonu ve yama antenin iki farklı versiyonu

Tip A kare yama anteni için kesim yapılan kısmın alanın ve toplam alan oranı ile kalite faktörü arasında (Q_0) aşağıdaki eşitlik elde edilir [17]. Bu eşitlikte ΔS kesim yapılan toplam alanı; S ise yama antenin kesim yapılmadan önceki toplam alanıdır.

$$\left| \frac{\Delta S}{S} \right| = \frac{1}{2Q_0} \quad (2.1)$$

Tip B kare yama anteni için ise aşağıdaki nihai formül elde edilir [17].

$$\left| \frac{\Delta S}{S} \right| = \frac{1}{Q_0} \quad (2.2)$$

Tip B anteni için F besleme noktasının hangi köşegen ekseninde olduğu önemli değildir. İki seçenek için de dairesel polarizasyon sağlanır. Yalnızca besleme noktasının hangi ekseninde olduğuna göre dairesel polarizasyonun dönme yönü değişir.

Tek beslemeli bir antenin dairesel polarizasyona sahip olabilmesi için uygulanacak tasarım sürecini aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz [17].

1. Dalga boyu uzunluğu (c/f) ile yama antenin kenar uzunluğu (W) arasındaki bağıntılara göre anten kazancı G_{rad} ve anten giriş empedansı Z_r aşağıda verilmiştir [18].

$$G_{rad} = \begin{cases} \frac{W^2 f^2}{90c^2}, & W \leq 0.35 c/f \\ \frac{Wf}{120c} - \frac{1}{60\pi^2}, & 0.35 c/f \leq W \leq 2 c/f \\ \frac{Wf}{120c}, & 2 c/f \leq W \end{cases} \quad (2.3)$$

$$Z_r = \frac{120\pi\left(\frac{W}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W}{h} + 1.444\right)\right)^{-1}}{\sqrt{\varepsilon_{r,e}}} \quad (2.4)$$

Bu eşitliklerde G_{rad} anten kazancı, W kare yama antenin bir kenar uzunluğu, f çalışma frekansı, c ışık hızı, h alttaş kalınlığı, ε_r dielektrik sabiti, 2.11 denklemi yardımı ile bulunan $\varepsilon_{r,e}$ etkin dielektrik sabiti, Z_r de antenin giriş empedansıdır.

Bu değerler (2.5) denkleminde yerine konular ve Q_{rad} değeri bulunur. 2.15 denklemi yardımı ile $\tan\delta$ değeri ve ilgili etkin dielektrik sabiti $\varepsilon_{r,e}$ yerine koyularak dielektrik kalite faktörü Q_{dlc} elde edilir. 2.7 denklemi ile Q_0 toplam kalite faktörü bulunur.

$$Q_{rad} = \frac{\pi}{4G_{rad}Z_r} \quad (2.5)$$

$$Q_{dlc} = \frac{\pi(\varepsilon_r - 1)\sqrt{\varepsilon_{r,e}}}{27.3(\varepsilon_{r,e} - 1)2\sqrt{2\varepsilon_{r,e} - 1} \tan\delta} \frac{1}{\tan\delta} \quad (2.6)$$

$$\frac{1}{Q_0} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_{dlc}} \quad (2.7)$$

Bu eşitliklerde Q_{rad} , Q_{dlc} sırasıyla yayılımdan ve dielektrikten dolayı yaşanan kayıplar ile ilişkili olan kalite faktörleridir. Q_0 ise toplam kalite faktörü, $\tan\delta$ ise dielektrik kayıp tanjant değeridir.

2. Hesaplanan kalite faktörü Q_0 kullanılarak ne kadar kesim yapılacağı (2.1) ve (2.2) eşitlikleri ile belirlenir.

3. Empedans uyumlandırmasının iyi olması için besleme noktasının yeri önemlidir. Besleme noktasının yeri en iyi empedans uyumunu gerçekleştirecek şekilde belirlenir.

Yama antenin uyarılması besleme akımı J_z 'nin elektrik alanı E_z ' yi uyarmasıyla meydana gelir. Bağlaşım (kuplaj) sabiti aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\text{Bağlaşım} = \iiint_V E_z J_z dv = \cos\left(\frac{\pi x_0}{L}\right) \quad (2.8)$$

Eşitlikteki L yama genişliği, x_0 besleme noktasından yama kenarına olan uzaklıktır [21].

4. Tip A veya Tip B anteni olma durumuna ve besleme noktasının hangi eksen üzerinde konumlandırıldığından antenin dairesel polarizasyonunun yönü değişir.

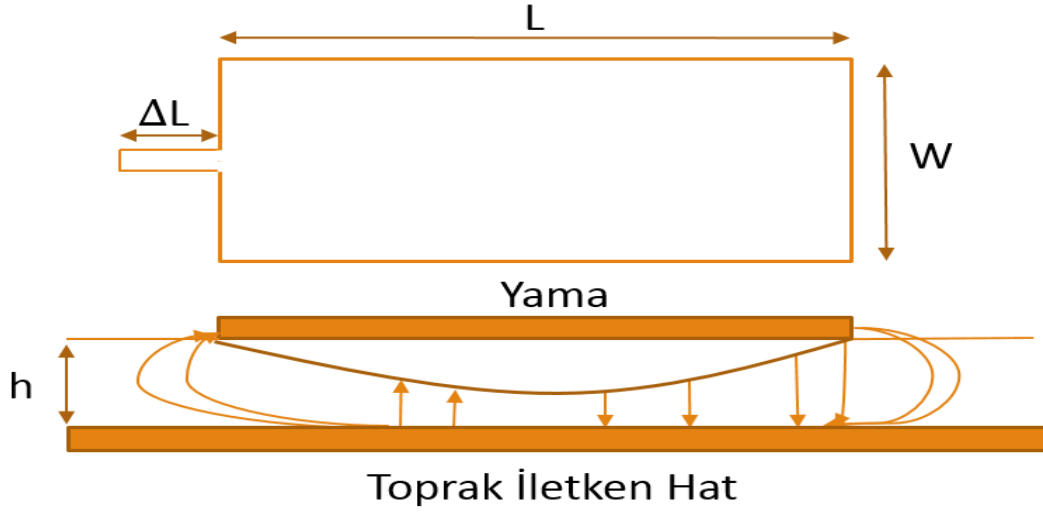
Anlatılan yöntemin anten tasarımına uygulanması bir alt bölümde anlatılmıştır.

2.2 Dikdörtgen Yapıda Tek Katmanlı Mikroşerit Yama Antenler

Genel olarak bir mikroşerit anten, yayın yapan bir yama, arada bir dielektrik yapı ve dielektriğin diğer tarafında bir toprak hattından oluşur. Anten herhangi bir şekilde olabilir fakat önceden belirlenmiş şekillerde sonuçların ne olacağını kestirmek daha mümkün olacaktır.

Mikroşerit antenleri analiz etmek için en yaygın kullanılan yöntemler iletim hatları, boşluk ve tam dalga metodlarıdır. İletim hatları yöntemi en kolay olandır ve iyi bir fiziksel bakış açısı sağlar. Fakat diğerlerine nazaran doğruluğu daha düşüktür. Tam dalga metodu ise daha kompleks anten yapılarında kullanılır.

Kullanılan antenlerin fiziksel ölçüleri iletim hatları teorisinin modellenmesi sayesinde oluşturulmuştur. Saçılmış alanlardan dolayı yama antenin etkin boyu kendi boyutlarından büyük görünür. Saçılmış alanlar yama antenin etkin uzunluklarının hesaplanması için hesaba katılırlar [1]. Tek katmanlı bir mikroşerit antenin yapısı Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 Tek katmanlı mikroşerit anten yapısı

Saçılmış alan uzunluğu ΔL nin açılımı için en yaygın kullanılan yaklaşım aşağıda verilmiştir;

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{r,e} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{r,e} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (2.9)$$

Yama antenin etkin uzunluğu;

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (2.10)$$

Etkin dielektrik sabiti $\epsilon_{r,e}$;

$$\epsilon_{r,e} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2}, W/h > 1 \quad (2.11)$$

Antenin rezonans frekansı;

$$f_r = \frac{v}{2(L + 2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{r,e}}} \quad (2.12)$$

v dalganın dielektrik ortamdaki yayılma hızıdır. Yama antenin genişliği eşitlik (2.13)'de verilmiştir [1].

$$W = \frac{v}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.13)$$

Dielektrik alttaş anten tasarımında çok önemli bir rol oynar. Elektrik geçirgenlik sabiti Eş. (2.14)'deki gibi ifade edilebilir [1].

$$\epsilon = \epsilon' - j \epsilon'' \quad (2.14)$$

Kayıp tanjantı karmaşık geçirgenlikte gerçek kısım ile sanal kısmın birbirine oranı ile tanımlanır. Ya da kayıp tanjantı dielektrik içinde ısıya dönüşen elektrik enerjisinin ölçülmesi ile bulunur.

$$\tan(\delta) = \epsilon'' / \epsilon' \quad (2.15)$$

Göreceli geçirgenlik ya da diğer bir deyişle dielektrik sabiti ise kompleks geçirgenliğin gerçek kısmının boşluğun geçirgenliğine oranı ile bulunur.

$$\epsilon_r = \epsilon' / \epsilon_0 \quad (2.16)$$

Herhangi bir ortamda dalganın yayılım hızının formülü aşağıda verildiği gibidir;

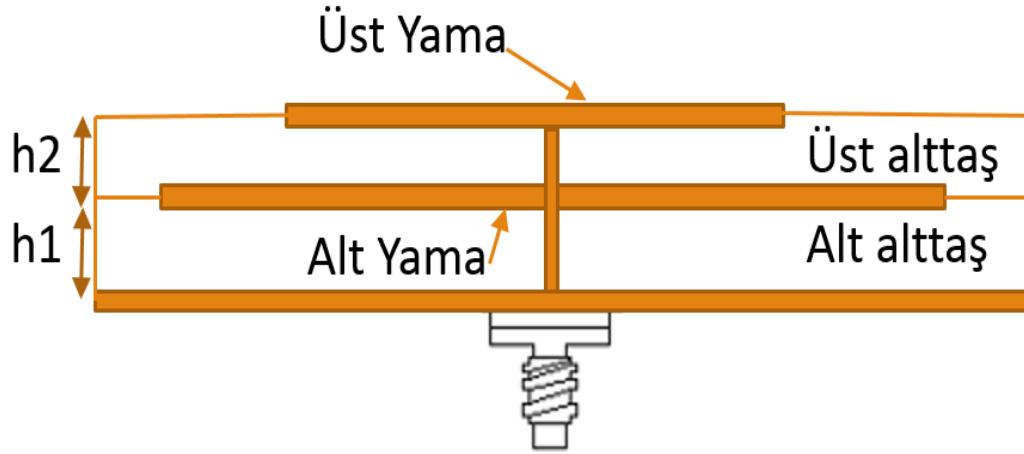
$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0\mu_r}} = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} \quad (2.17)$$

Dielektrik sabiti dalganın hızını etkiler bu yüzden dalga boyu da frekansın bir formülü ile verilir.

2.3 Dikdörtgen Yapıda Çok Katmanlı Mikroşerit Yama Antenler

Genellikle çoklu frekans yama antenler çok katmanlı ve tek katmanlı olmak üzere iki gruba ayrılır. Çok katmanlı yapılar dairesel, açısız ve dikdörtgen yama antenleri de içerir. Çok katmanlı anten yapılarında dairesel polarizasyon ve uygun bant genişlikleri sağlanabilir [19].

Bu yapıdaki antenlerin iki frekansının da aynı polarizasyonda olması önemli bir gerekliliktir. Aynı yapıdaki çok katmanlı yapılar geniş bant genişliği sağlamak ve aksenal oranın 3 dB'nin altında olması için daha kullanışlıdır [9]. Bu yapıda tasarıma bir örnek Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Çift bant çok katmanlı mikroşerit anten yapısı

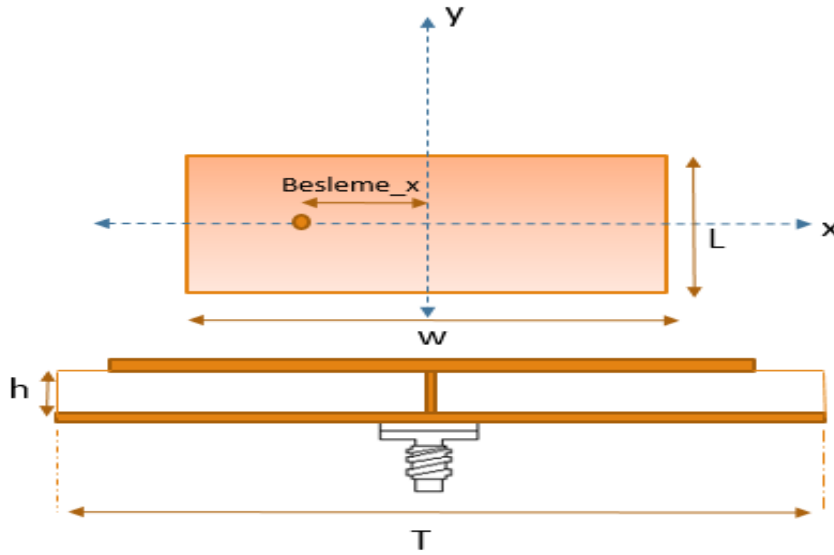
3. MİKROŞERİT ANTENLER VE BENZETİMLERİ

3.1 Doğrusal Polarizasyona Sahip Tek Bant Mikroşerit Anten

Bu bölümde sadece L1 (1575.42 MHz) ve sadece L2 (1227.60 MHz) bantlarını kapsayacak şekilde tasarlanan antenlerin HFSS programı kullanılarak elde edilen sonuçları üzerinde durulacaktır. Bu analizler yapılırken karmaşıklığı azaltmak adına sonda besleme tekniği kullanılmıştır. Antenler tasarlanırken parametrik analizlerinin kolay yapılabilmesi için bir takım değişkenler atanmıştır. Bu değişkenler iki ayrı tasarım için Çizelge 3.1’de verilmiştir. L1 ve L2 bant taslak tasarım çizimi Şekil 3.1’de değişken isimleri ile birlikte verilmiştir.

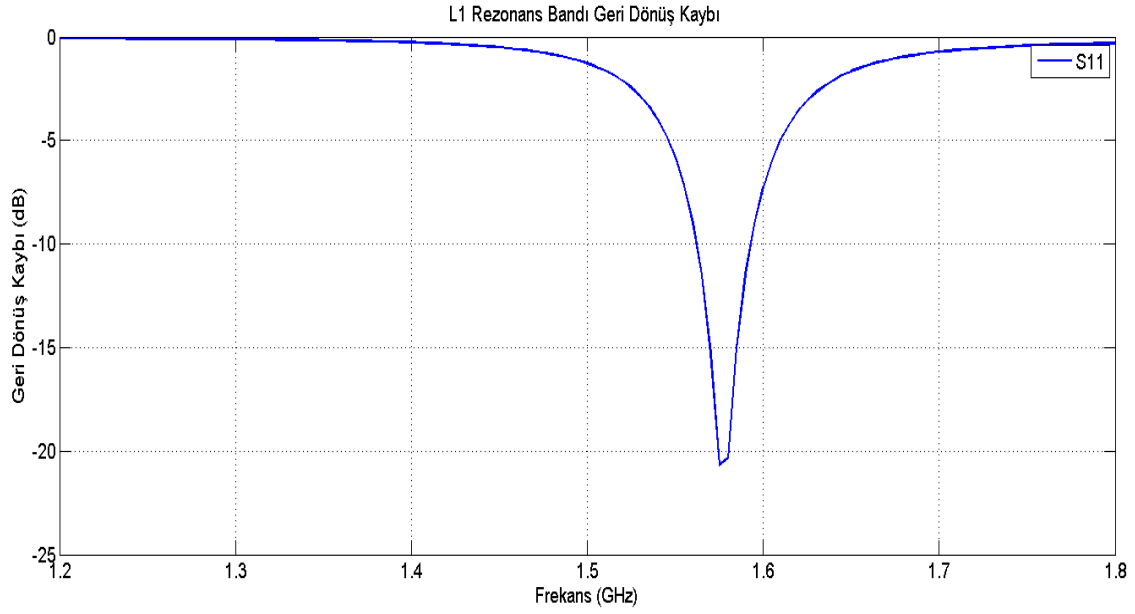
Çizelge 3.1 L1 ve L2 bant değişkenleri

Parametre	Tanım	L1 bant	L2 bant
L	Yama Anten Uzunluğu	53mm	68mm
W	Yama Anten Genişliği	53mm	68mm
h	Materyal kalınlığı	3.048mm	4.57mm
Besleme_x	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	9mm	13mm
T	Toprak Hattının Genişliği ve Uzunluğu	122mm	122mm

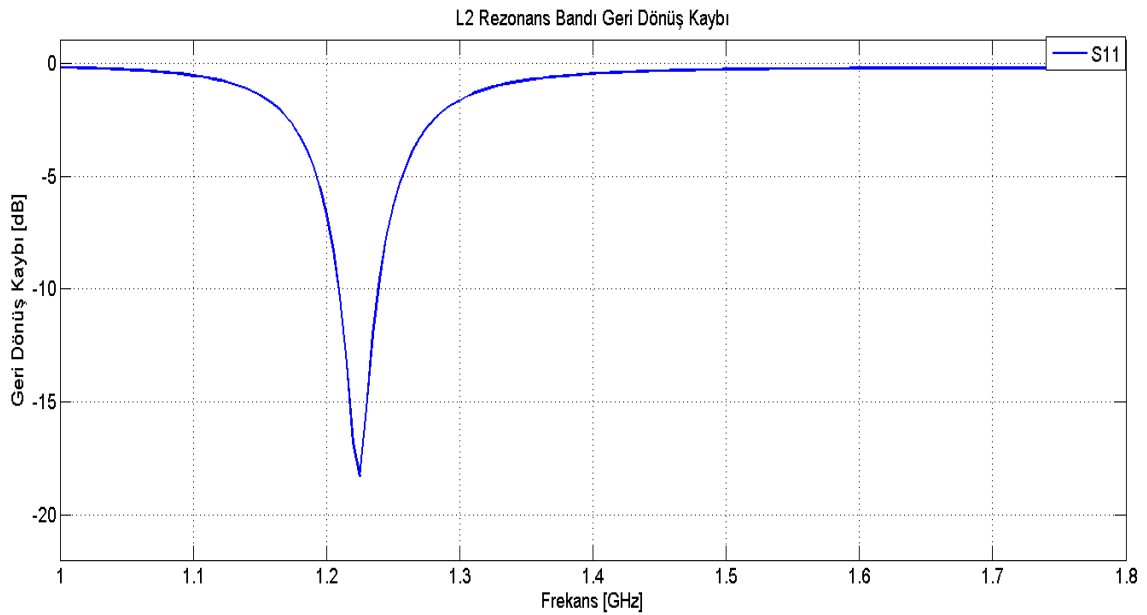


Şekil 3.1 Tek bant, tek katman (L1 ve L2) çalışan mikroşerit anten

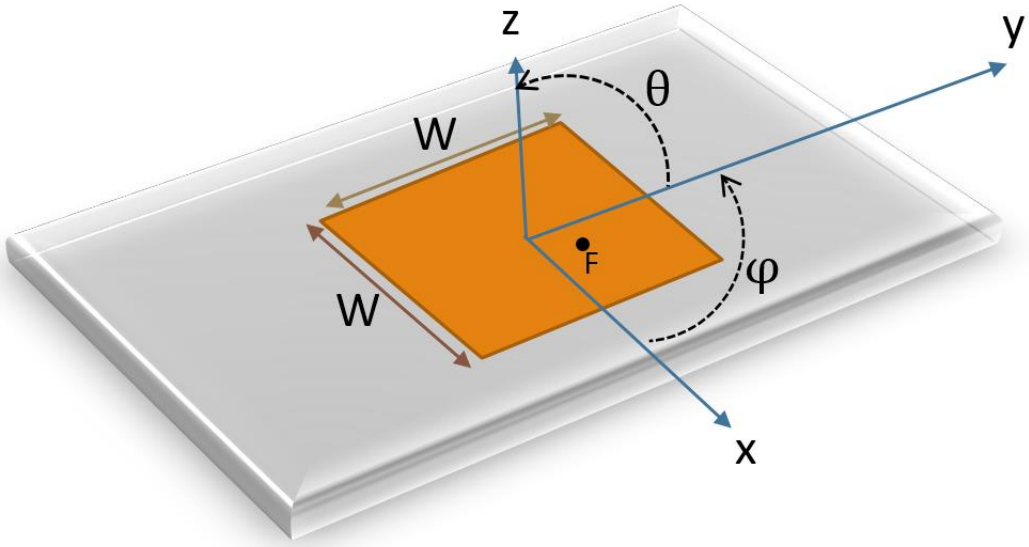
Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de görüldüğü gibi istenilen frekanslarda ayrı ayrı iki antende de S11 değeri -10 dB geri dönüş kaybı şartını sağlamıştır. Bant genişlikleri sırası ile 35 MHz ve 30 MHz’dir.



Şekil 3.2 L1 bant (1575 MHz) S11 grafiği

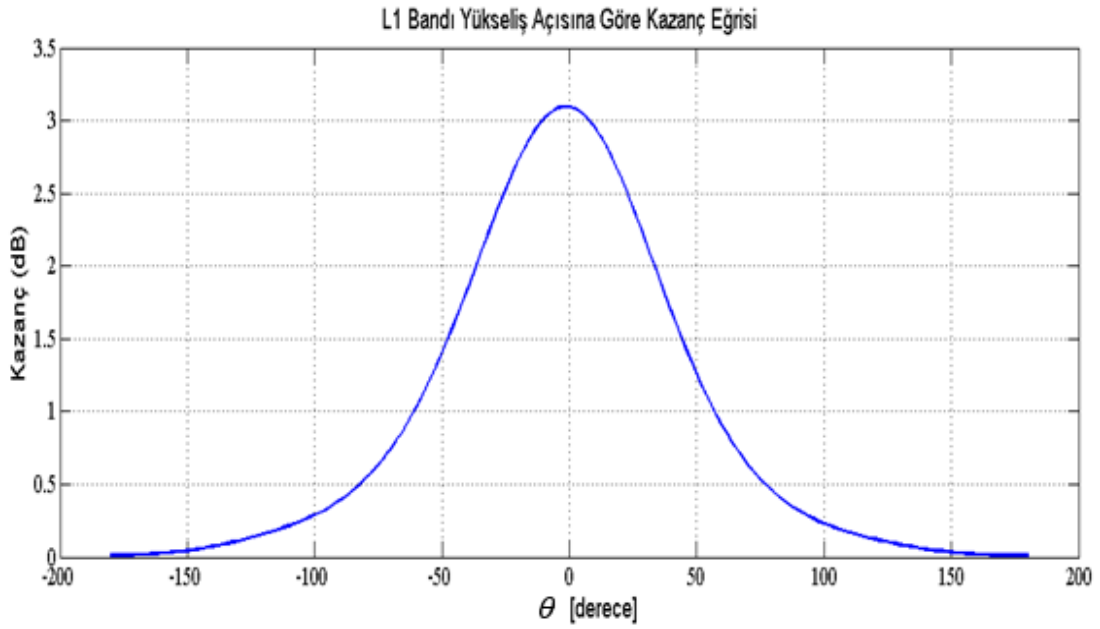


Şekil 3.3 L2 bant (1227 MHz) S11 grafiği

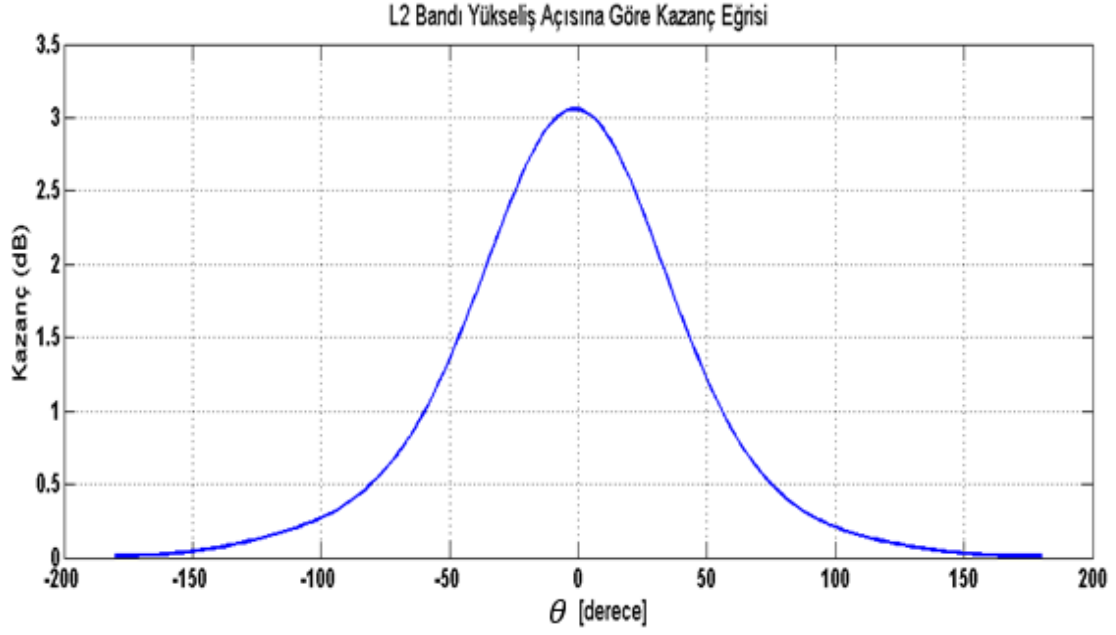


Şekil 3.4 Yanca (φ) ve yükseliş (θ) eksenleri gösterimi

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da görüldüğü gibi istenilen frekanslarda iki antende de kazanç değeri 3 dB’nin üzerinde çıkmıştır.



Şekil 3.5 L1 bant θ vs toplam kazanç φ (0 derece iken)



Şekil 3.6 L2 bant θ - toplam kazanç φ (0 derece iken)

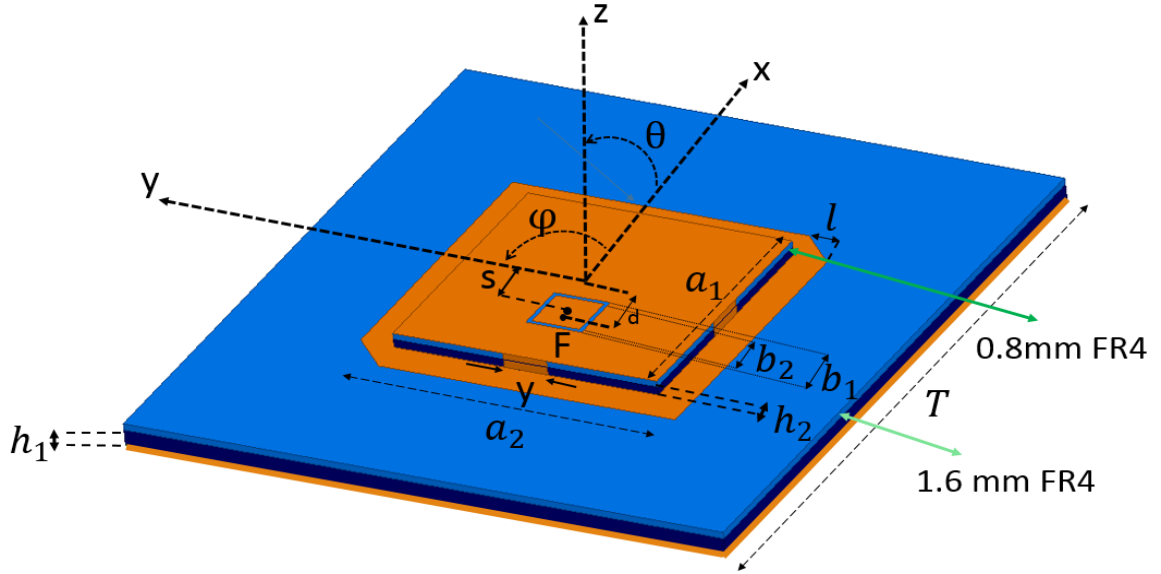
Bir sonraki çalışmada bu iki bandın tek bir anten üzerinde ve tek bir besleme ile nasıl çalışabileceği anlatılmaktadır. Bu yüzden araştırılan tasarımlardan biri gerçekleştirilerek tek besleme ile nasıl çift bant bir anten tasarlanabileceği üzerinde çalışılmıştır. Bu antene ait veriler ve sonuçlar bir sonraki bölümde incelenmiştir.

3.2 Doğrusal ve Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant Mikroşerit Anten

Bu çalışmada tek bir hat üzerinden besleme yapılarak çift bant yayın yapabilen bir anten tasarımı yapılarak literatürdeki bir makale incelenmiştir [9]. Anten oluşturulurken üst üste iki yama anten kullanılmıştır. Şekil 3.7’de gösterimi yapılan üstteki anten WLAN bandında (2.4 GHz) yayın yapılabilmesini sağlayan kare bir yama, alttaki yama anten ise L1 bandında (1575.42 MHz) dairesel polarizasyona sahip köşelerinden kesilmiş bir kare yamadan oluşmuştur. En iyi anten performansını elde etmek için yama antenin genişliği, uzunluğu, dielektrik materyal kalınlığı ile empedans uyumlandırması yapılmıştır. Şekil 3.7’de tasarım esnasında kullanılan bütün parametreler gösterilmiştir. Ayrıca değişkenler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

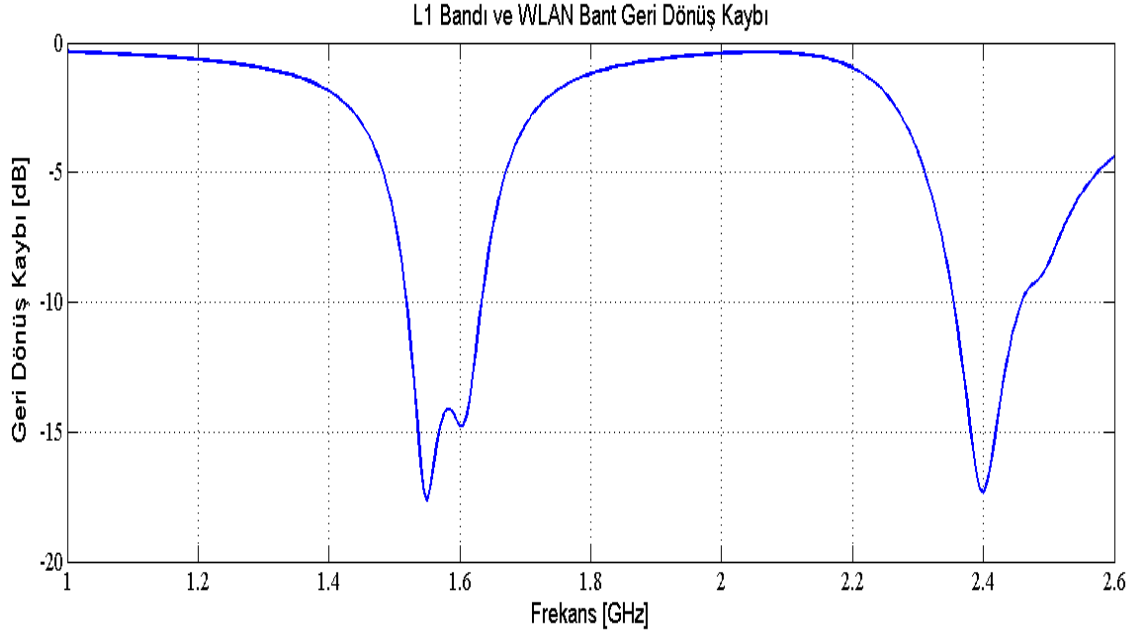
Çizelge 3.2 L1 bant ve WLAN bant değişkenleri

Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Üst Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (WLAN Bant)	57.5 mm
b_1	Kare Yarık Dış Kenar Uzunluğu	13 mm
a_2	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L1 Bant)	42 mm
b_2	Kare Yarık İç Kenar Uzunluğu	11 mm
y	İletken Hat Genişliği	1 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	110 mm
h_1	Dielektrik sabiti 1 olan Materyal kalınlığı	4 mm
h_2	Dielektrik sabiti 1 olan Materyal kalınlığı	3 mm
alt	Alt FR4 dielektrik materyali kalınlığı	1.6 mm
ust	Üst FR4 dielektrik materyali kalınlığı	0.8 mm
s	Kare Yarık Merkez Uzaklığı	11 mm
d	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	13 mm
l	L1 Bant köşe kesim uzunluğu	8.5 mm



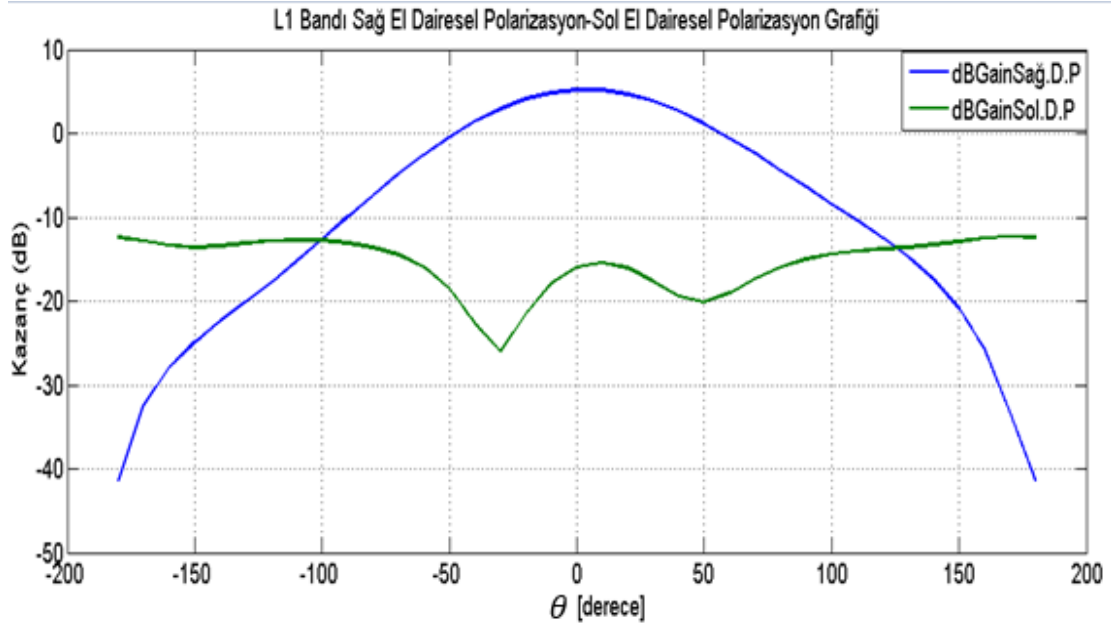
Şekil 3.7 WLAN bant ve L1 bant tasarım

Şekil 3.8' de görüldüğü gibi L1 bandı ve WLAN bandı için S11 değeri -10 dB geri dönüş kaybı şartını sağlamıştır. Bant genişlikleri, L1 bandı için 55 Mhz ve WLAN bandı için 60 MHz'dir.



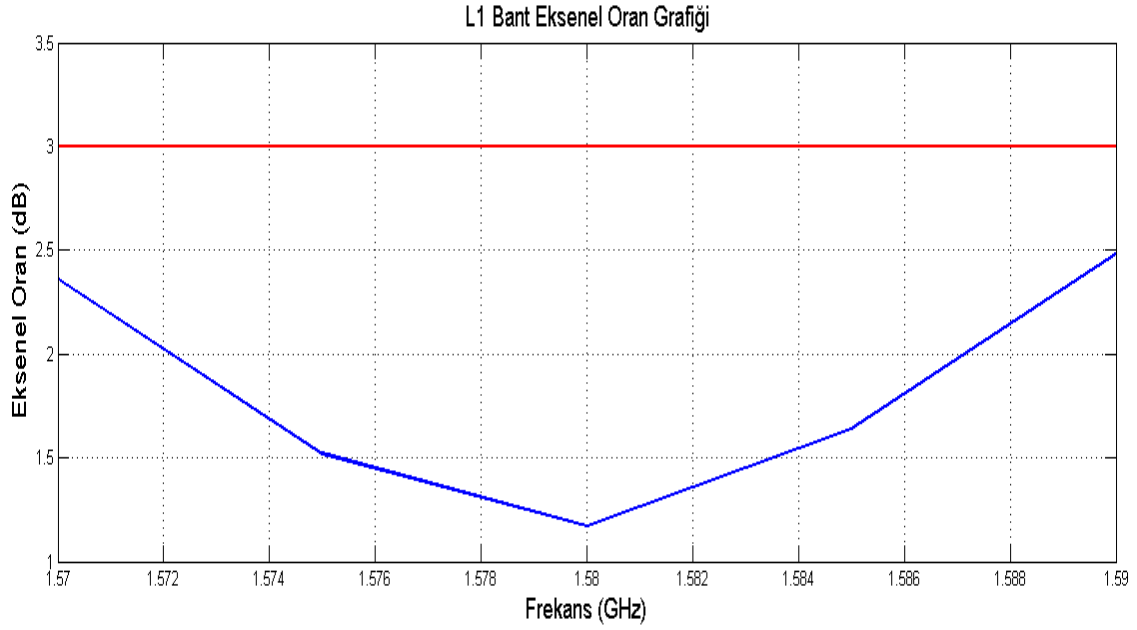
Şekil 3.8 L1 bant ve WLAN bandı S11 grafiği

Şekil 3.9'dan anlaşıldığı gibi θ açısı sıfır iken sağ el dairesel polarizasyon ile sol el dairesel polarizasyon arasındaki farkın 10 dB'den fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 3.9 L1 bant SAEDP, SOEDP kazanç karşılaştırması

Şekil 3.10'dan anlaşıldığı gibi köşe kesim yöntemi ile 20 MHz bant genişliğine yakın 3 dB eksenel oranın altında dairesel polarizasyon sağlanmış gözükmektedir.



Şekil 3.10 L1 bant eksenel oran grafiği

3.3 Dairesel Polarizasyona Sahip Tek Beslemeli Çift Bant Mikroserit Anten

Bu bölümde öncelikle köşe kesim yöntemi ile ilgili bölüm 2'de anlatılan araştırmalar birleştirilerek köşe kesim uzunluklarını, kullanılan parametrelere göre uygun değerlerle hesaplayan bir MATLAB programı oluşturulmuş ve ekran görüntüsü Şekil 3.11'de verilmiştir. Bu değerler kullanıcı arayüzü ile giriş yapılabilir hale getirilmiştir.

ANTEN PARAMETRELERİ BAŞLANGIÇ DEĞERLERİ HESAPLAMA PROGRAMI

Rezonans frekansları

f1 : GHz

f2 : GHz

Dielektrik Tabaka Kalınlıkları

h1 : mm

h2 : mm

Dielektrik Sabitleri

eps1 :

eps2 :

Dielektrik Kayıp Tanjant Değerleri

tanj1 :

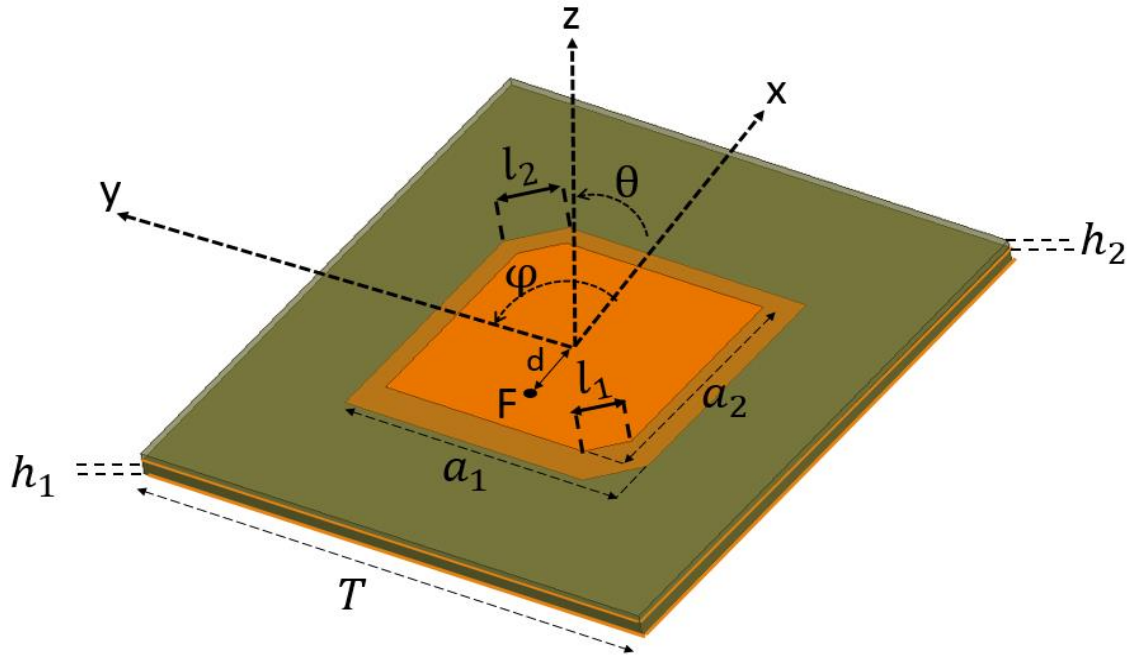
tanj2 :

HESAPLA

	Kare Yama Anten Uzunluğu	Köşe Kesim Uzunluğu
a1 :	55.3258 mm	l1 : 7.5111 mm
b1 :	45.254 mm	l2 : 6.2412 mm
	Besleme Noktası Orjinden Uzaklığı	
	d : 14.3847 mm	

Şekil 3.11 Anten parametreleri başlangıç değerleri hesaplama programı arayüzü

Şekil 3.12’de gösterimi verilen üstteki kare yama anten L2 bant 1227 MHz bandında çalışacak; alttaki kare yama anten L1 bant 1575 MHz bandında çalışacaktır. Bu antenlerin istenilen bantlarda yayın yapabilmesi için bölüm 2.2 nin sonunda anlatılan tasarım yöntemi ve HFSS programı yardımı ile bulunan nihai fiziksel boyutlar Çizelge 3.3’de verilmiştir.

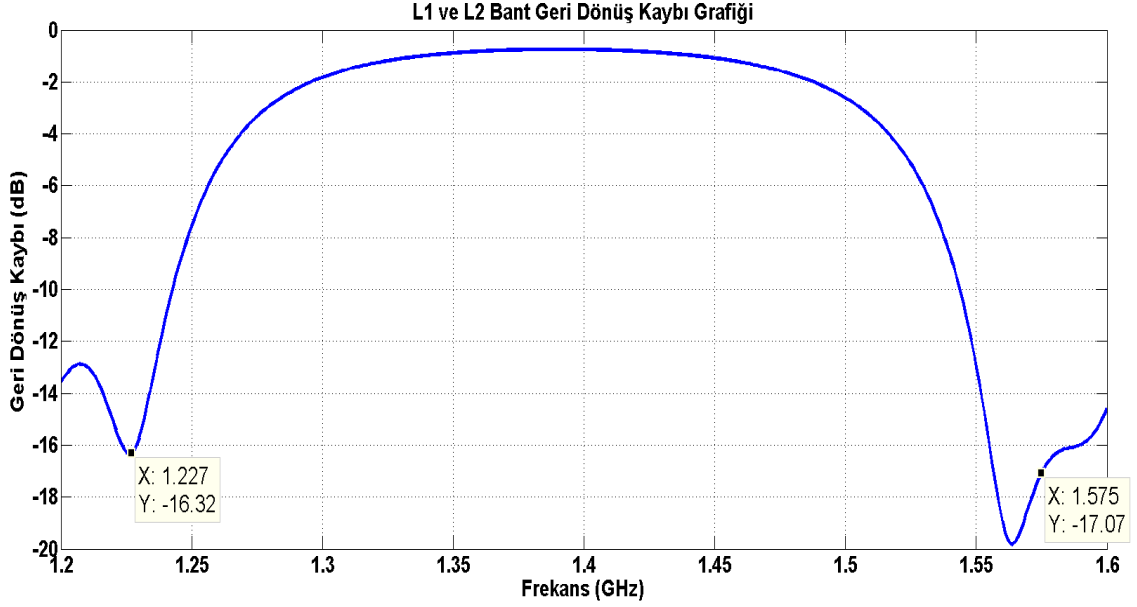


Şekil 3.12 L2 bant ve L1 bant tasarım

Çizelge 3.3 L1 bant ve L2 bant değişkenleri

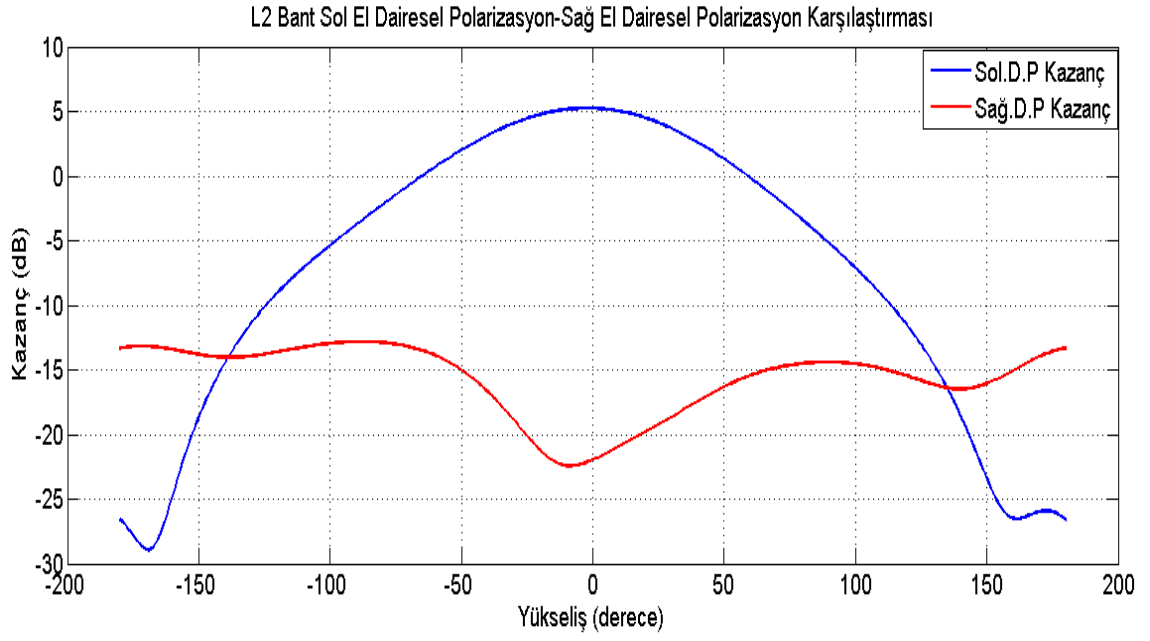
Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L2 Bant)	56.9 mm
a_2	Üst Bant Kare Yama Anten Uzunluğu (L1 Bant)	46.4 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	75 mm
h_1	Materyal Kalınlığı (alt)	3.2mm
h_2	Materyal Kalınlığı (üst)	1.6mm
d	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	14mm
l_1	L1 Bant köşe kesim uzunluğu	6mm
l_2	L2 Bant köşe kesim uzunluğu	8mm

İlgili frekans değerlerinde antenin literatürde geçerliliği olan -10 dB nin altında geri dönüş kaybına sahip olduğu Şekil 3.13’de görülmektedir. Bant genişlikleri L1 bandı için 50 MHz , L2 bandı için 75 MHz’ dir.

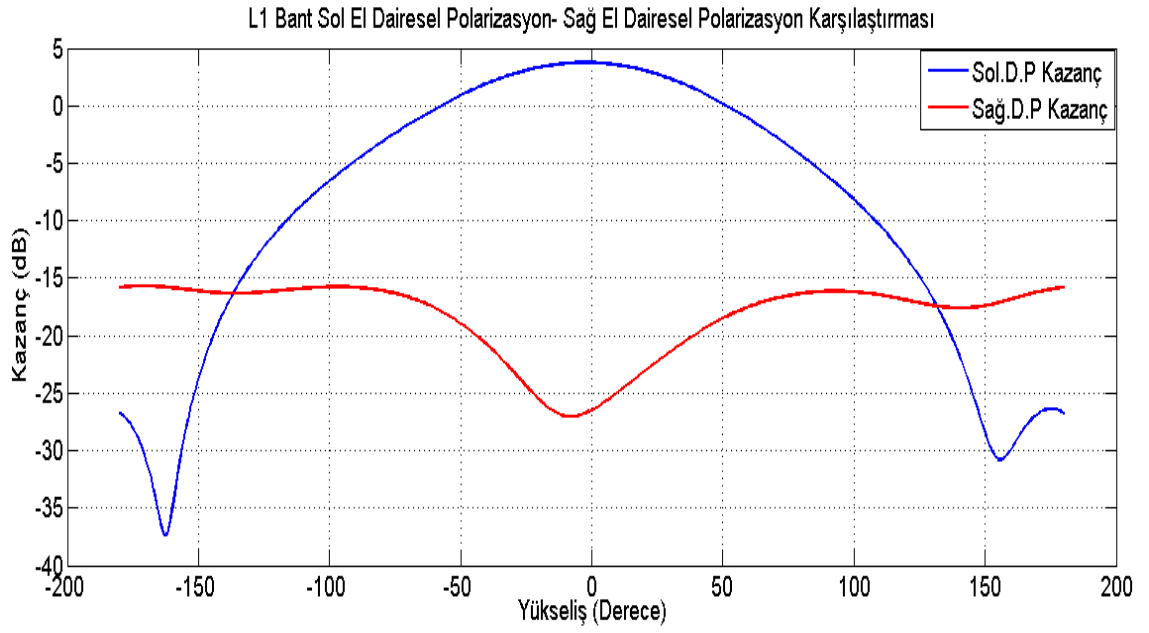


Şekil 3.13 L1 bant (1.575 GHz) ve L2 bantı (1.227 GHz) S11 grafiği

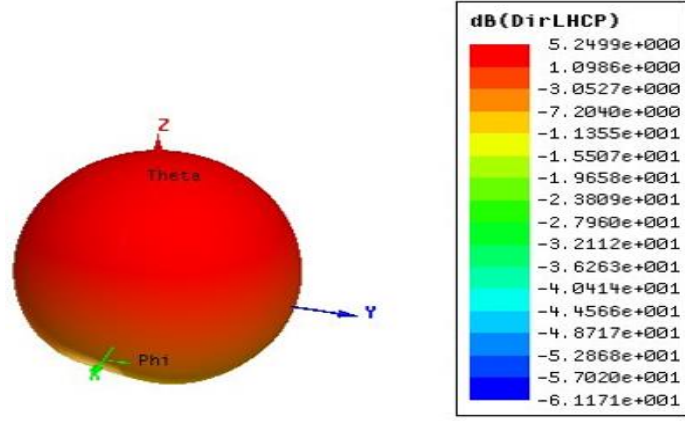
Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’den de anlaşıldığı gibi θ açısı sıfır iken sağ el dairesel polarizasyon ile sol el dairesel polarizasyon arasındaki farkın 10 dB’den fazla olduğu hem L1 bandı için hem de L2 bandı için görülmüştür. Kazanç değerleri 5 dB’ye yakındır. Aynı zamanda anten yönlüğü her iki bant için de Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de φ ve θ eksenlerinde 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.



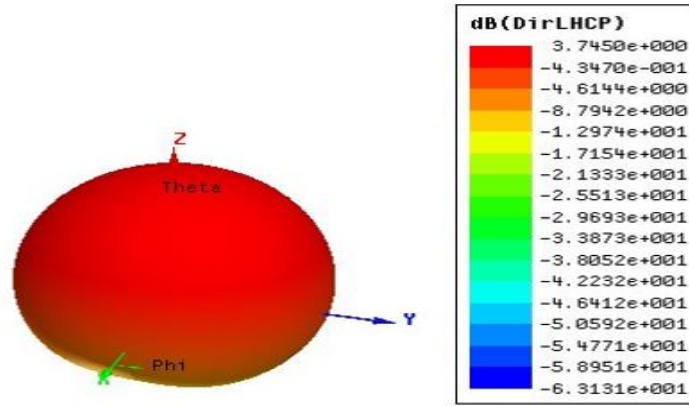
Şekil 3.14 L2 bant SAEDP, SOEDP kazanç karşılaştırması



Şekil 3.15 L1 bant SAEDP, SOEDP kazanç karşılaştırması

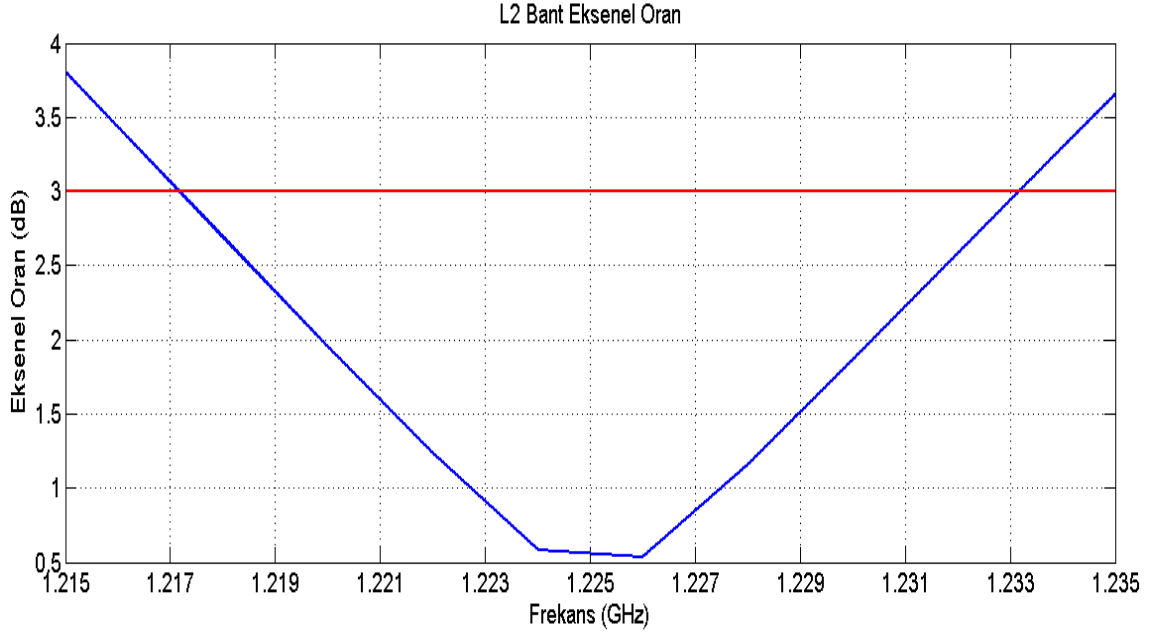


Şekil 3.16 L1 bant anten yönlülüğü φ ve θ eksenlerinde 3 boyutlu gösterimi

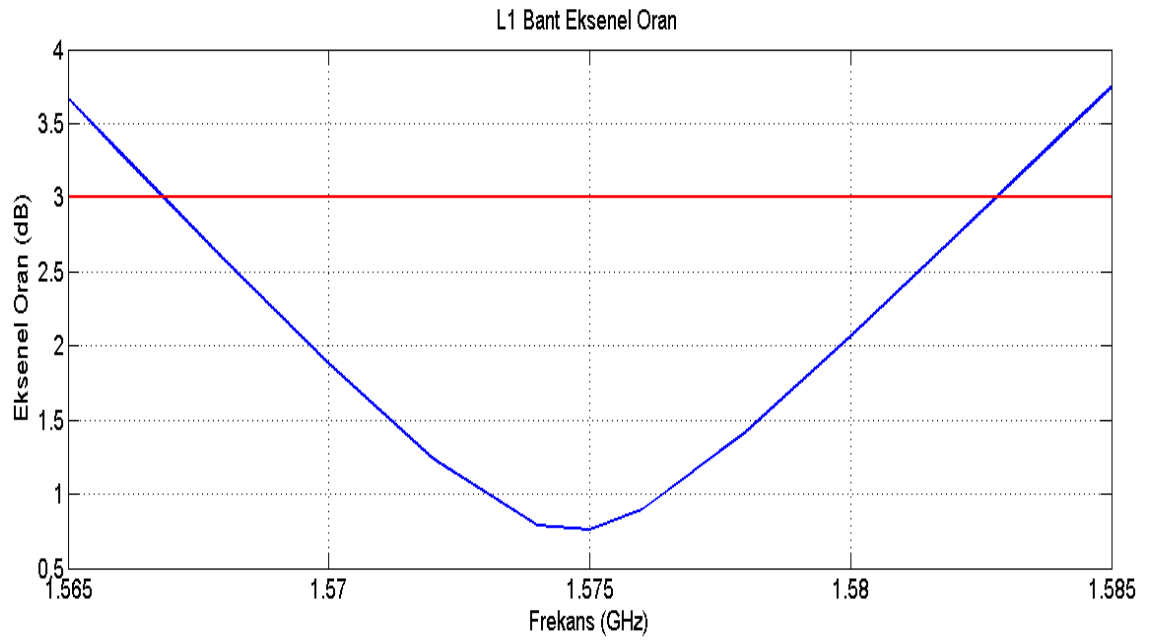


Şekil 3.17 L2 bant anten yönlülüğü φ ve θ eksenlerinde 3 boyutlu gösterimi

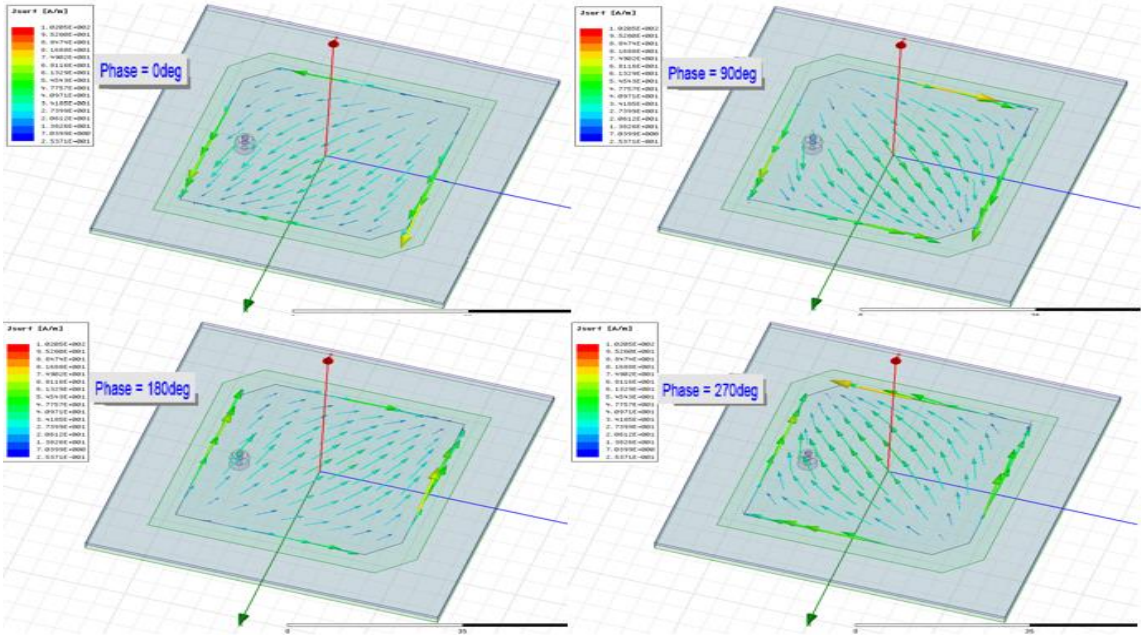
Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da görüldüğü gibi yama anten askeri sistemler için gerekli eksenel oran değeri olan 15 MHz bant genişliğini her iki çalışma bandında da sağlamış görülmektedir.



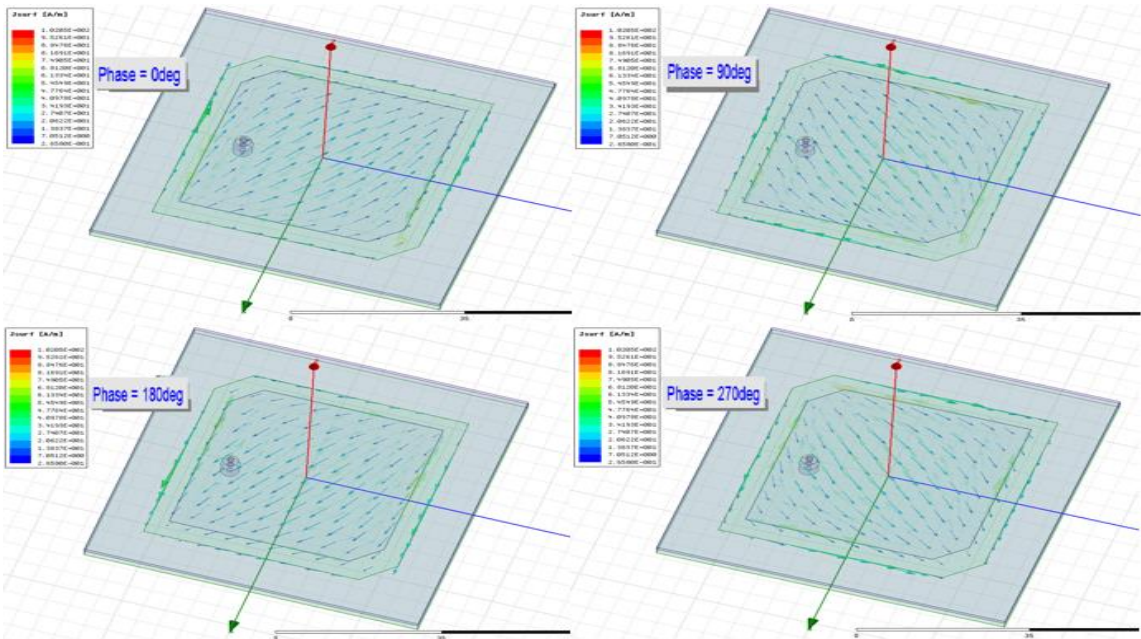
Şekil 3.18 L2 bant eksenel oran



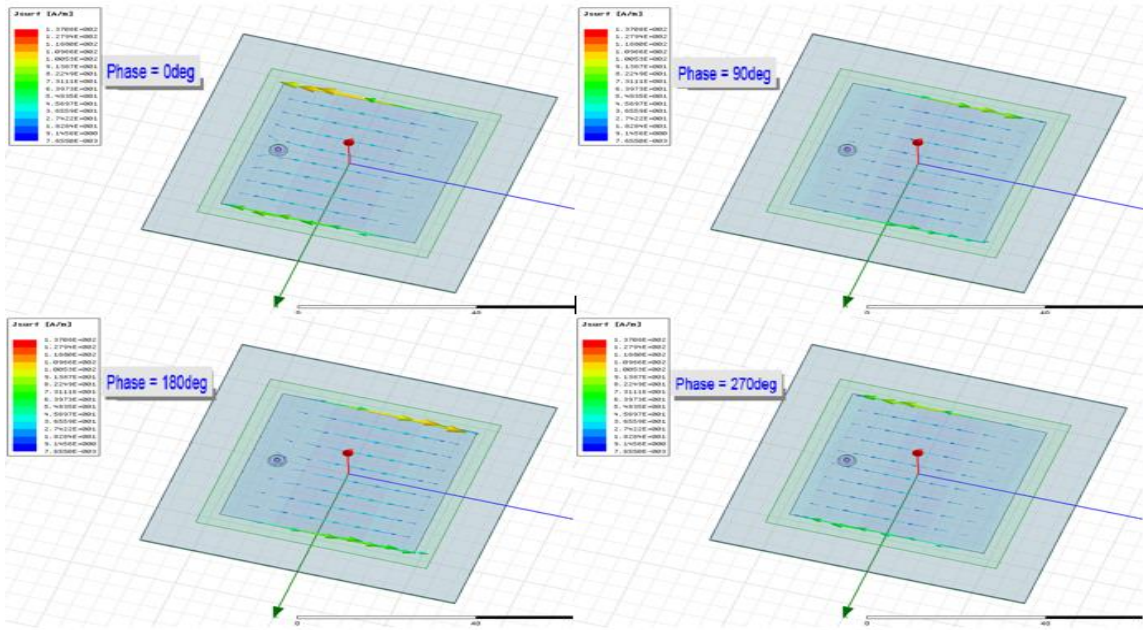
Şekil 3.19 L1 bant eksenel oran



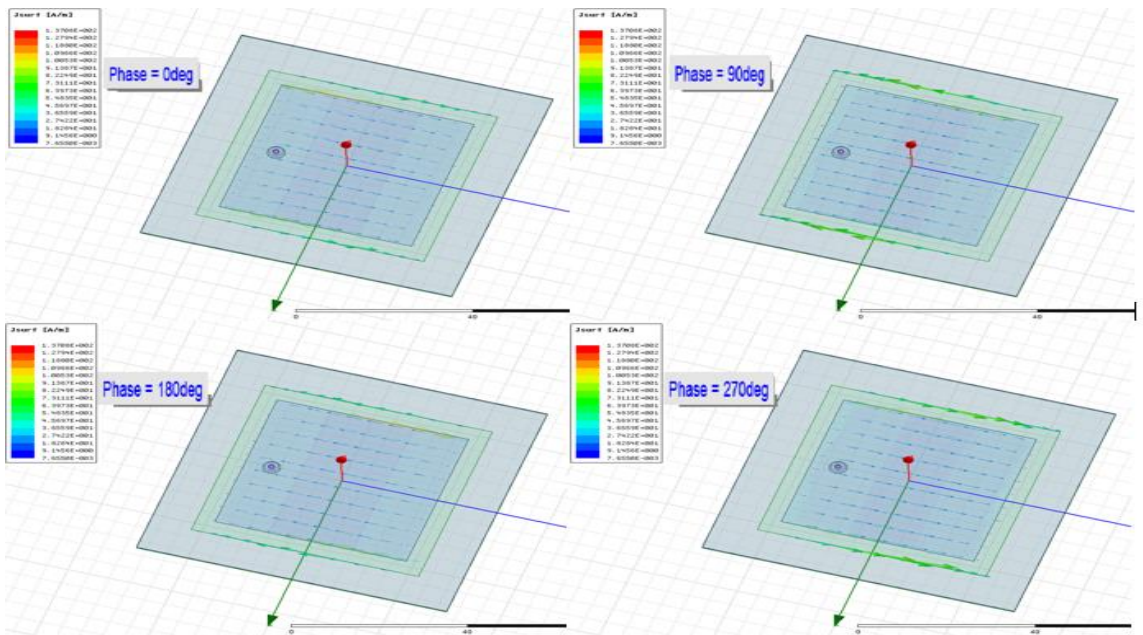
Şekil 3.20 L1 bant köşe kesim uygulanmış anten J akım vektörleri



Şekil 3.21 L2 bant köşe kesim uygulanmış anten J akım vektörleri



Şekil 3.22 L1 bant köşe kesim uygulanmamış anten J akım vektörleri



Şekil 3.23 L2 bant köşe kesim uygulanmamış anten J akım vektörleri

Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de görüldüğü gibi köşe kesim uygulaması yapılmış antende akım vektörlerinin faz değişikçe saat yönünün tersi yönünde hizalandığı, böylece dairesel

polarizasyona sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de ise köşe kesim yöntemi uygulanmadığı için her iki bantta da dairesel polarizasyonun sağlanmadığı görülmektedir.

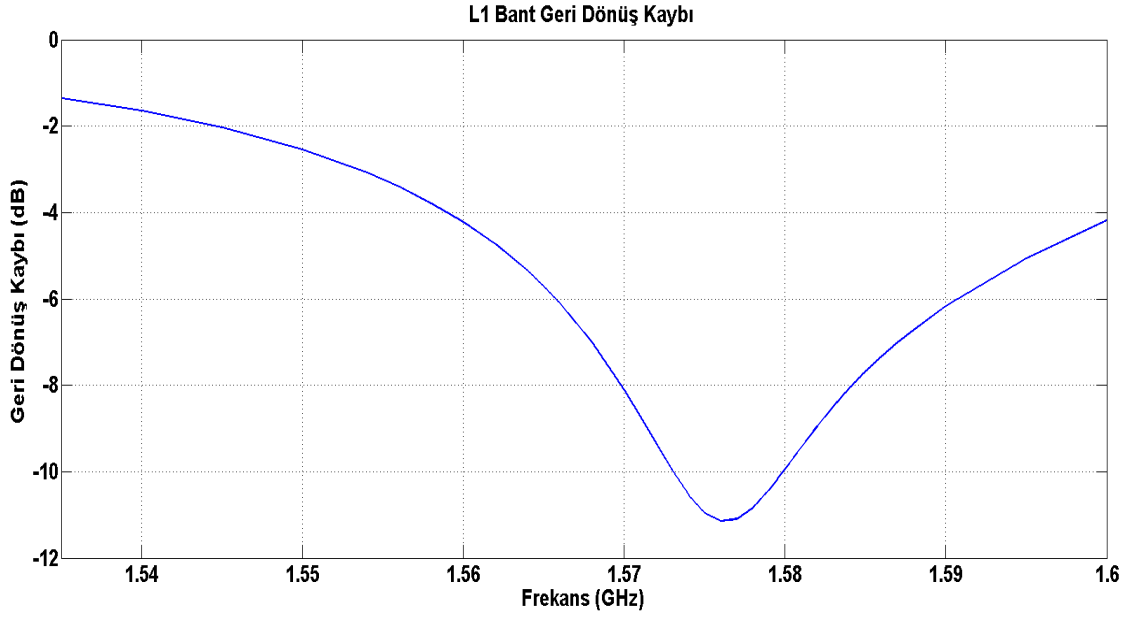
3.4 Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant LTCC Uygulamalı Mikroşerit Anten

Bu alt bölümde anten boyutlarını küçültmek adına dielektrik malzeme seçiminde dielektrik sabiti yüksek olan bir alttaş kullanımı (DuPont) ele alındı. 3.3 kısmında bahsi geçen tasarımda sadece bu materyal değiştirilerek boyutlar üzerinde çalışma yapıldı. Çizelge 3.4’de bu parametreler verilmiştir.

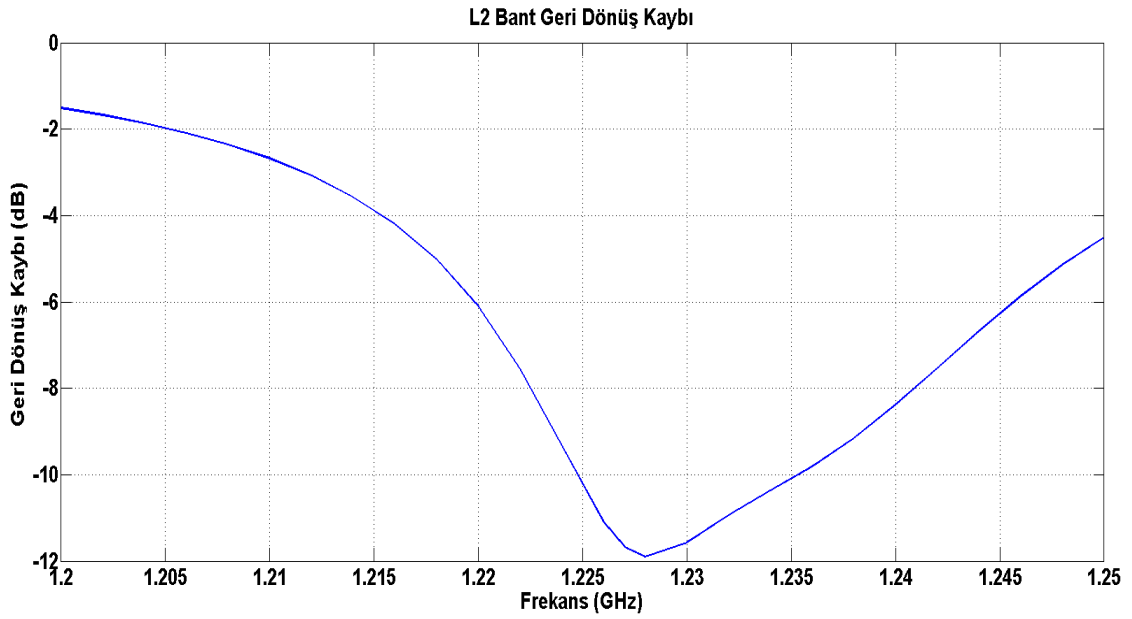
Çizelge 3.4 L1 bant ve L2 bant değişkenleri

Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L2 Bant)	41.58 mm
a_2	Üst Bant Kare Yama Anten Uzunluğu (L1 Bant)	33.55 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	50 mm
h_1	Materyal Kalınlığı(al) t)	2.159 mm
h_2	Materyal Kalınlığı (üst)	1.0795 mm
d	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	9.8 mm
l_2	L2 Bant köşe kesim uzunluğu	2.8 mm
l_1	L1 Bant köşe kesim uzunluğu	2.4 mm

HFSS yardımı ile oluşturulan S11 grafiği Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’deki gibidir. Çalışma bantlarında 10 dB yeterliliği sağladığı görülmektedir. SAEDP ve SOEDP karşılaştırmalı grafikleri de Şekil 3.28 ve Şekil 3.29’da verilmiştir.

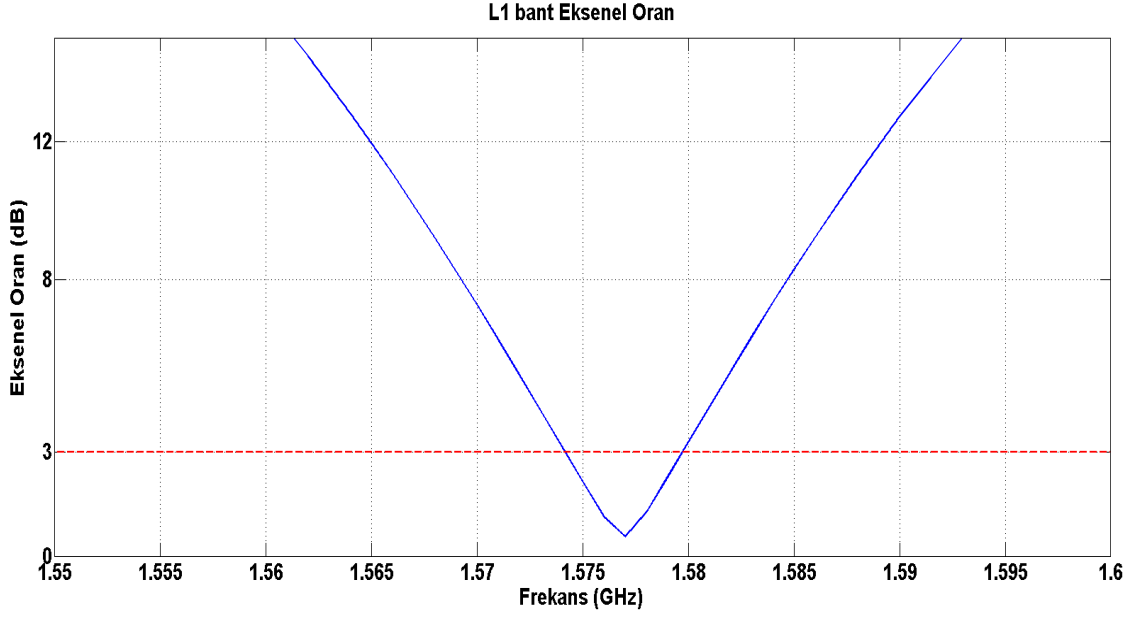


Şekil 3.24 L1 bant geri dönüş kaybı

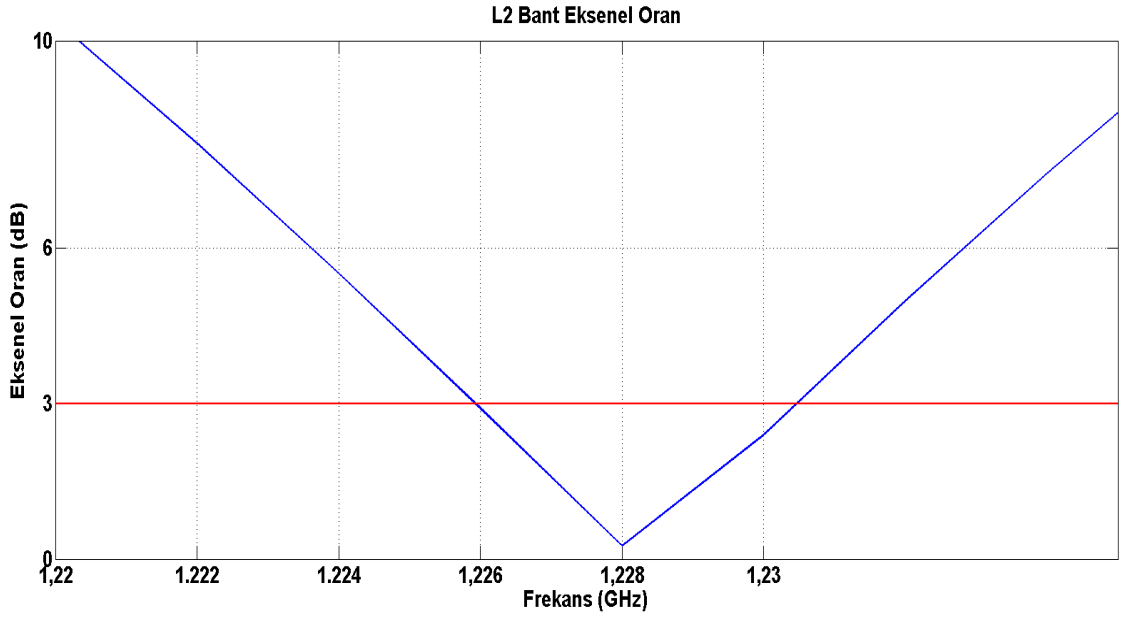


Şekil 3.25 L2 bant geri dönüş kaybı

Eksenel oran değerlerinin de ilgili çalışma bantlarında 3 dB seviyesinin altında olduğu Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de görülmektedir. L1 ve L2 bantları için 5 MHz bant genişliği sağlanmıştır.

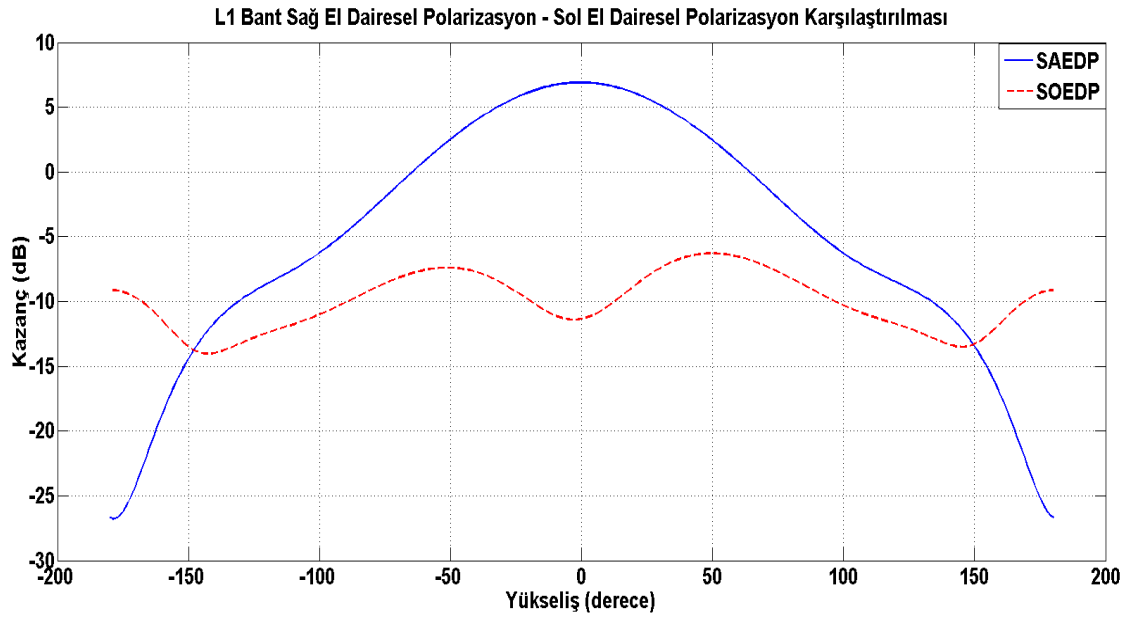


Şekil 3.26 L1 bant eksenel oran

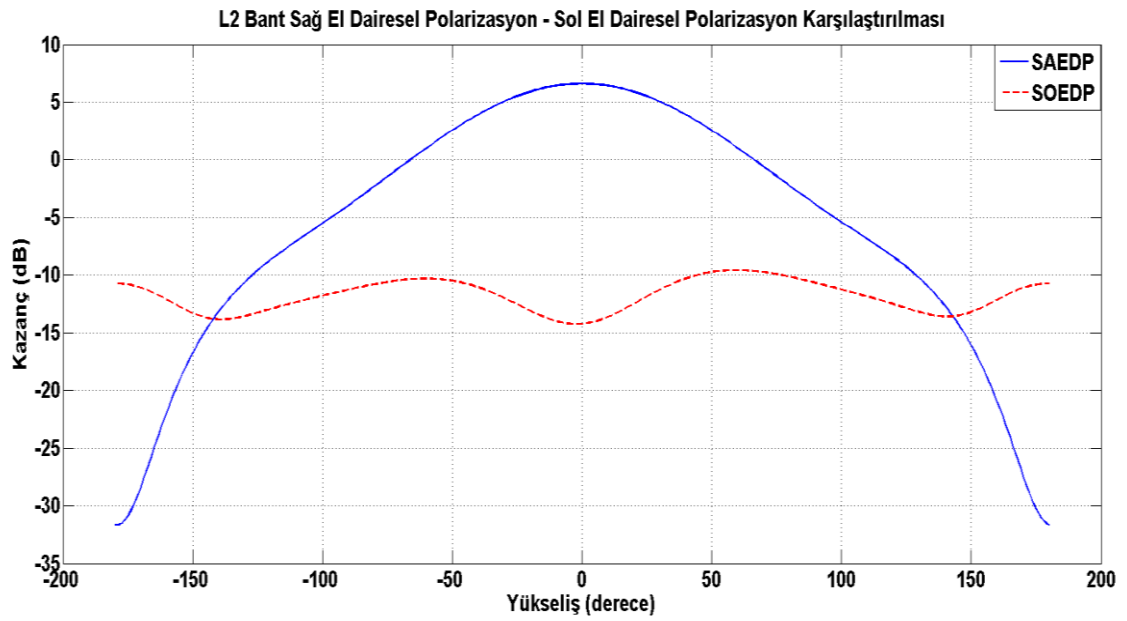


Şekil 3.27 L2 bant eksenel oran

Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'dan da anlaşıldığı gibi θ açısı sıfır iken sağ el dairesel polarizasyon ile sol el dairesel polarizasyon arasındaki farkın 10 dB den fazla olduğu hem L1 bandı için hem de L2 bandı için görülmüştür.



Şekil 3.28 L1 bant sağ el dairesel polarizasyon - sol el dairesel polarizasyon



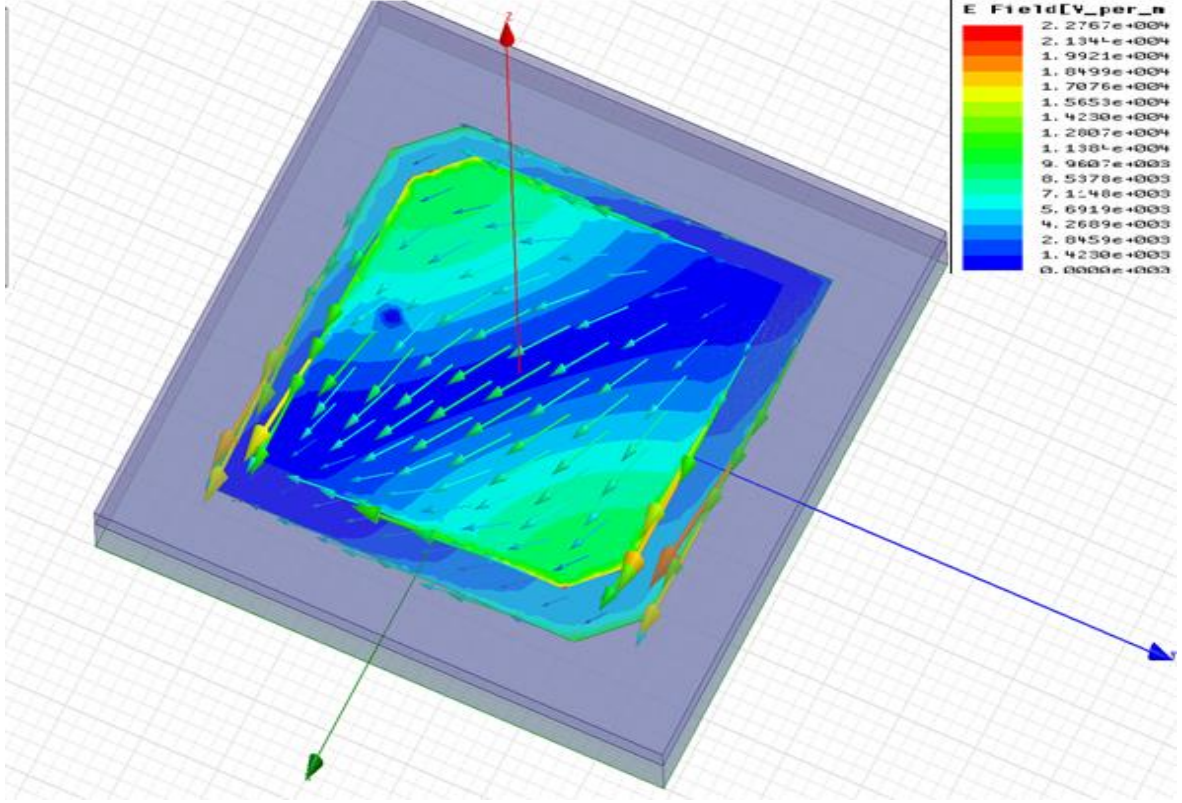
Şekil 3.29 L2 bant sağ el dairesel polarizasyon - sol el dairesel polarizasyon

3.5 Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant PIFA Uygulamalı Mikroşerit Anten

Bu alt bölümde anten boyutlarını küçültebilmek adına literatürde incelenen PIFA uygulaması bu anten yapısına uygulanmıştır. 3.3 kısmında bahsi geçen tasarımda elektrik alan vektör büyüklüğünün sıfır olduğu noktalardan toprak hattına iletken bir ara bağlantı yapılmıştır. Bu şekilde yama anten alanı yarisına düşürülmüştür. Bu antenin yapısı Şekil 3.31’de gösterilmiştir. Anten parametreleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

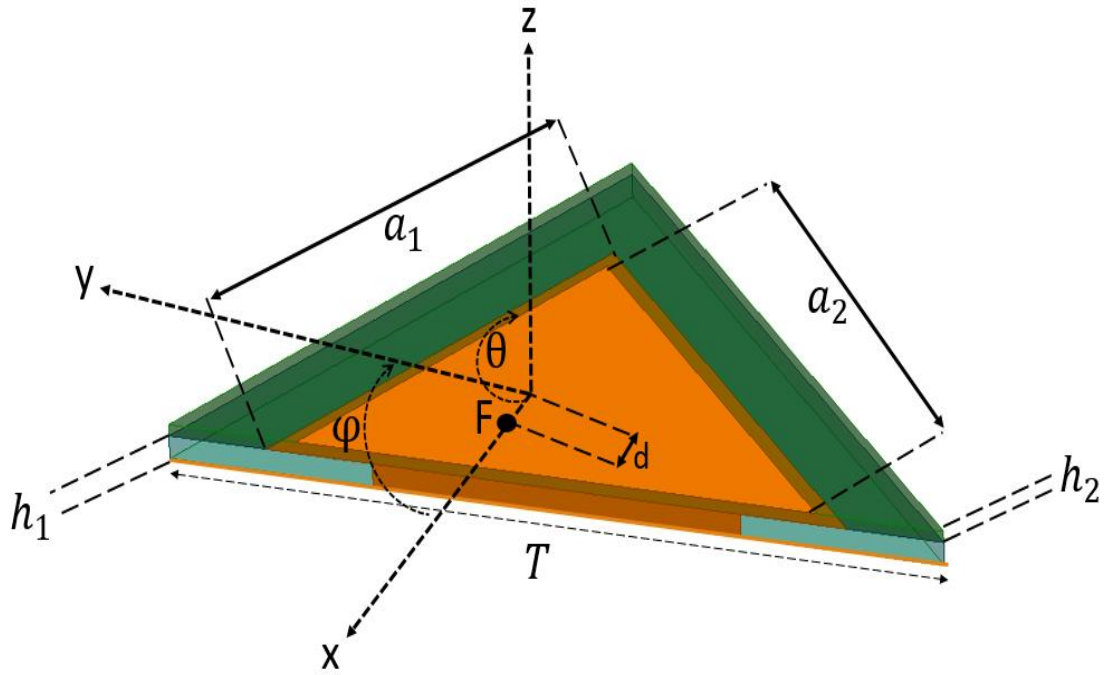
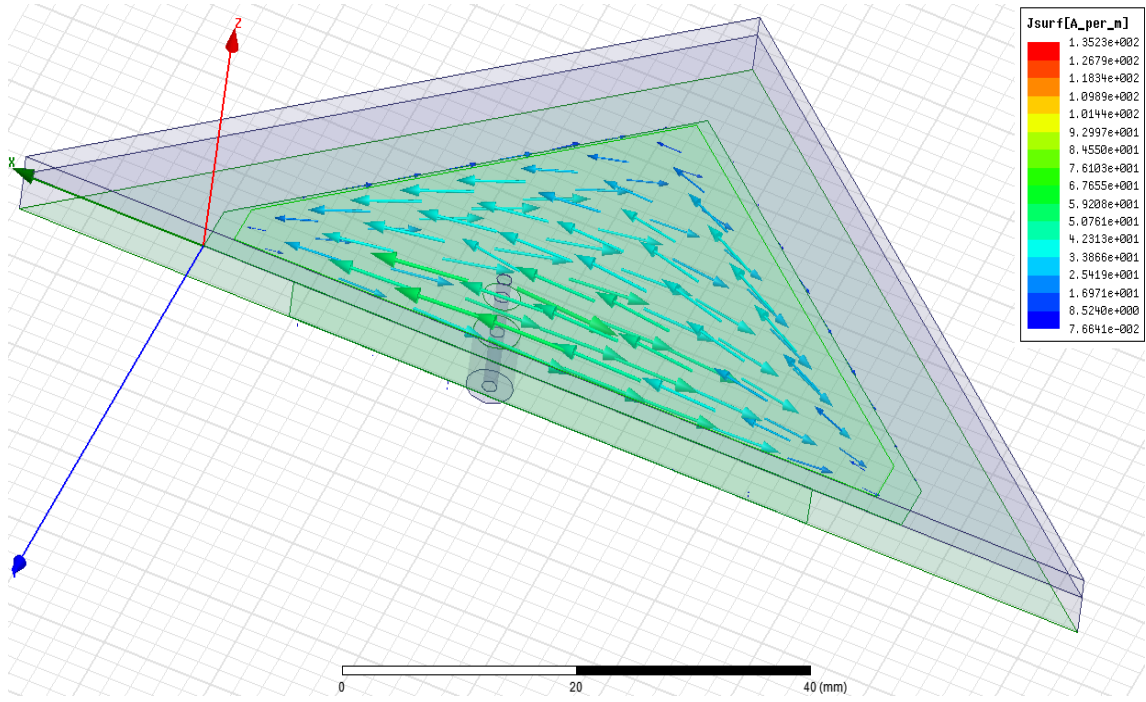
Çizelge 3.5 L1 bant ve L2 bant değişkenleri

Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L2 Bant)	26.25 mm
a_2	Üst Bant Kare Yama Anten Uzunluğu (L1 Bant)	23.5 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	70 mm
h_1	Altaş Kalınlığı (alt)	3.2 mm
h_2	Altaş Kalınlığı (üst)	1.6 mm
d	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	11 mm



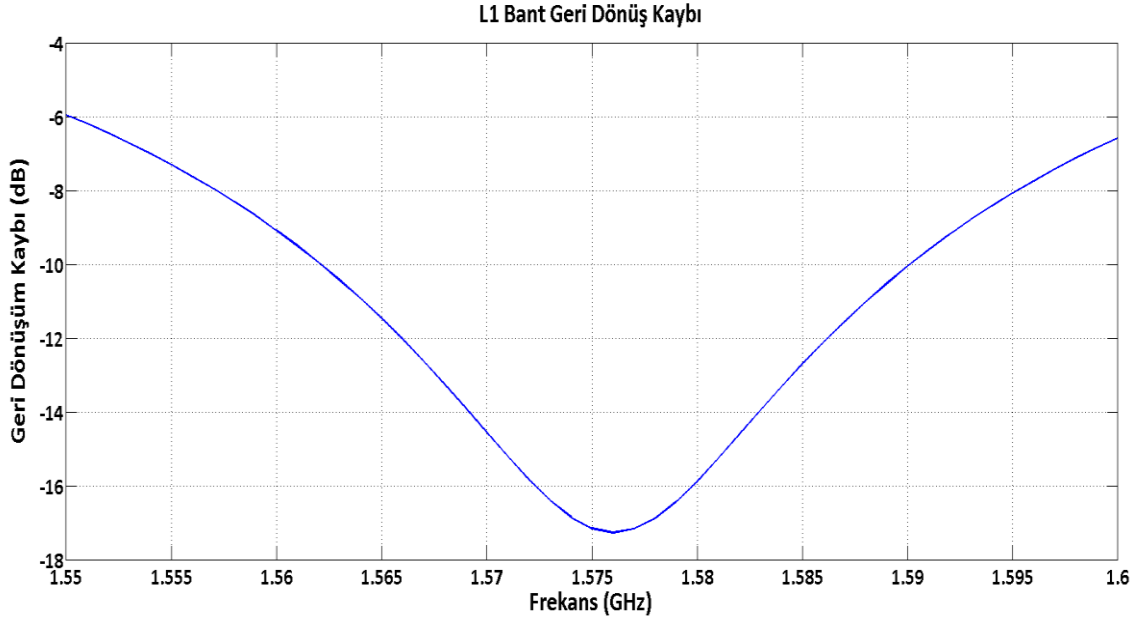
Şekil 3.30 L1; L2 bant elektrik alan ve J yüzey vektörleri grafiği

Şekil 3.30’da elektrik alan vektörlerinin yama antenin köşegen hattı boyunca sıfır olduğu görülmektedir. PIFA yapıda antenleri üretebilmek için toprak hattına kısa devre olacak hattın bir diğer ucunun elektrik alan vektörlerinin sıfır olduğu noktada olması gerekmektedir. Bu yüzden köşegen hattı boyunca toprak hattına kısa devre pinler yerleştirilmiştir. Şekil 3.31’den de görüldüğü gibi toprak uzunluğu (T) 70 mm’ye düşürülmüştür. FR4 alttaşı ile bölüm 3.3’de tasarlanan kare yama antenin yüzey alanı $7.5 \text{ cm} * 7.5 \text{ cm} = 56.25 \text{ cm}^2$ iken yine FR4 alttaşı ile fakat PIFA uygulaması ile tasarlanan üçgen yama antenin alanı $(7 \text{ cm} * 7 \text{ cm}) / 2 = 24.5 \text{ cm}^2$ ’dir. Bu şekilde toplamda %56.5 alan kazancı sağlanmıştır.

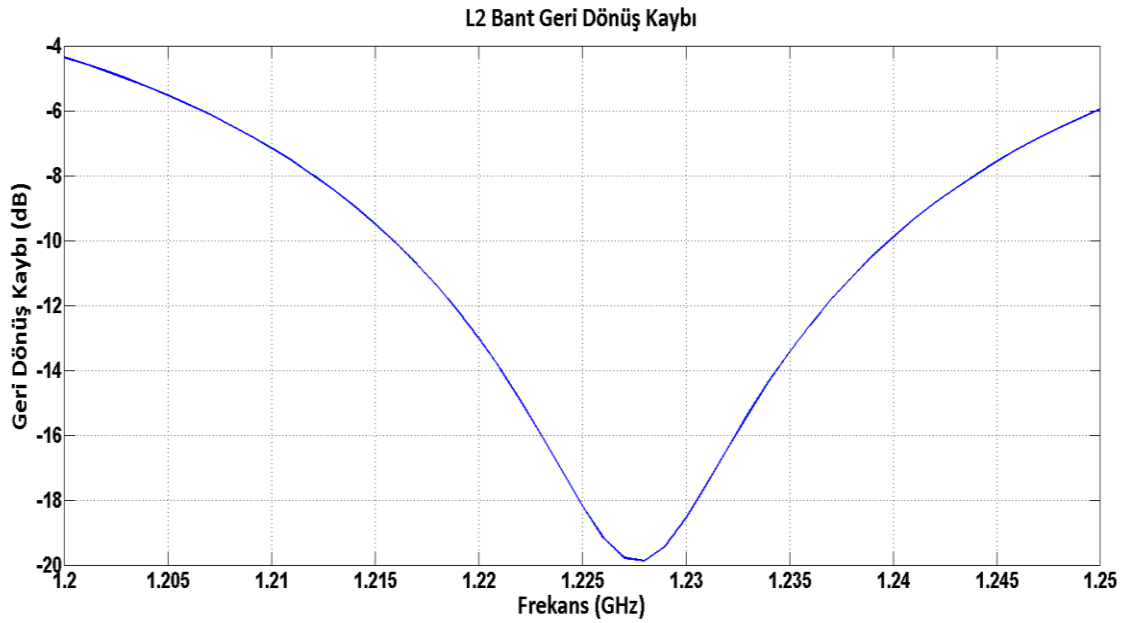


Şekil 3.31 L1; L2 bant elektrik alan ve J yüzey vektörleri grafiği ve (PIFA) anten yapısı

HFSS yardımı ile oluşturulan S11 grafikleri Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'deki gibidir. Çalışma bantlarında 10 dB yeterliliği sağladığı görülmektedir. Bant genişlikleri 25 MHz – 30 MHz aralığındadır.

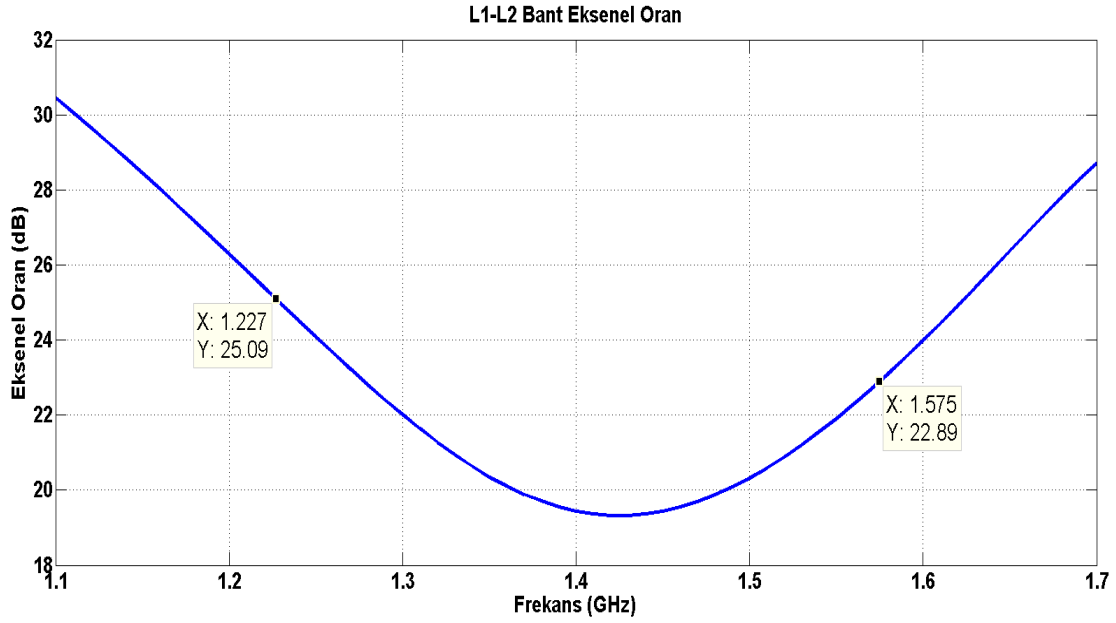


Şekil 3.32 L1 bant geri dönüş kaybı



Şekil 3.33 L2 bant geri dönüş kaybı

Geri dönüş kaybı değerleri gerekli isterleri sağlanmasına karşın aksel oran değerleri her iki bantta da Şekil 3.34’de de görüldüğü gibi 3 dB yeterliliği sağlayamamıştır. Bu durumu ortaya çıkaran nedenin, antenin üçgen yapısından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



Şekil 3.34 L1-L2 bant aksel oran

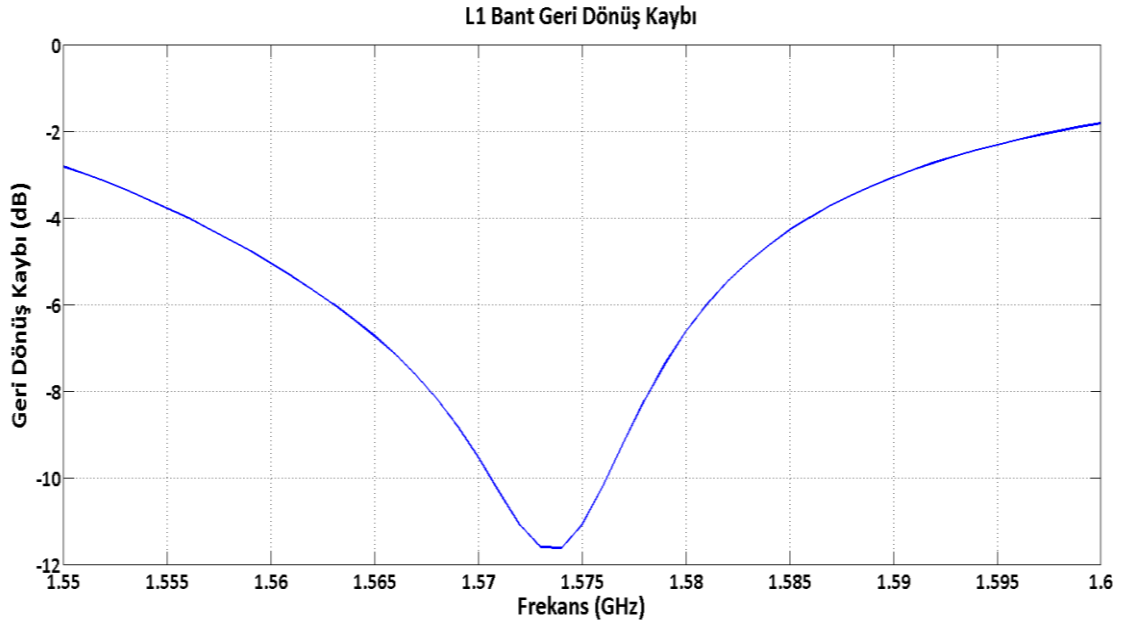
3.6 Dairesel Polarizasyonlu Tek Beslemeli Çift Bant Rogers RO3210 Alttaş Sahip Mikroşerit Anten

Bu alt bölümde anten boyutlarını küçültebilmek adına dielektrik sabiti daha yüksek olan Rogers 3210 alttaş kullanılmıştır. Bu sayede anten fiziksel boyutları minimize edilmiştir. Anten boyutları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

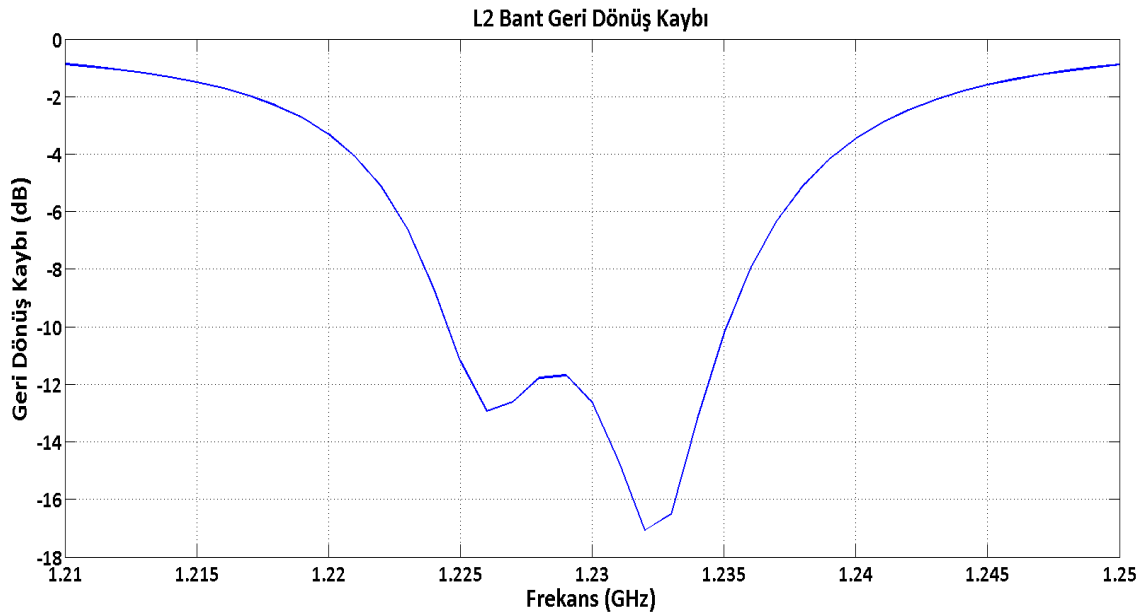
Çizelge 3.6 L1 bant ve L2 bant değişkenleri

Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L2 Bant)	36.4 mm
a_2	Üst Bant Kare Yama Anten Uzunluğu (L1 Bant)	36.4 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	50 mm
h_1	Materyal Kalınlığı (alt)	1.36 mm
h_2	Materyal Kalınlığı (üst)	1.36 mm
d	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	6.2 mm
l_2	L2 Bant köşe kesim uzunluğu	1.76 mm
l_1	L1 Bant köşe kesim uzunluğu	1.47 mm

HFSS yardımı ile oluşturulan S11 grafikleri Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'deki gibidir. Çalışma bantlarında 10 dB yeterliliği sağladığı görülmektedir. Bant genişlikleri FR4 alttaşı kullanılarak yapılan tasarıma göre daha düşüktür. Bu duruma Roger-3210 alttaşının yüksek dielektrik sabitine sahip olmasının ve görece bu tasarımda alttaş yüksekliklerinin daha az olmasının neden olduğu değerlendirilmiştir.

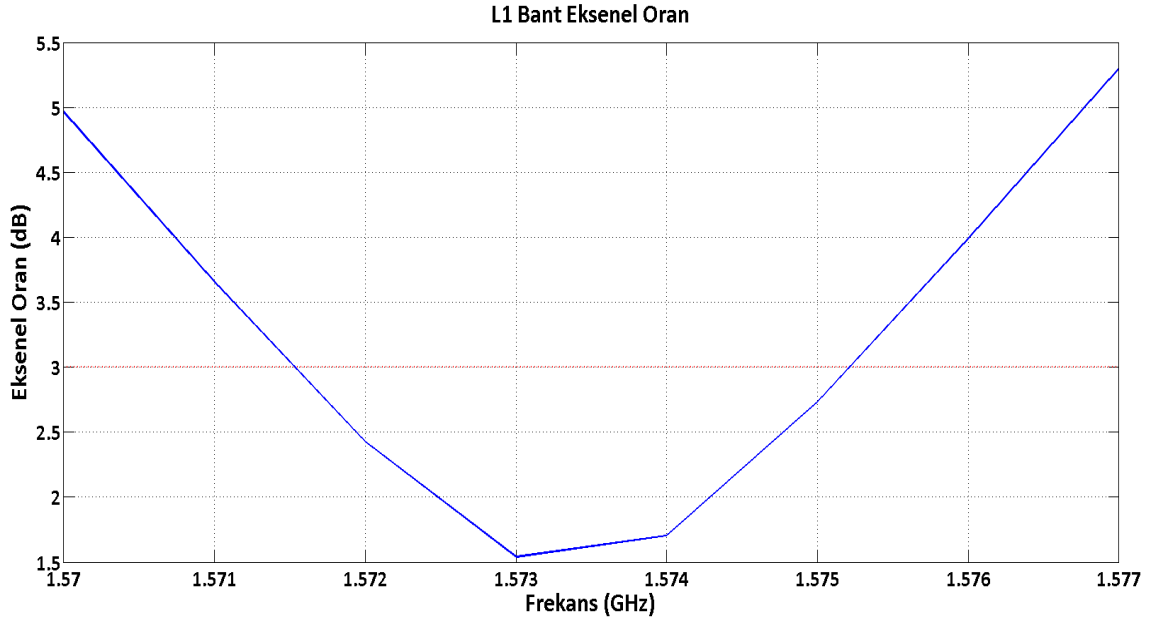


Şekil 3.35 L1 bant geri dönüş kaybı

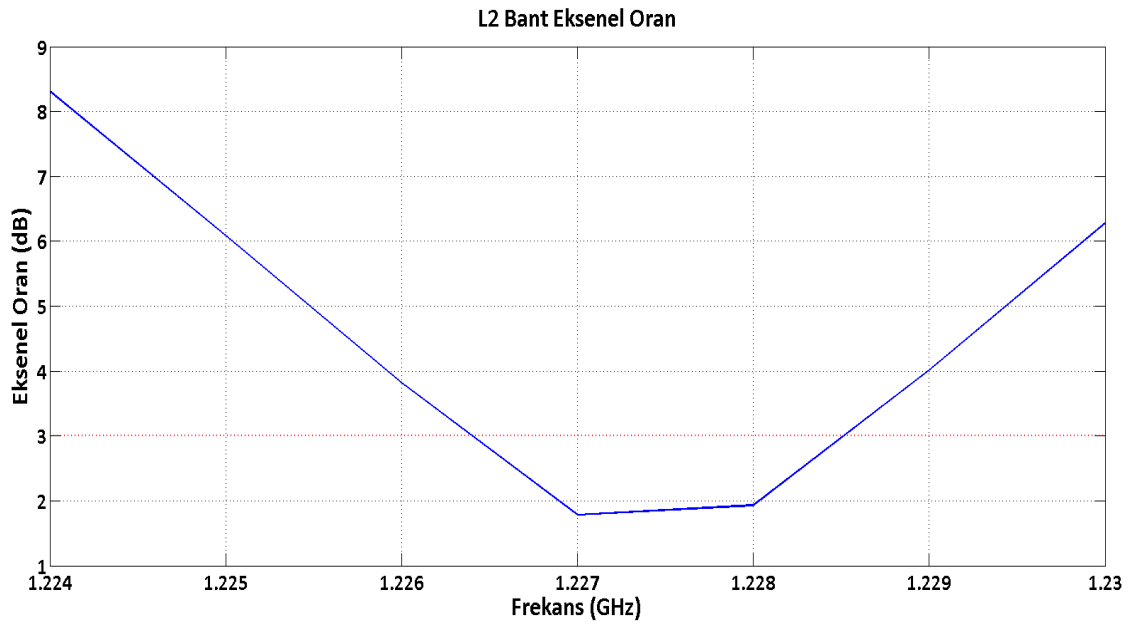


Şekil 3.36 L2 bant geri dönüş kaybı

Eksenel oran değerlerini de ilgili çalışma bantlarında 3 dB seviyesinin altında olduğu Şekil 3.37 ve Şekil 3.38’de görülmektedir. L1 ve L2 bantlarında sırasıyla 4 MHz ve 3 MHz bant genişliklerinin olduğu görülmektedir.



Şekil 3.37 L1 bant eksenel oran



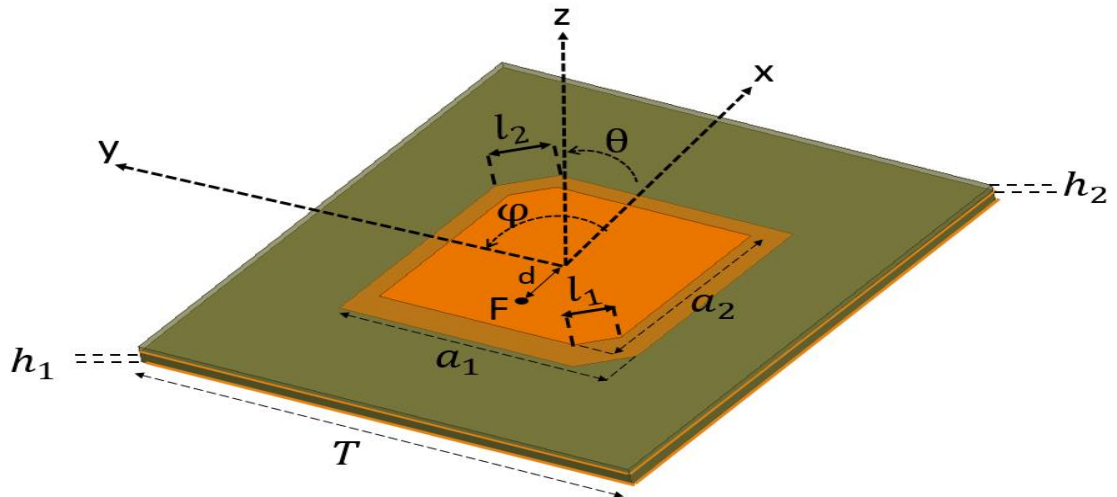
Şekil 3.38 L2 bant eksenel oran

4. PARAMETRİK BENZETİM ANALİZLERİ

Bu bölümde üzerinde çalışılan anten yapılarının parametrik analizleri yapılacak ve bu sonuçlar üzerinden değerlendirmeler yapılacaktır. Parametrik analizlerin hepsi HFSS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir konfigürasyonda geri dönüş kaybı (S11) ve eksenel oran üzerindeki etkiler incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan dielektrik materyal FR4 ($\epsilon_r = 4.4$, $h = 1.6\text{mm}$) malzemesi olmuştur. Bu malzemenin literatürde fazlaca kullanım örneği olması ve kolay erişilebilirliği bu tasarımda da başlıca kullanma sebebimizdir. Diğer anten parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 L1 bant ve L2 bant değişkenleri

Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L2 Bant)	56.9 mm
a_2	Üst Bant Kare Yama Anten Uzunluğu (L1 Bant)	46.4 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	75 mm
h_1	Materyal Kalınlığı(alt)	3.2mm
h_2	Materyal Kalınlığı (üst)	1.6mm
d	Besleme Noktasının Y Ekseninden Uzaklığı	17mm
l_2	L2 Bant köşe kesim uzunluğu	8mm
l_1	L1 Bant köşe kesim uzunluğu	6mm



Şekil 4.1 L2 bant ve L1 bant tasarım

Bu çizelgedeki anten parametrelerinin etkilerini analiz edebilmek ve daha doğru sonuçlar elde edebilmek için bir parametre değişirken diğer parametreler sabit tutulmuştur.

Kenar uzunluğu parametresinin çift bant anten yapısına etkisi, tek bant, köşe-kesim işlemi uygulanmamış tek bant antende yaptığı etki ile aynıdır. Bu tasarımda rezonans frekansından yama anten genişliği bulunurken birinci bölümde incelenen formül kullanılmıştır.

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (4.1)$$

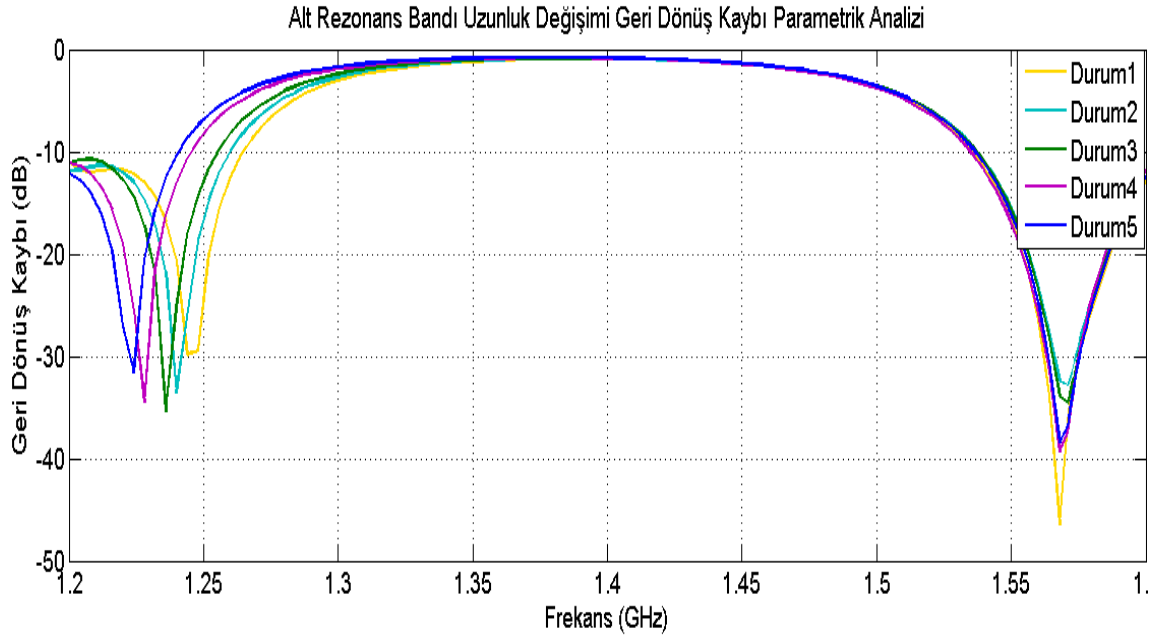
Bu formül kullanılarak yama anten genişliği 1227 MHz için 58.1 mm bulunmuştur. Köşe Kesim yöntemi uygulanmasından dolayı genişlik biraz daha küçülmüştür. Bu alt bölümde anten genişliğinin incelenmesi köşe kesim yöntemi uygulanmış anten üzerinde değerlendirilecektir. Kare Yama antenin uzunluk, köşe kesim uzunluğu ve besleme noktalarının değişimine göre HFSS programı yardımı ile analizler yapılmıştır. Bu analizlerden alınan sonuçlar MATLAB yazılımı ile grafikler haline dönüştürülmüştür.

4.1 Kenar Uzunluğu Etkisi

Bu bölümde anten genişliğinin etkisinin araştırılması, değişikliğin geri dönüş kaybı ve eksenel oran üzerindeki etkisi üzerinden yapılacaktır. Dairesel polarizasyona sahip olabilmek adına bu tasarımda anten uzunluğunun da genişliği ile aynı olması sağlanmıştır. Bu yüzden bu alt bölümde parametrik inceleme yapılırken kare yama anten uzunluğu farklı olacak şekilde değişiklikler yapılacaktır. Diğer parametreler ise sabit kalacaktır. Bu değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

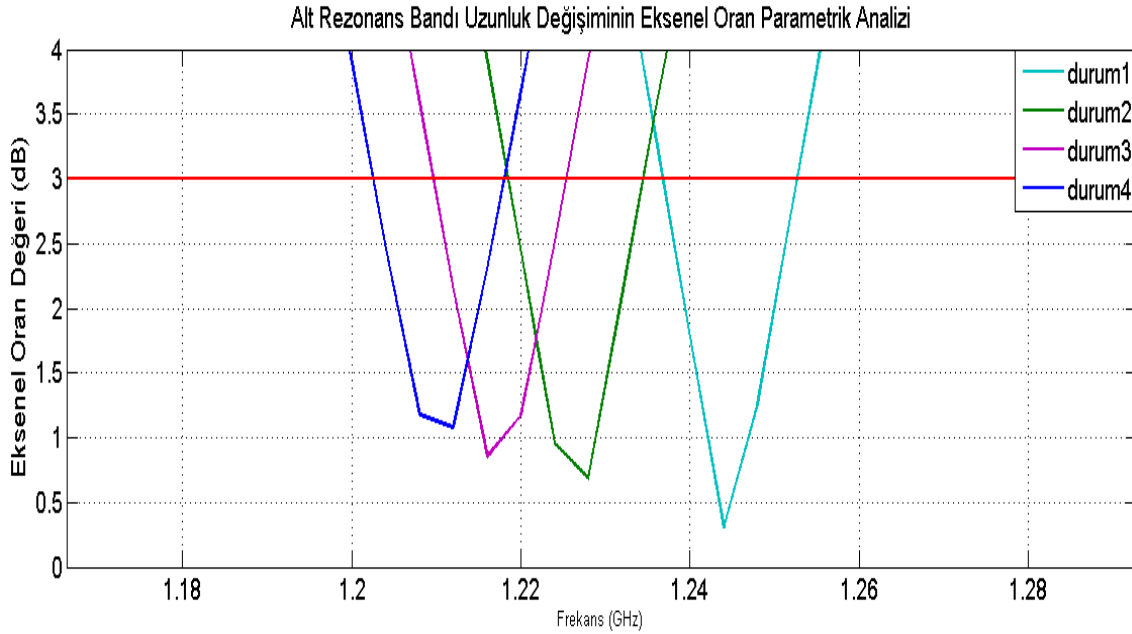
Çizelge 4.2 Alt yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi

Durum	a_1	a_2	h_1	h_2	d	l_2	l_1
1	56mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
2	56.3mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
3	56.6mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
4	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
5	57.2mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm



Şekil 4.2 Alt rezonans bandı uzunluk değişimi geri dönüş kaybı

Şekil 4.2 ve Şekil 4.4’de görüldüğü gibi alt kare ve üst kare yama anten kenar uzunluğu düştükçe rezonans frekansı artmıştır. Bu durum da konu başında bahsedilen Denklem 4.1’i doğrular niteliktedir.



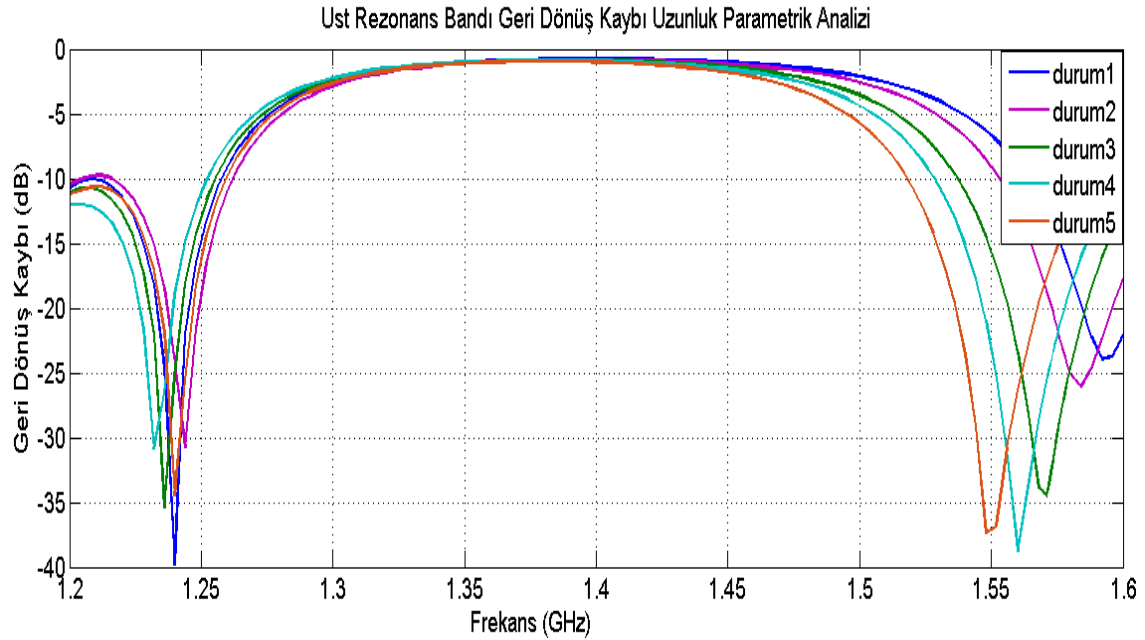
Şekil 4.3 Alt rezonans bandı uzunluk değişimi eksenel oran

Aynı zamanda Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi aksel oranda da aynı ters orantı kurulmuştur. Çünkü, üçüncü bölümde de anlatıldığı gibi uzunluk parametresi rezonans frekansını değiştirdiği için ilgili formüllerden aksel oranın minimum olduğu frekans değeri de değişmektedir.

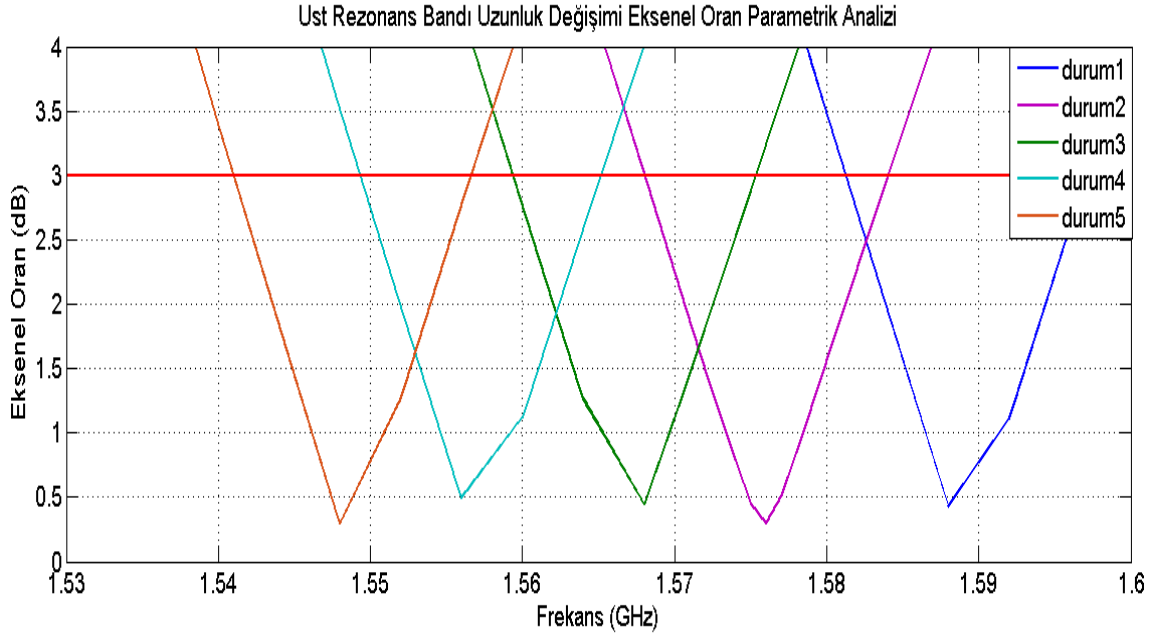
Üst kare yama antenin uzunluk değişimine göre yapılan analizlerde Çizelge 4.3'deki değerler kullanılmıştır. Analiz yapılırken antenin üst kare yama anteni uzunluğu değeri dışındaki tüm parametreleri sabit tutulmuştur. Bu analizler sonucu aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 Üst yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi

Durum	a_1	a_2	h_1	h_2	d	l_2	l_1
1	56.9mm	46.1 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
2	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
3	56.9mm	46.7 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
4	56.9mm	47 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
5	56.9mm	47.3 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm



Şekil 4.4 Üst rezonans bandı uzunluk değişimi geri dönüş kaybı



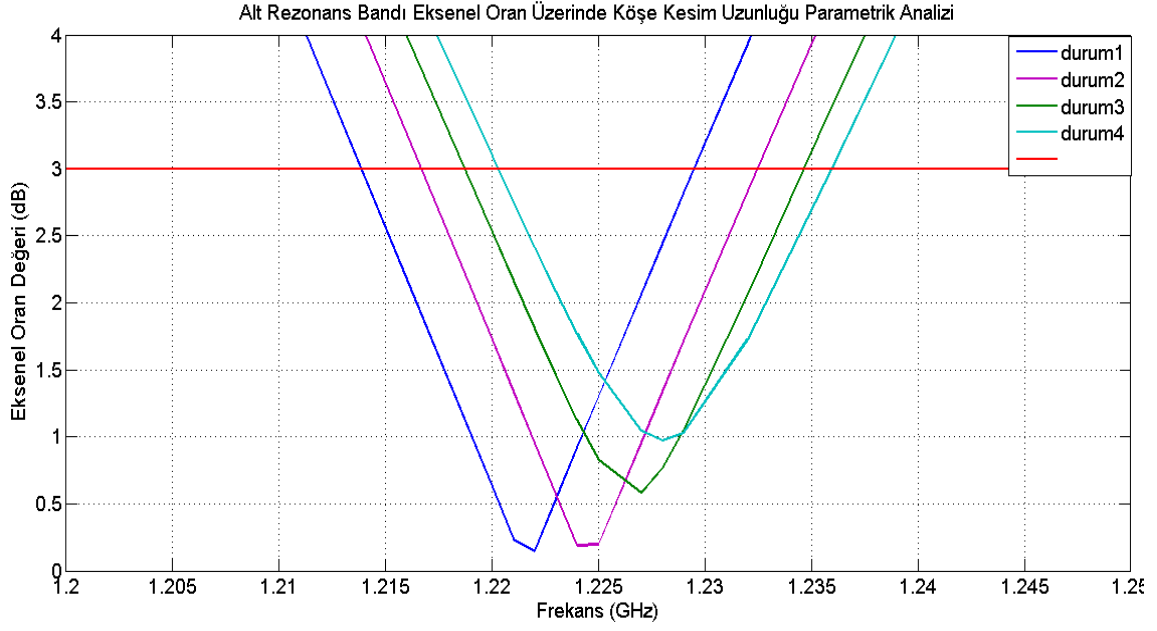
Şekil 4.5 Üst rezonans bandı uzunluk değişimi eksenel oran

4.2 Köşe Kesim Uzunlukları Etkisi

Bu bölümde kare yama antenin her iki bantta da dairesel polarizasyona sahip olabilmesi için gerekli her iki katmana da uygulanan köşe kesim yönteminin etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda alt bant ve üst bant kare yama antenler üzerinde iki ayrı değişken üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Alt bant analizleri yapılırken Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5 durum tabloları kullanılmıştır.

Çizelge 4.4 Alt yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi

Durum	a_1	a_2	h_1	h_2	d	l_2	l_1
1	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	7.6mm	6mm
2	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	7.8mm	6mm
3	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8.2mm	6mm
4	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8.4mm	6mm

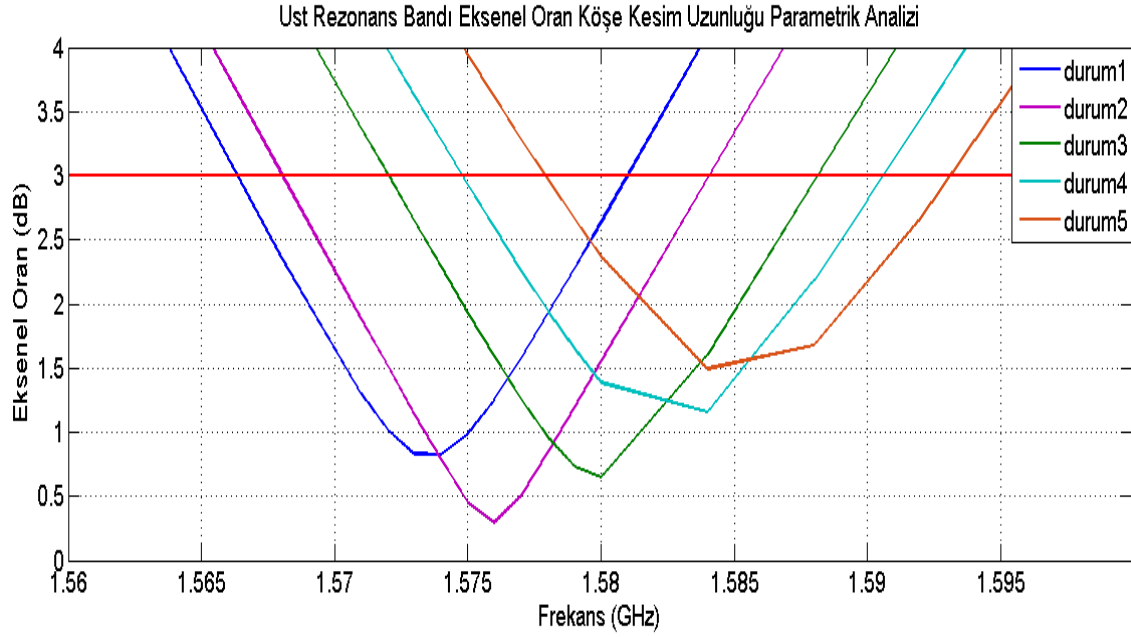


Şekil 4.6 Alt rezonans bandı köşe kesim uzunluk değişimi eksenel oran

Üst bant analizleri yapılırken de Çizelge 4.5 kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 Üst yama anten kenar uzunluğu parametrik analiz çizelgesi

Durum	a_1	a_2	h_1	h_2	d	l_2	l_1
1	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	5.6mm
2	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
3	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6.2mm
4	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6.4mm
5	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6.6mm



Şekil 4.7 Üst rezonans bandı köşe kesim uzunluk değişimi eksenel oran

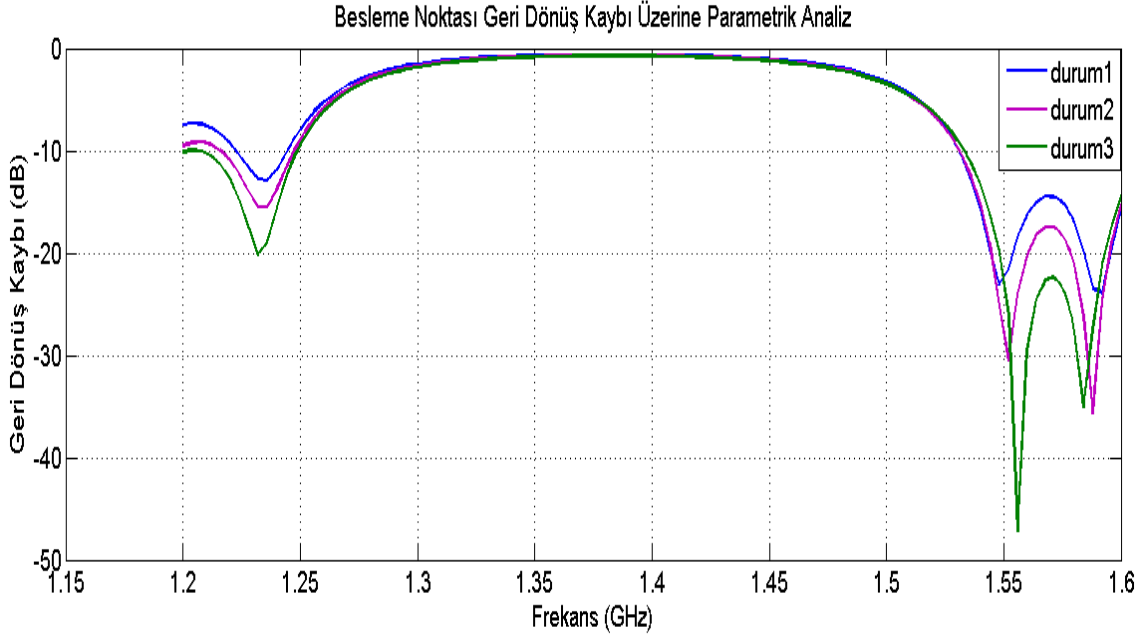
Bölüm 3'te ispatlandığı ve Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de de görüldüğü gibi sadece köşe kesim uzunluğu değiştirilerek istenilen eksenel oranı yakalamak mümkün olmamaktadır. Köşe kesim uzunluğu artırıldığında yama anten uzunluğu kendi uzunluğuna görece daha az küçülmesine rağmen bu küçülmenin etkisi ile rezonans frekansında artış görülmüştür. Bu veriler ışığında köşe kesim yönteminin tam olarak uygulanabilmesi için kare yama anten uzunluğu ile hesaplanan değerlere uyumlandırılarak kullanılması gerekmekte olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

4.3 Besleme Noktası Etkisi

Bu bölümde alt ve üst kare yama antenlerin besleme noktalarının geri dönüş kaybı üzerindeki etkileri incelenmiştir. İnceleme yapılırken besleme noktası yeri dışında diğer bütün anten parametreleri aynı tutulmuştur. Bu sayede sadece besleme noktasının etkisi detaylı olarak incelenebilmiştir. Çizelge 4.6'da değişkenlerin çizelgesi, Şekil 4.8'de de geri dönüş kaybı grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.6 Yama anten besleme noktası lokasyonu parametrik analiz çizelgesi

Durum	a_1	a_2	h_1	h_2	d	l_2	l_1
1	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	13mm	8mm	6mm
2	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	14mm	8mm	6mm
3	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	15mm	8mm	6mm



Şekil 4.8 Alt ve üst rezonans bantı uzunluk değişimi geri dönüş kaybı

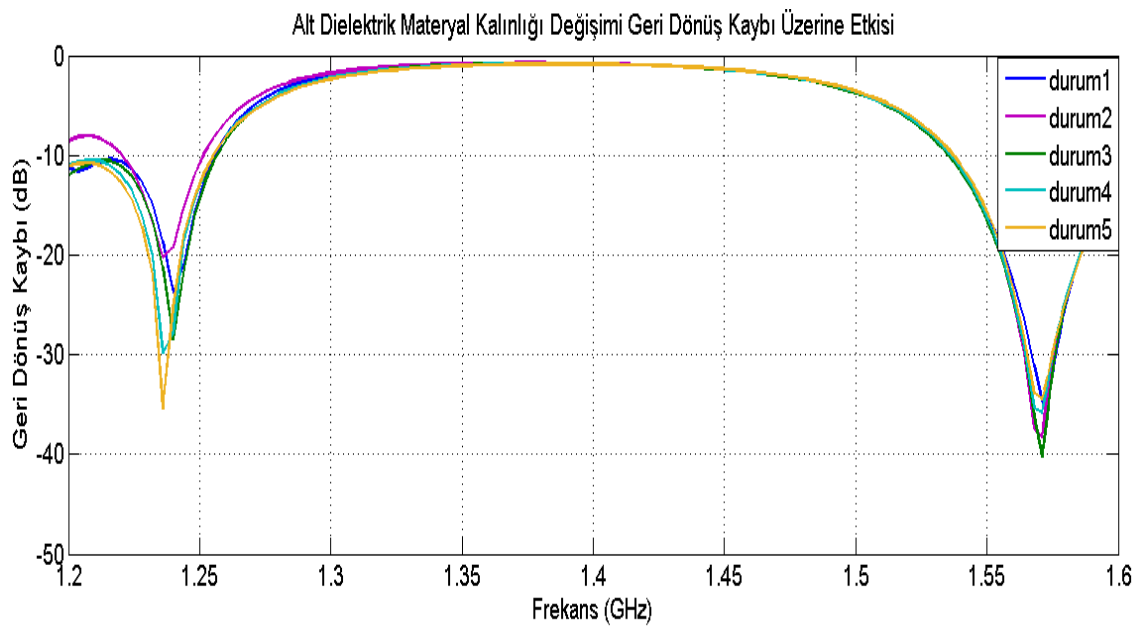
Şekil 4.8'den de anlaşılacağı üzere besleme noktasının değişimi rezonans frekansında bir değişime neden olmamakla birlikte değiştirildiğinde giriş empedansı değiştiği için geri dönüş kaybının değerinde büyük değişimlere neden olmaktadır.

4.4 Dielektrik Alttaş Kalınlığı Değişimi Etkisi

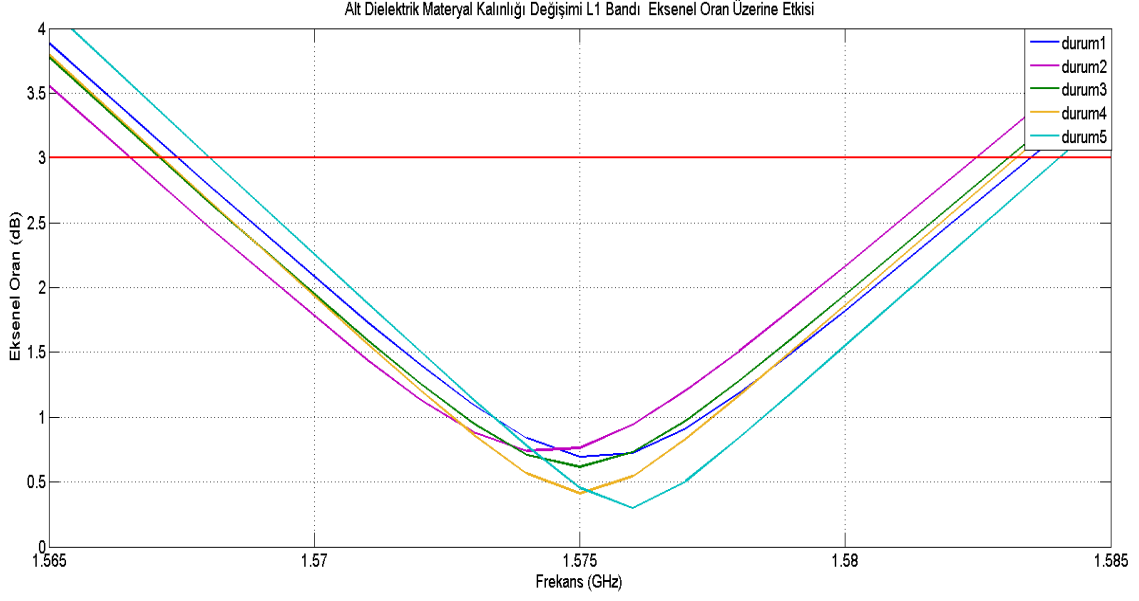
Bu bölümde alt ve üst dielektrik katman kalınlık değişiminin her iki bant için geri dönüş kaybı, eksenel oran parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sırasında materyal kalınlıkları hariç diğer anten parametreleri sabit tutulmuştur. Alt dielektrik materyal için Çizelge 4.7'de, üst alttaş için de Çizelge 4.8 değişkenlerin çizelgesi verilmiştir.

Çizelge 4.7 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi parametrik analiz çizelgesi

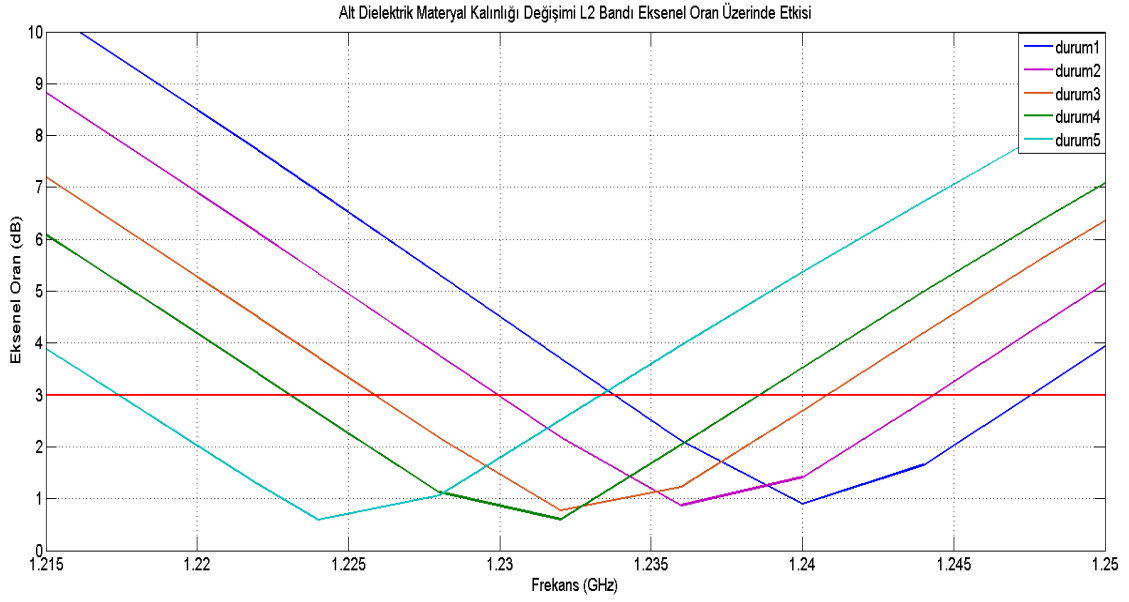
Durum	a_1	a_2	h_1	h_2	d	l_2	l_1
1	56.9mm	46.4 mm	2.4mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
2	56.9mm	46.4 mm	2.6mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
3	56.9mm	46.4 mm	2.8mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
4	56.9mm	46.4 mm	3mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
5	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm



Şekil 4.9 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi geri dönüş kaybı



Şekil 4.10 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi L1 bandı eksenel oran



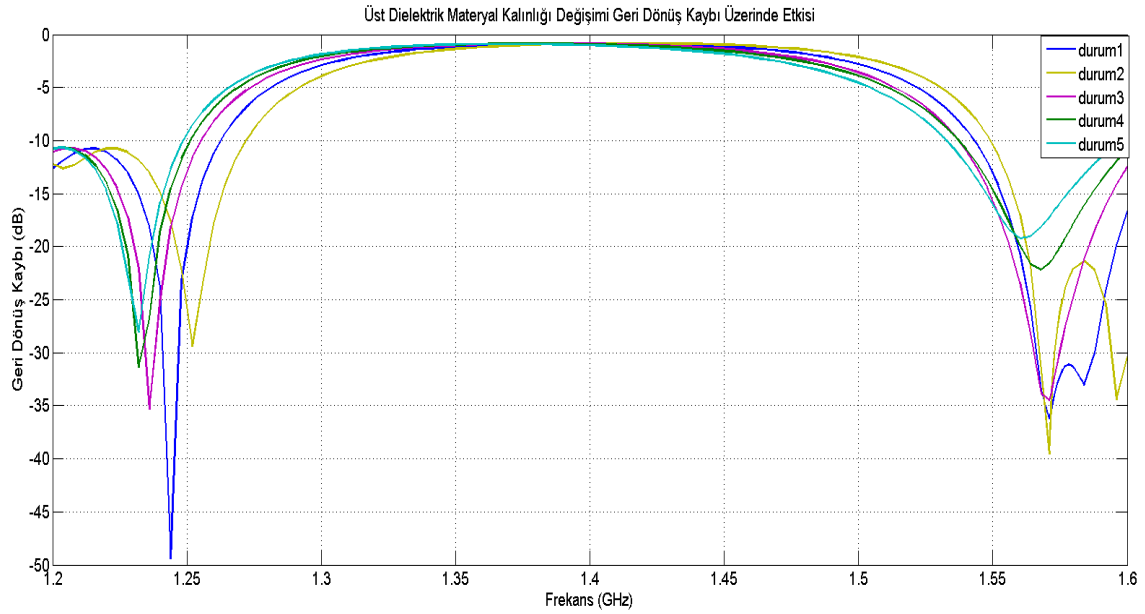
Şekil 4.11 Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi L2 bandı eksenel oran

Alt dielektrik materyal kalınlık değişimi neticesinde Şekil 4.9'dan L1 bandı çevresinde geri dönüş kaybı değeri değişiminin minimal düzeyde, L2 bandı çevresinde ise 20 dB seviyelerinde fark ettiği gözlenmiştir.

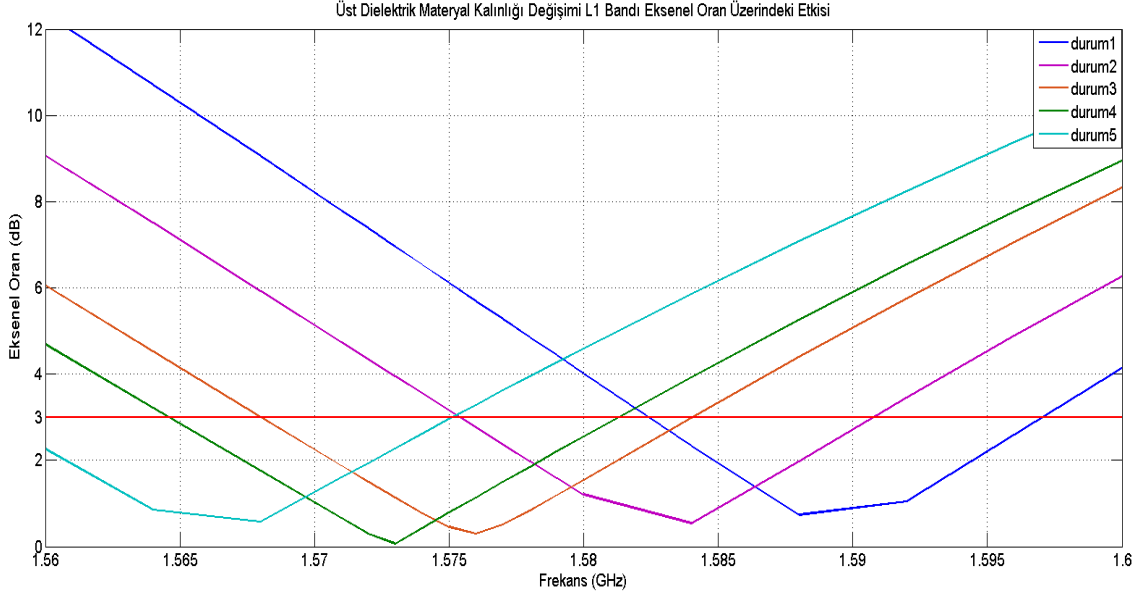
Eksenel oran parametre analizi ise iki bant için ayrı ayrı ele alınmıştır. Şekil 4.10’da görüldüğü gibi geri dönüş kaybı parametresinde L1 bandı çevresinde eksenel oran değeri ve elde edilen rezonans frekanslarının minimal düzeyde değiştiği gözlenmiştir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi, L2 bandı çevresinde ise alt dielektrik materyal kalınlığı arttıkça eksenel oran rezonans frekansının düştüğü gözlenmiştir. Eksenel oran bant genişliklerinin ise 3 dB limiti altında aynı kaldığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.8 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi parametrik analiz çizelgesi

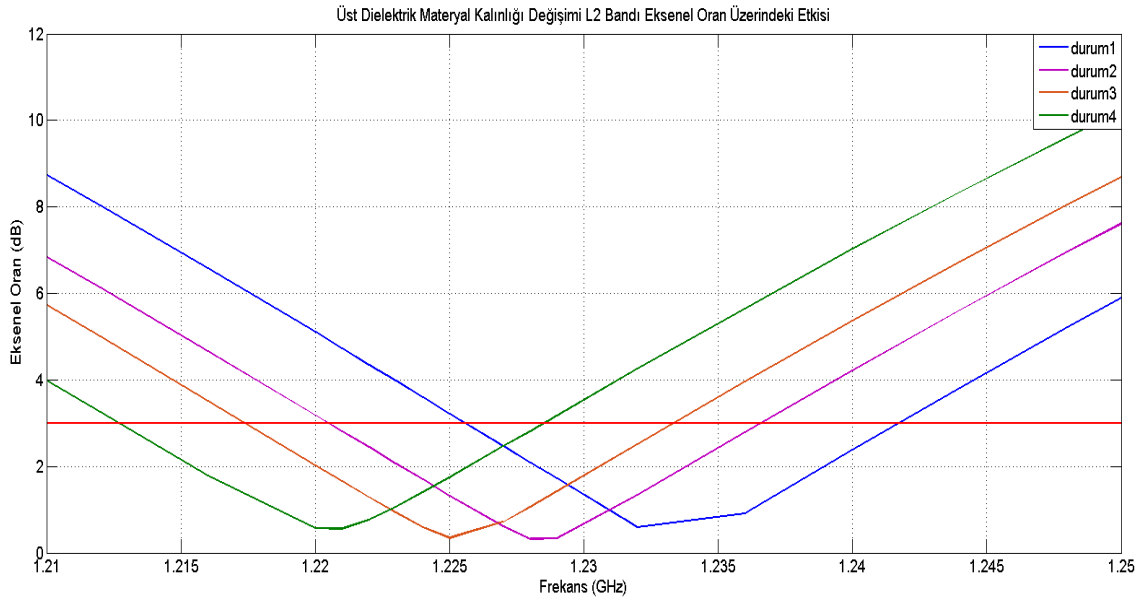
Durum	a_1	a_2	h_1	h_2	d	l_2	l_1
1	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.2mm	17mm	8mm	6mm
2	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.4mm	17mm	8mm	6mm
3	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.6mm	17mm	8mm	6mm
4	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	1.8mm	17mm	8mm	6mm
5	56.9mm	46.4 mm	3.2mm	2mm	17mm	8mm	6mm



Şekil 4.12 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi geri dönüş kaybı



Şekil 4.13 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi L1 bandı eksenel oran



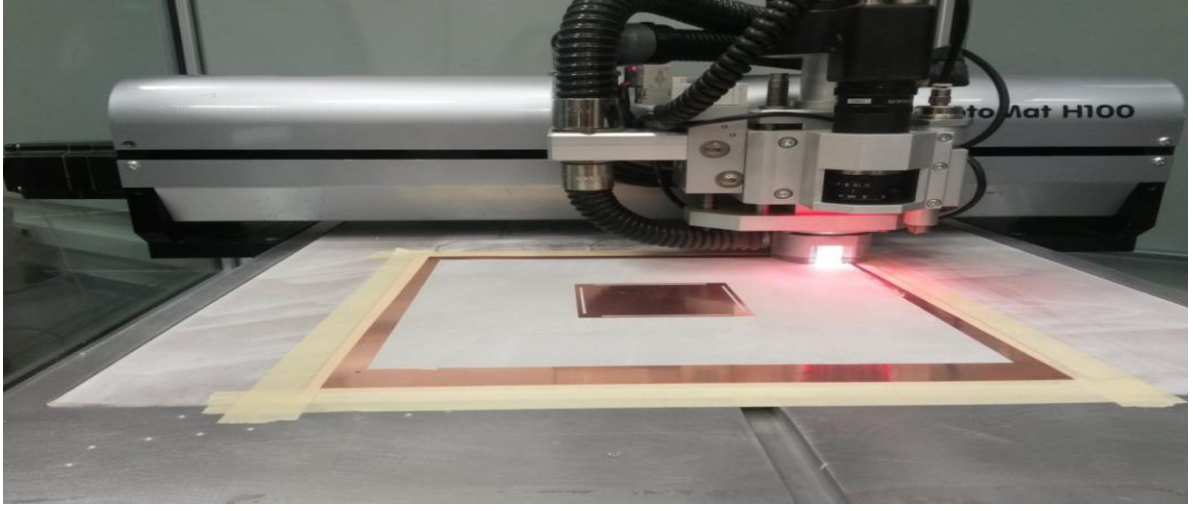
Şekil 4.14 Üst dielektrik materyal kalınlık değişimi L2 bandı eksenel oran

Üst dielektrik materyal kalınlığı değişimi neticesinde Şekil 4.12'den L1 ve L2 frekansları için geri dönüş kaybı değerlerinin en yüksek düzeyde değiştiği gözlenmiştir. Aynı şekilde Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'den de görüldüğü gibi eksenel oran rezonans frekanslarının, dielektrik materyal kalınlığı arttıkça düştüğü gözlenmiştir.

5. ÜRETİLEN ANTEN SONUÇLARI

5.1 FR4 Alttaşı Kullanılarak Üretilen Anten Sonuçları

Tez kapsamında Bölüm 3'te tasarımı yapılan antenin Bölüm 4'te de çeşitli parametrik analizleri yapılmıştır. Bu bölümde de FR4 alttaşı ile üretimi yapılan anten üzerinde durulacaktır. Bu anten ASELSAN şirketi bünyesinde bulunan ekipmanlarla üretilmiştir. Anten fiziksel olarak Şekil 5.1'de gösterilen LPKF Protomat H100PCB makinesi tarafından oluşturulmuştur. Ara katmanlarda FR4 alttaşı kullanılmıştır.



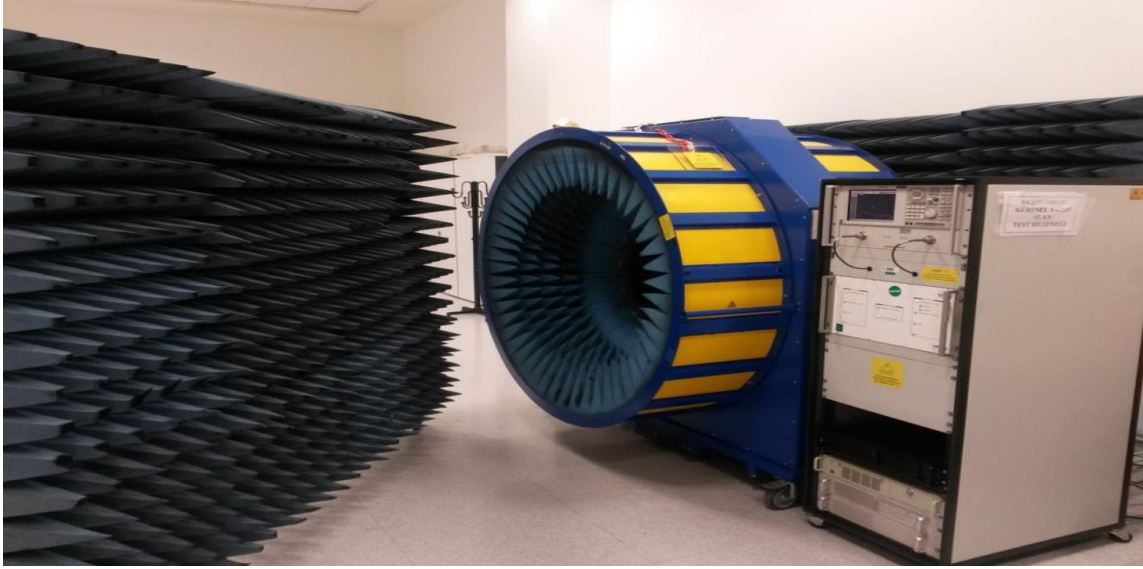
Şekil 5.1 LPKF protomat H100PCB

Üretimi yapılan antenin fiziksel uzunlukları Çizelge 5.1'deki gibidir.

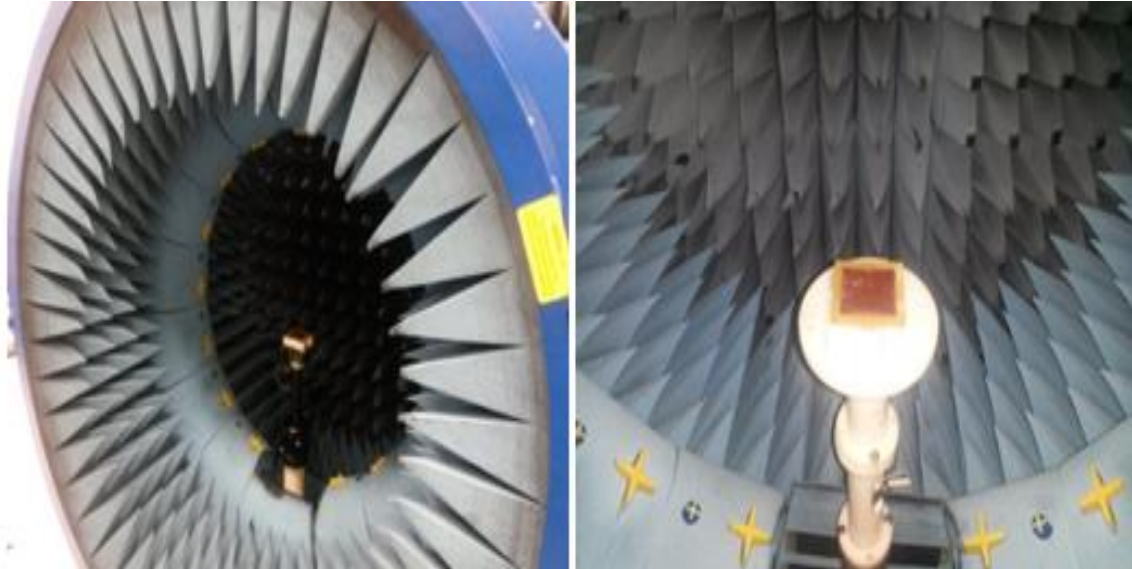
Çizelge 5.1 FR4 alttaşı ile üretim anten L1 bant ve L2 bant değerleri

Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L2 Bant)	56.9 mm
a_2	Üst Bant Kare Yama Anten Uzunluğu (L1 Bant)	46.4 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	75 mm
h_1	Materyal Kalınlığı (alt)	3.2mm
h_2	Materyal Kalınlığı (üst)	1.6mm
d	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	14mm
l_2	L2 Bant köşe kesim uzunluğu	8mm
l_1	L1 Bant köşe kesim uzunluğu	6mm

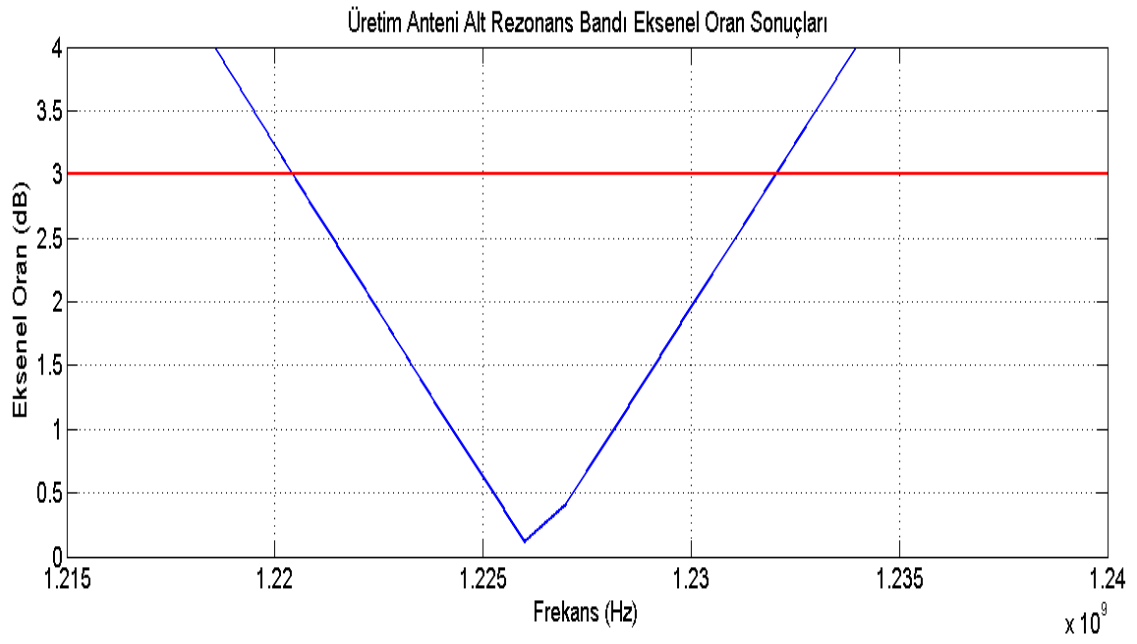
Bu çizelgedeki uzunluklara göre üretimi yapılan antenden elde edilen sonuçlar Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te yapısı gösterilen SATIMO Starlab Spherical Nearfield Measurement System ekipmanı kullanılarak alınmıştır. MATLAB programı yardımı ile elde edilen sonuçlar Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de incelenmiştir.



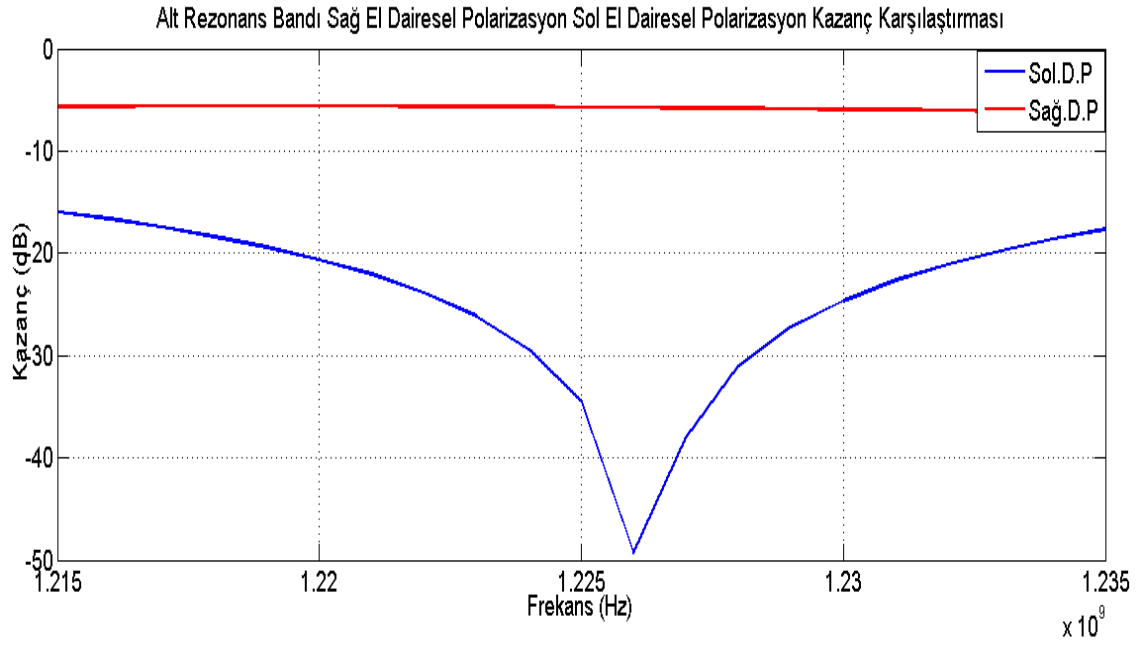
Şekil 5.2 SATIMO yakın alan test düzeneği



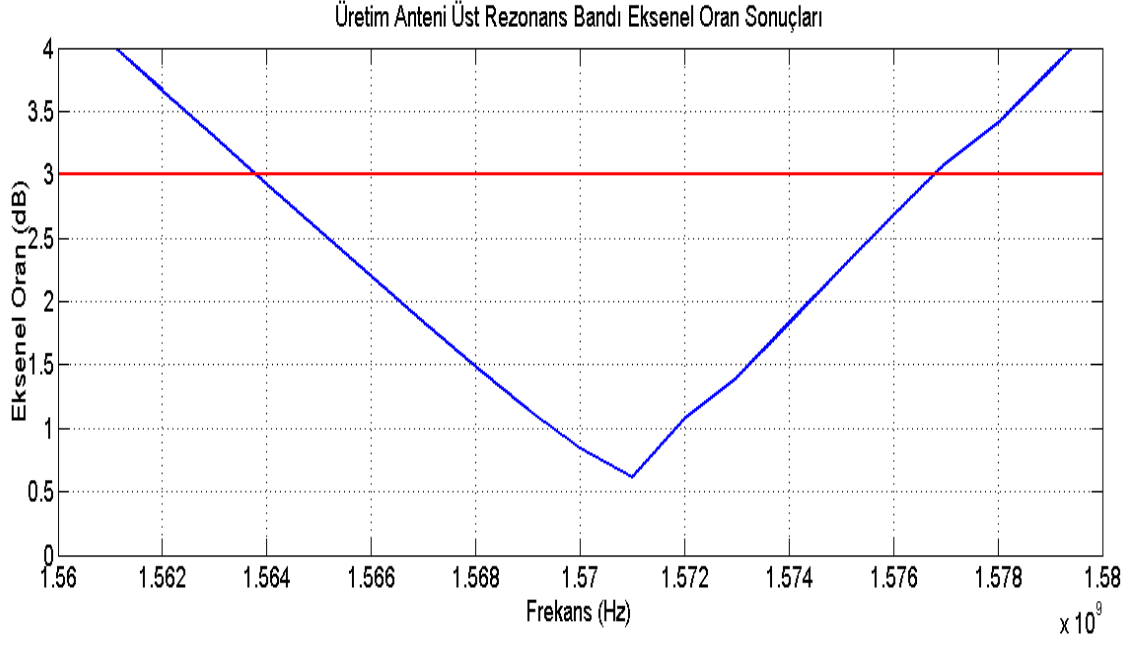
Şekil 5.3 SATIMO anten yerleşimi



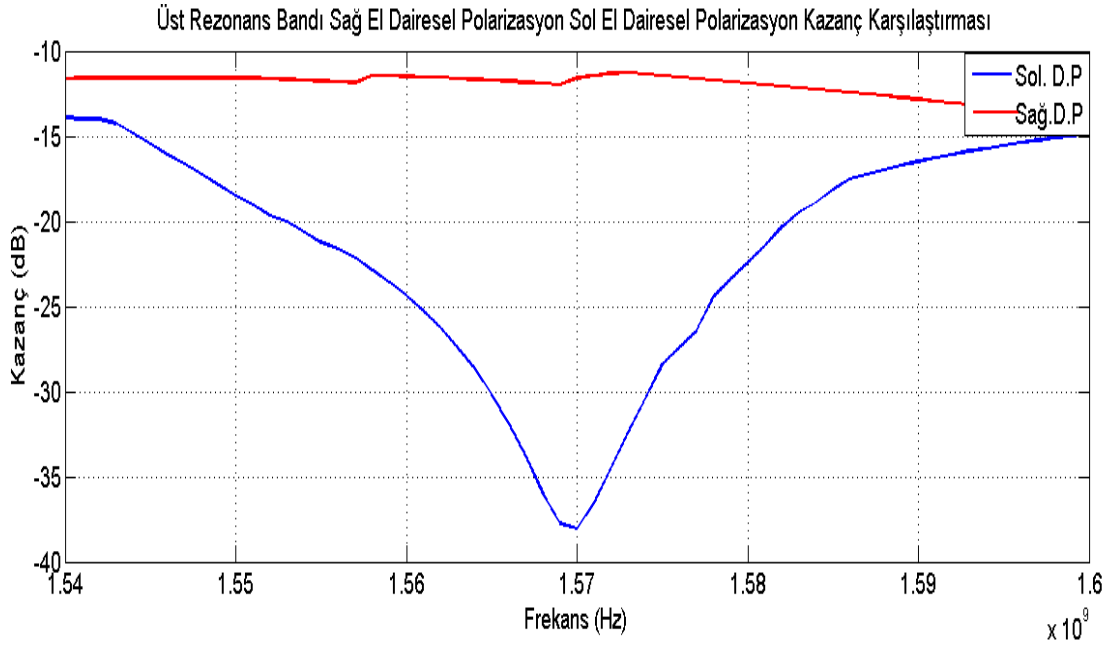
Şekil 5.4 Üretilen antenin alt rezonans bandı ölçülen eksenel oranı



Şekil 5.5 Üretilen antenin alt rezonans bandı dairesel polarizasyon karşılaştırması (SAEDP- SOEDP)



Şekil 5.6 Üretilen antenin üst rezonans bandı eksenel oran



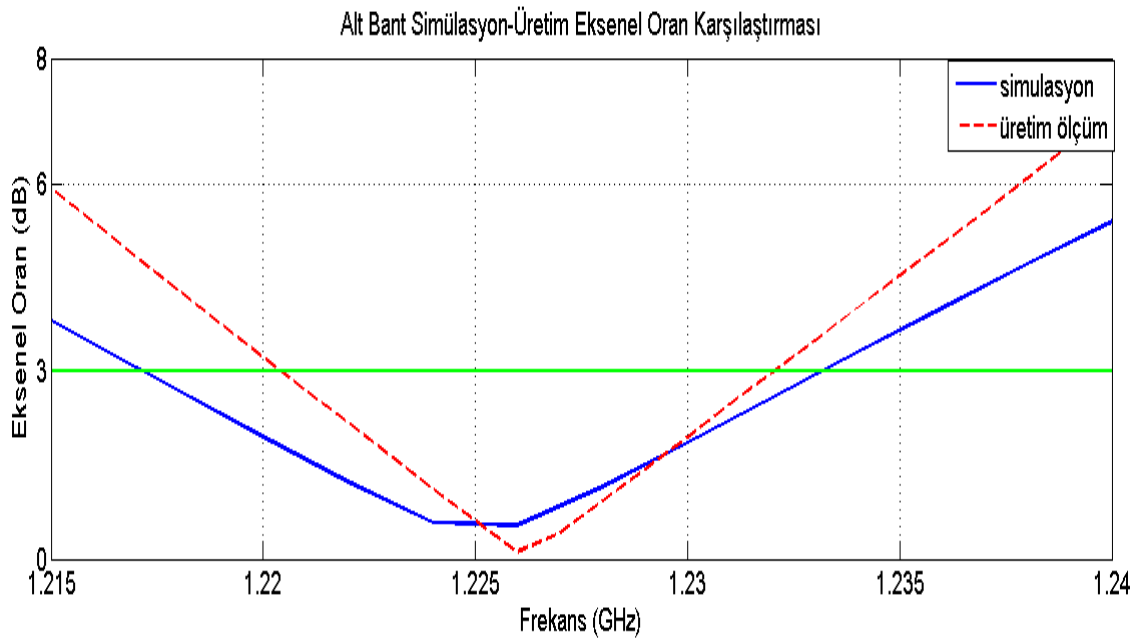
Şekil 5.7 Üretilen antenin üst rezonans bandı dairesel polarizasyon karşılaştırması

(SAEDP - SOEDP)

Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü gibi alt çalışma bandında 10 MHz Bant genişliğinden fazla 3 dB eksenel oranı yakalanmıştır. Alt bant rezonans frekansında 2 MHz lik bir kayma,

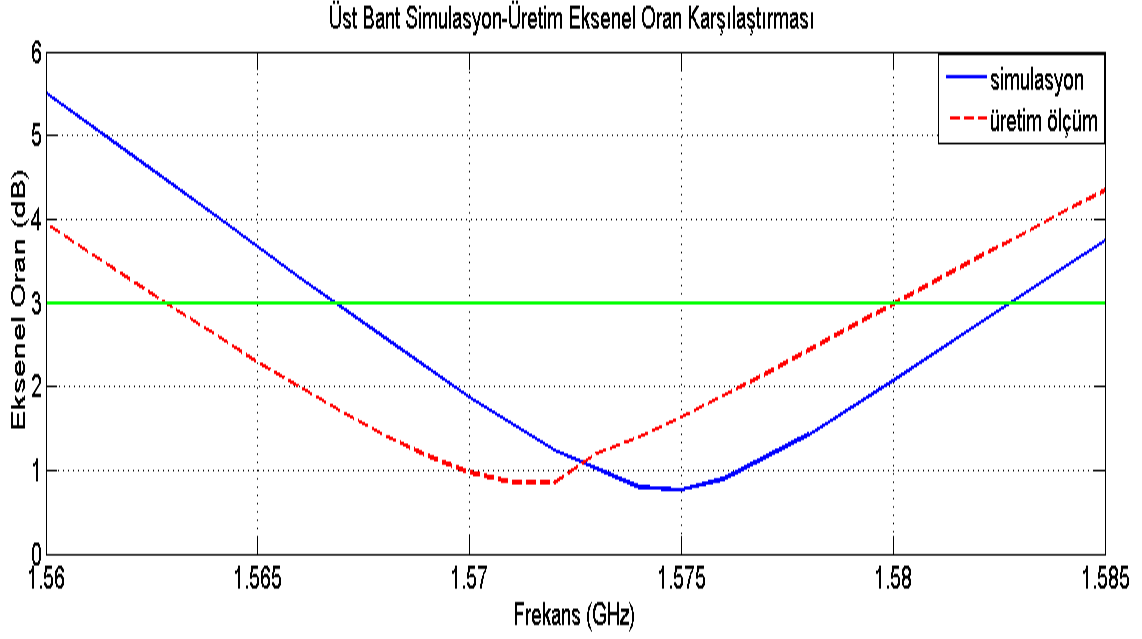
üst bant rezonans frekansında da 5 MHz lik bir kayma söz konusudur. Bu kaymanın nedeninin üretimsel tolerans değerleri olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda bir anten ne kadar iyi bir SOEDP'ye sahip ise ilgili frekans bandında o kadar kötü bir SAEDP'ya sahip olmalıdır. Bu durum da hem alt hem de üst bant için ikinci grafiklerde açıkça görülebilmektedir.

HFSS benzetimleri elde edilen sonuçlar ile üretimi yapılan antenden SATIMO yardımı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu elde edilen grafikler verilmiştir.



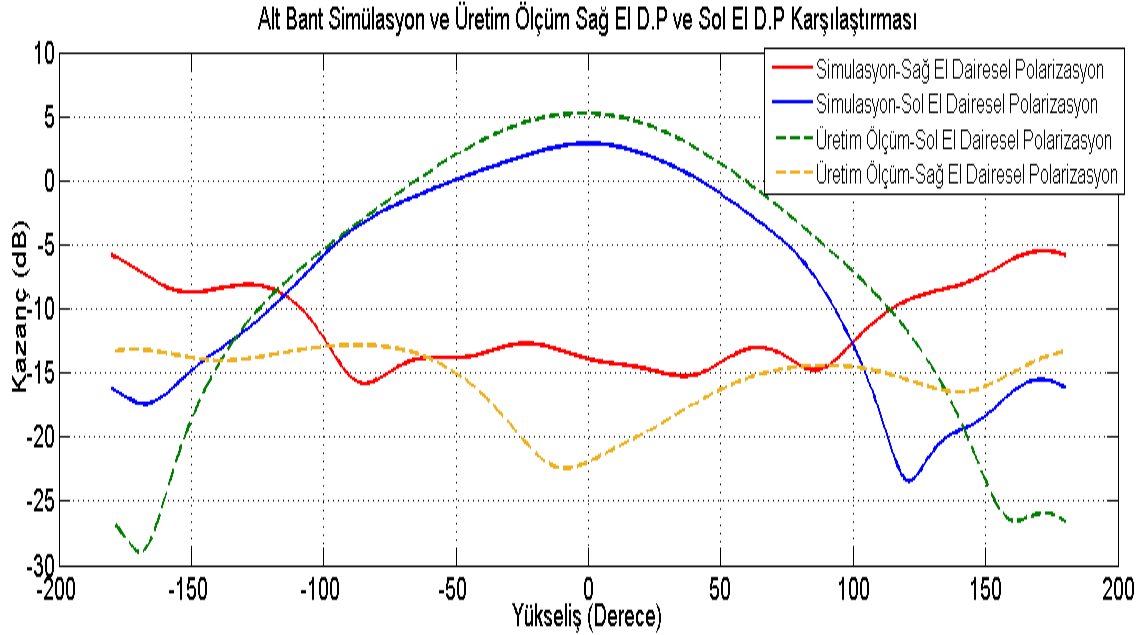
Şekil 5.8 Alt bant benzetim-üretim eksenel oran karşılaştırması

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da görüldüğü gibi üretimi yapılan anten ile benzetim anteni arasında her iki bantta da bir uyum yakalanmıştır. Alt bant için 3-4 MHz üst bant için ise 4-5 MHz fark oluşmuştur. Bu farklılığa, dielektrik malzeme toleransı, ya da kart kesim yapılırken oluşabilecek üretim toleranslarının neden olabileceği değerlendirilmiştir.

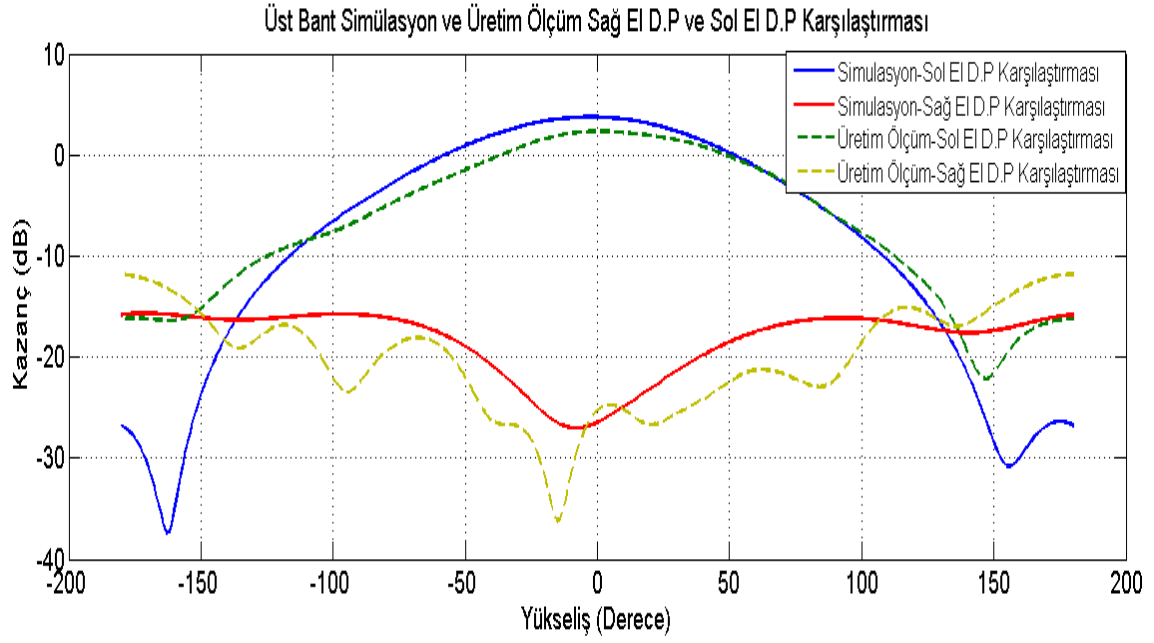


Şekil 5.9 Üst bant benzetim-üretim eksenel oran karşılaştırması

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de alt ve üst bantlar için sol el dairesel polarizasyon ile sağ el dairesel polarizasyon arasında üretim ölçümü ve benzetim sonuçları arasında da karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçları sonrasında üretim ölçümleri ile benzetim sonuçları arasında güzel bir uyum olduğu sonucuna varılmıştır.

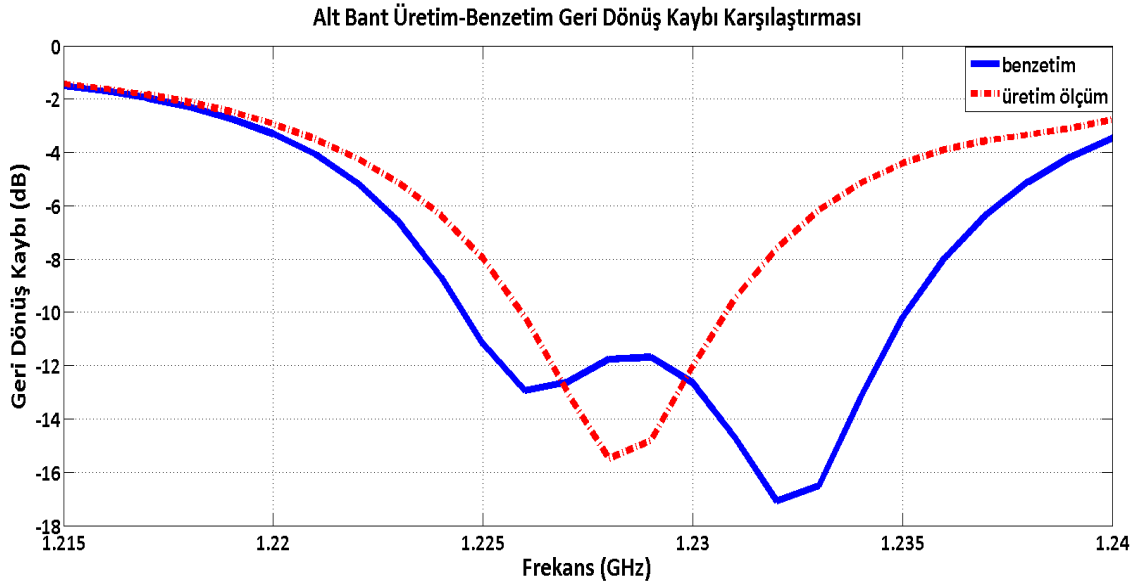


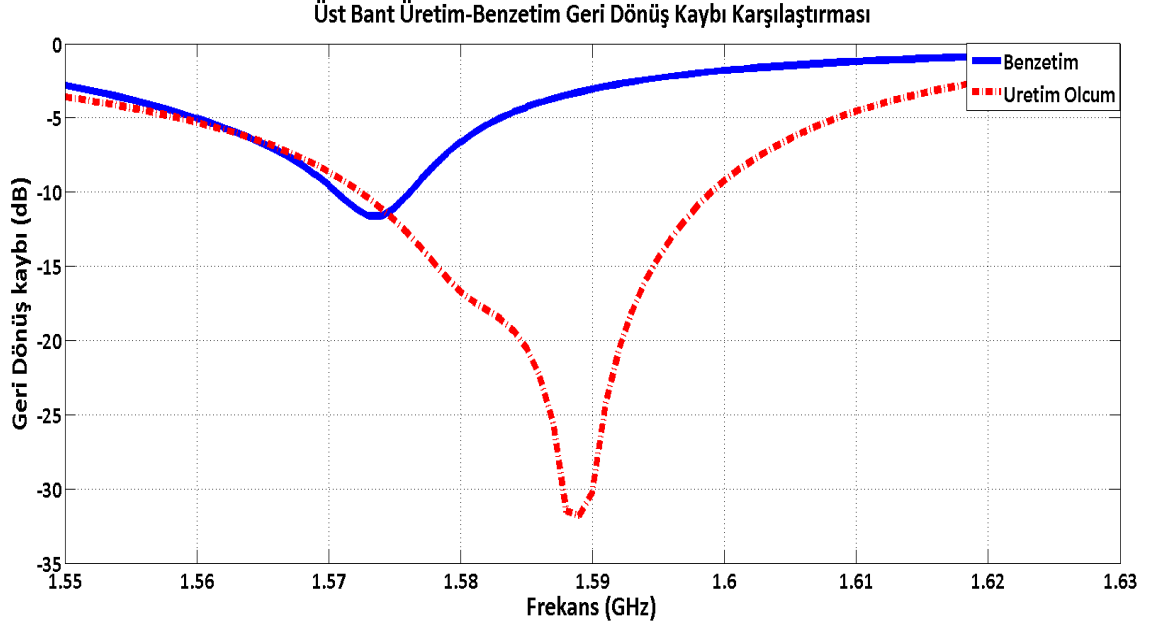
Şekil 5.10 Alt bant benzetim ve üretim ölçüm SAEDP ve SOEDP karşılaştırması



5.2 Rogers-3210 Alttaşı Kullanılarak Üretilen Anten Sonuçları

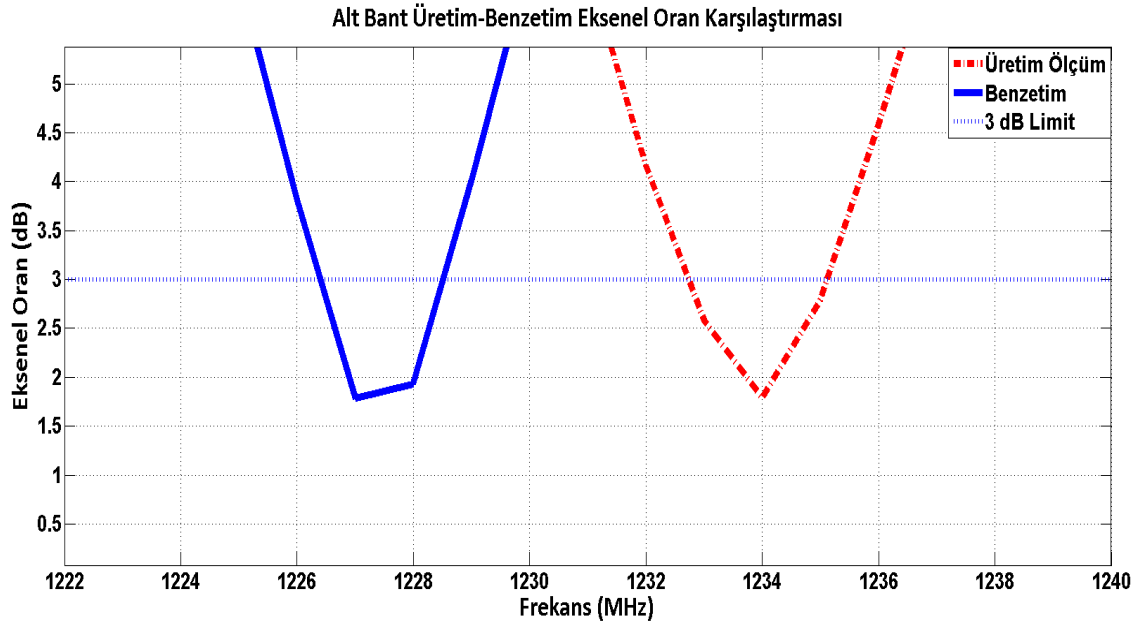
Bu bölümde Rogers-3210 alttaşı ile üretilen antenin üretim sonuçlarına yer verilecektir.



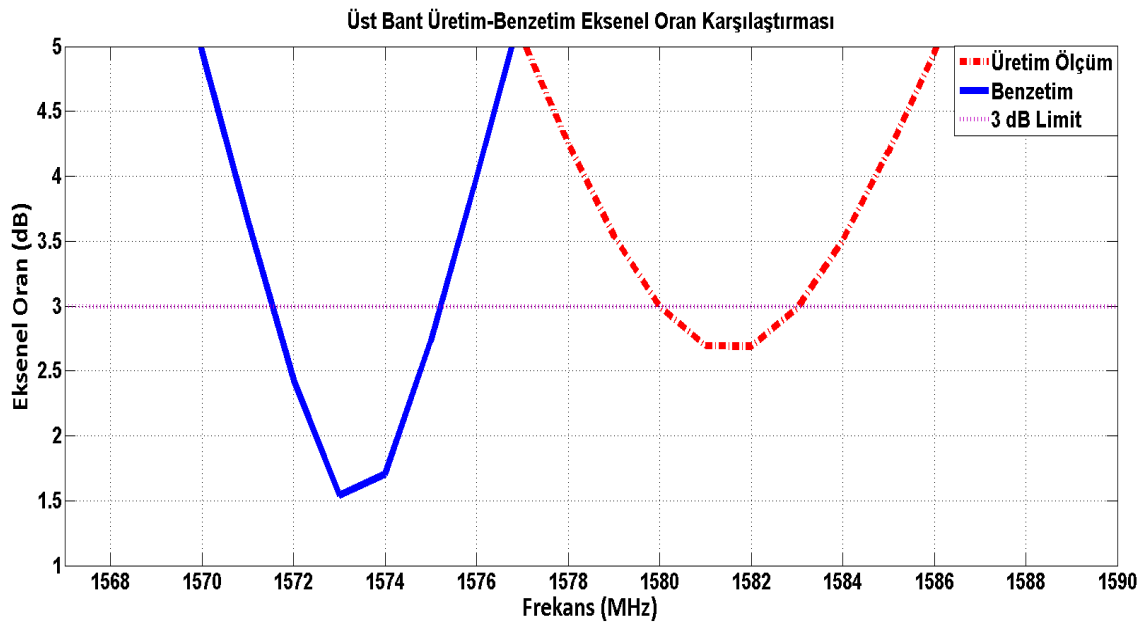


Şekil 5.13 Üst bant benzetim ve üretim ölçüm geri dönüş kaybı karşılaştırması

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te görüldüğü gibi, S11 geri dönüş kaybı grafiklerinde üretim ve benzetim sonuçları arasında 15-20 MHz kadar fark olduğu görülmektedir. Bu farkın nedeninin Rogers-3210 alttaşımın yüksek dielektrik sabitine sahip olması olduğu değerlendirilmiştir. Bu durum üretim toleranslarından kaynaklanacak olumsuzluklara karşı anteni hassaslaştırmıştır.



Şekil 5.14 Alt bant benzetim ve üretim ölçüm eksnel oran karşılaştırması



Şekil 5.15 Üst bant benzetim ve üretim ölçüm eksnel oran karşılaştırması

Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'teki grafiklerde görülen eksenel oran değerlerinin üretim ve benzetim sonuçlarının arasında 7 MHz fark olduğu görülmüştür. Rogers-3210 alttaşının yüksek dielektrik sabitine sahip olmasının bu duruma neden olduğu değerlendirilmiştir.

Üretimi yapılan antenin fiziksel uzunlukları Çizelge 5.2'deki gibidir.

Çizelge 5.2 Rogers 3210 alttaş ile üretim anten L1 bant ve L2 bant değerleri

Parametre	Tanım	Uzunluk
a_1	Alt Kare Yama Anten Kenar Uzunluğu (L2 Bant)	36.4 mm
a_2	Üst Bant Kare Yama Anten Uzunluğu (L1 Bant)	29.42 mm
T	Toprak Hattı Uzunluğu	50 mm
h_1	Materyal Kalınlığı(alt)	1.36 mm
h_2	Materyal Kalınlığı (üst)	1.36 mm
d	Besleme Noktasının X Ekseninden Uzaklığı	6.2 mm
l_2	L2 Bant köşe kesim uzunluğu	1.76 mm
l_1	L1 Bant köşe kesim uzunluğu	1.47 mm

6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Gelişen teknoloji ile beraber GPS uydularını kullanarak yön bulmak amacıyla kullanılan cihazlardaki birçok farklı işlemin aynı anda yapılması gerekliliği, bu cihazlarda kullanılan antenlerin de olabildiğince çok amaçlı ve küçük boyutlarda olmasına neden olmuştur. Bundan dolayı bu tezde tek besleme kullanılarak hem L1 hem de L2 bandında çalışacak, aynı zamanda da hali hazırdaki anten yapılarına göre daha küçük boyutlarda bir anten tasarlanması amaçlanmıştır.

Öncelikle literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda besleme tekniği olarak koaksiyel besleme tekniğini, dairesel polarizasyon gerekliliği için köşe kesim tekniğinin kullanılması kararlaştırılmıştır.

Dairesel polarizasyon (L1 ve L2 frekanslarında 3 dB eksenel oran değeri), her iki bantta da 10 dB'nin altında geri dönüş kaybı, tasarlanan antende tek besleme kullanılması, antenin boyutlarının küçültülmesi konuları ulaşılmaması gereken hedefler olarak koyulmuştur. Bu çalışma kapsamında istenilen bu anten parametrelerini sağlayabilecek antene ulaşabilmek amacı ile altı farklı tipte anten tasarlanmıştır. Bu antenler arasından iki tip anten için üretim de yapılmış ve benzetim sonuçları ile üretim sonuçları karşılaştırılmıştır.

1. Öncelikle tek bant (L1 veya L2) çalışan bir anten tasarlanmıştır. 25 MHz bant genişliğine sahip olduğu benzetim sonuçlarından görülmüştür. Toprak hattı genişliği yama antenin boyutlarını belirleyen en büyük etkidir. Kare yama antenlerin fiziksel boyutları 120mm*120mm'dir.
2. İkinci aşamada dairesel polarizasyona sahip L1 ve WLAN bantlarında çalışan anten tasarlanmış, her iki bantta da bu antenin 75 MHz bant genişliğine ve L1 bandında 20MHz eksenel oran bant genişliğine sahip olduğu benzetim sonuçları ile görülmüştür. Kare yama antenin fiziksel boyutu 110mm*110mm'dir.
3. Üçüncü aşamada dairesel polarizasyona sahip L1 ve L2 bantlarında çalışan anten tasarlanmış her iki bantta da 50 MHz bant genişliğine ve 16 MHz eksenel oran bant genişliğine sahip olduğu benzetim sonuçları ile görülmüştür. Antenin boyutlarını küçültebilmek adına toprak hattı uzunluğu daha da küçültülerek antenin parametreleri yeniden hesaplanmıştır. Tasarımı yapılan bu anten LPKF Protomat H100PCB makinesi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen anten sonuçları ile benzetim

sonuçları karşılaştırılmış ve çıkan sonuçların birbirleri ile tam uyumlu olduğu görülmüştür. Kare yama antenin fiziksel boyutu ise 75mm x 75mm'dir.

4. Anten boyutlarını daha da küçültebilmek adına yapılan literatür araştırmaları sonrasında LTCC uygulaması ile HFSS ortamında bir tasarım daha gerçekleştirilmiştir. Kullanılan alttaş dielektrik sabiti yüksek olduğu için bant genişlikleri 4 MHz seviyelerine düşmüştür. Ama kare yama anten fiziksel boyutu ise 50mm x 50mm'ye inmiştir. Antenin kapladığı yer neredeyse yarısına düşmüştür. Yalnız tasarlanan antenin LTCC üretimini yapmak diğer üretim yöntemlerine göre çok uzun ve maliyetli olmaktadır. Bu yüzden anten boyutlarını düşürebilmek adına başka yöntemler de araştırılmıştır.
5. PIFA bu yöntemlerden bir tanesidir. Bu aşamada PIFA yöntemi ile üretilen antenin benzetim sonuçları incelenmiştir. Anten, L1 ve L2 bantlarında sırasıyla, 30MHz ve 25 MHz bant genişliklerine sahiptir. Dairesel polarizasyon gerekliliği anten simetrisi bozulduğu için sağlanamamıştır.
6. Son aşamada, üretilebilirliği de olan, RO3210 alttaş malzemesi kullanılarak bir anten tasarlanmıştır. Bu antenin, benzetim sonuçlarına göre L1 ve L2 bantlarında sırasıyla 6 MHz ve 10 MHz bant genişliklerine sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda anten simetrisi de bozulmadığı için L1 ve L2 bantlarında sırasıyla 4 MHz ve 3 MHz eksele oran bant genişlikleri de sağlanmıştır. Bu anten yapısı LPKF Protomat H100PCB makinesi ile üretilmiş ve üretilen anten ile benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda çalışma frekanslarında L1 ve L2 bandı için 7 MHz bir kayma olduğu görülmüştür. Banttaki bu frekans kaymasına yüksek dielektrik sabitine sahip alttaş malzemesinin ve üretim toleranslarının neden olabileceği değerlendirilmiştir. Küçük bir uyumlandırma işlemi ile düzeltilebileceği öngörülmüştür. Son olarak üretilmesi de başarılı olan antenin fiziksel boyutu 50 mm x 50 mm'dir.

Bu çalışmada genel olarak çift bant çalışan ve dairesele polarizasyona sahip bir anten yapısının, anten gerekliliklerini de karşılamaya devam ederek boyutlarının nasıl düşürülebileceği, hangi yöntemlerin kullanılabilceği gösterilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda PIFA anten yapısı üzerinde uygun simetri sağlandığı takdirde istenilen eksele oran değerinin yakalanabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında

hazırlanan MATLAB arayüzü ve aynı tasarım teknikleri kullanılarak WLAN, WiMAX, GSM vb. gibi farklı iki çalışma bandında anten tasarlanabileceği değerlendirilmiştir. Aynı yapı üzerinde üçüncü bir yama anten daha eklenerek üçlü frekans çalışma bandının da oluşturulabileceği öngörülmektedir.

7. KAYNAKÇA

- [1] C. Kilgus, "Resonant quadrifilar helix," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 17, no. 3, pp. 349-351, May 1969.
- [2] O. Abraham, A. Leib, and H. Matzner, "Designing and Building of a Circular GPS Antenna" Communication Engineering Department, HIT-Holon Institute of Technology, Holon 58102, Israel.
- [3] Hyun-Sung Tae, Wang-Ik Son, Soo-Ji Lee, Moon-Que Lee, Jong-Won Yu, "Dual-Band Quadruple Planar Inverted-F Antenna for GPS L1/L2 Band" Asia-Pacific Microwave Conference, Deajeon, Korea, 2011.
- [4] Yijun Zhou, Gullu Kiziltas, Stavros Koulouridis and John L. Volakis, "A Miniature Four-Arm Antenna for Tri-Band GPS Applications" Electroscience Lab, ECE department, The Ohio State University Columbus, OH 43212.
- [5] M. L. Yazidi, M. Himdi and J. P. Daniel, "Aperture Coupled Microstrip Antenna for Dual Frequency Operation", Electronics Letters, 29, 17, August 1993.
- [6] Kai-Ping Yang and Kin-Lu Wong, "Dual-Band Circularly-Polarized Square Microstrip Antenna", IEEE Transactions On Antennas and Propagation, Vol. 49, No. 3, March 2001.
- [7] Xiaoye Sun, Zhijun Zhang, "Dual-Band Circularly Polarized Stacked Annular-Ring Patch Antenna for GPS Application", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 10, 2011.
- [8] Ming Chen, Chi-Chih Chen, "A Compact Dual-Band (L1/L2) GPS Antenna Design", IEEE 2012.
- [9] ShiChai Chen, GuangCong Liu, XiangYu Chen, TingFen Lin, XiangGuo Liu, and ZhiQi Duan, "Compact Dual-Band GPS Microstrip Antenna Using Multilayer LTCC Substrate", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 9, 2010.
- [10] Shun-Lai Ma and Jeen-Sheen Row, "Design of Single-Feed Dual-Frequency Patch Antenna for GPS and WLAN Applications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, No:9, September 2011.

- [11] Johan Siden, Jinlan Gao, Tomas Unander, Henrik Anderson, Peter Jonsson and Hans-Erik Nilsson, “ Electric and Electromagnetic Coupled Sensor Components for Passive RFID”.
- [12] Donghai Yu, Yao Ma, Zhiyum Zhang, Renjie Sun, “A Circularly Polarized Aperture-coupled Patch Antenna for RFID Reader” IEEE 2008.
- [13] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html> (2011-10-05)
- [14] G. Avitabile, S. Maci, F. Bonifacio, C. Salvador, “Dual Bant Circularly Polarized Patch Antenna”, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol.1, pp. 290-293, 1994.
- [15] Kai-Ping Yang and Kin-Lu Wong, “Dual-Bant Circularly-Polarized Square Microstrip Antenna”, IEEE Transactionson Antennasand Propagation, Vol. 49, No. 3, March 2001.
- [16] C.A. Balanis, “Antenna Theory Analysis and Design, Third Edition”, John Wiley & Sons, United States of America, 2005.
- [17] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, “Microstrip Antenna Design Handbook”, Artech House, Boston, London 2001, pp. 506-512.
- [18] Debatosh Guha, Yahia M.M. Antar, “Microstrip and Printed Antennas ” John Wiley & Sons, West Sussex, United Kingdom, pp. 56-57, 2011.
- [19] Xiaoye Sun, Zhijun Zhang and Zhenghe Feng,1“Dual-Bant Circularly Polarized Stacked Annular-Ring Patch Antenna for GPS Application”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 10, 2011.
- [20] Kumar, G. And Ray, K.P. ; Broadband Microstrip Antennas, Artech House, 2003.
- [21] Buchanan, W.J.,1996, Analysis of Electromagnetic Wave Propagation Using the 3D Finite Difference Time-Domain Method with Paralel Napier Univ. PHD Thesis,Edinburgh
- [22] Mohamed Nabil Srfi, Mourad Meloui and Mohamed Essaaidi, “Rectangular Slotted Patch Antenna for 5-6GHz Applications”, IJMOT Vol.5 No.2., Abdelmalek Essaadi University, Tetuan, Morocco, 2010.
- [23] P. A. Ambreshi, P. M. Hadalgi and P. V. Hunagund, “Compact Omni-Directional Patch Antenna For S-Band Frequency Spectra”, IJMOT Vol.1 No.4., Gulbarga University, Gulbarga, India, 2011.

[24] David M. Pozar and Sean M. Duffy, “A Dual Band Circularly Polarized Aperture-Coupled Stacked Microstrip Antenna for Global Positioning Satellite”, IEEE Vol.45, No.11., November 1997.

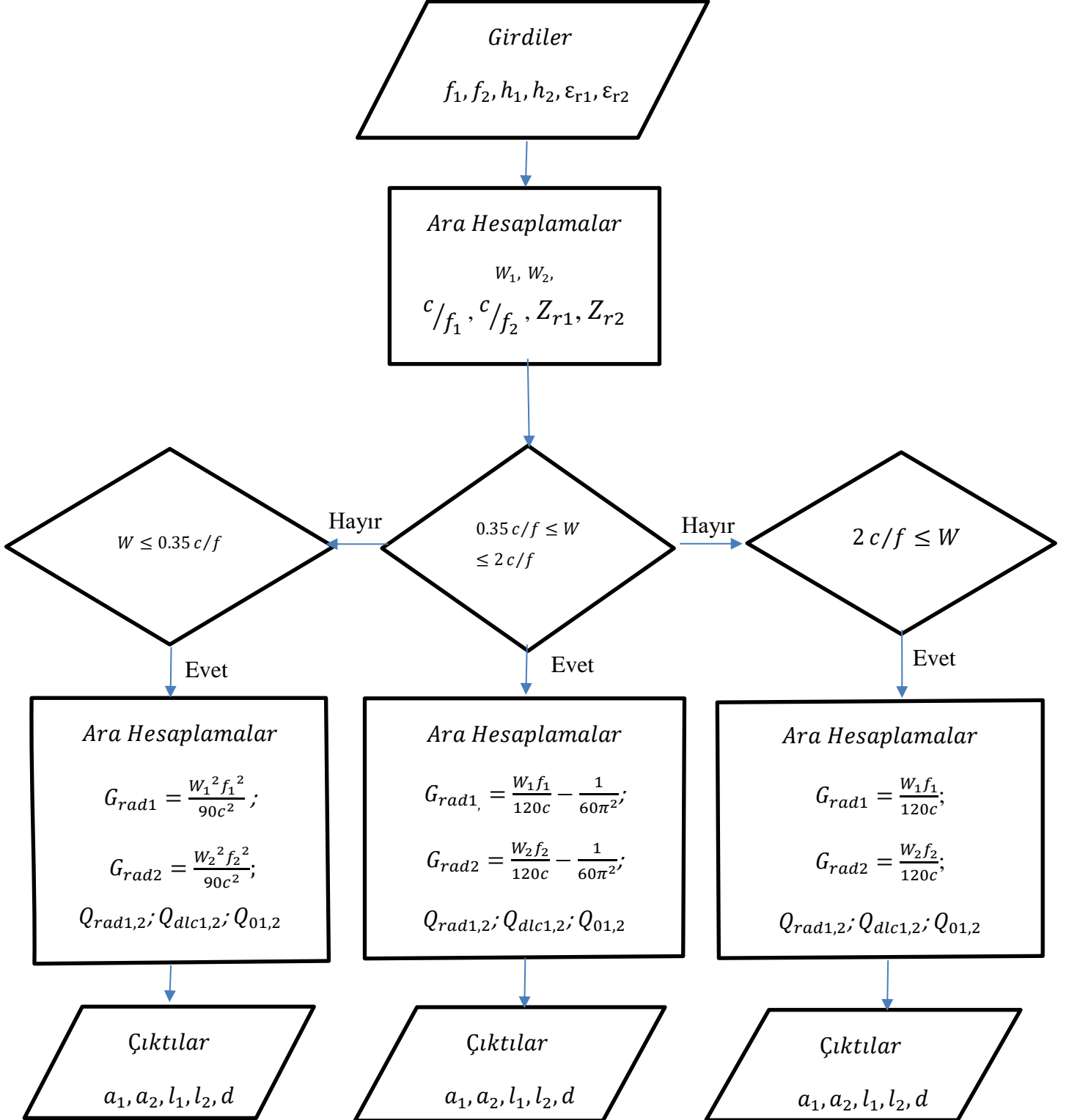
[25] Bing Bai, Jungang Miao and Fengqin Lee, “Stacked Dual Band Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna”, IEEE 2007.

[26] Dong-Uk Sim and Jae-Ick Choi, “A Compact Wideband Modified Planar Inverted F Antenna (PIFA) for 2.4/5 GHz WLAN Applications”, IEEE 2005.

[27] Galih Fajar Kurnia, Bambang Setia Nugroho and Agus D. Prasetyo, “Planar Inverted-F Antenna (PIFA) Array with Circular Polarization for Nano Satellite Application” Telkom University, Bandung Indonesia, 2014.

8. EKLER

Bölüm 3.3' de anlatılan MATLAB programının akış şeması aşağıda verilmiştir.



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Mehmet KÜPELİ

Doğum Yeri: Mersin

Medeni Hali: Evli

E-posta: mhmt.kpl@gmail.com

Adresi: Ceyhun Atıf Kansu Caddesi K.Fatih Çotur Sk. Cemil Apt. 1/6 Çankaya/ANKARA

Eğitim

Lise: Mersin Fen Lisesi, MERSİN

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: İyi

İş Deneyimi

Ekim 2011- ... : Uzman Mühendis, ASELSAN REHİS, ANKARA

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

Çift Bant Mikroşerit GPS Anten Analizi ve Tasarımı, URSI Türkiye 2016 Kurultayı, Ankara



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 06/12/2017

Tez Başlığı / Konusu: Çift Bant Mikroşerit GPS Anten Analizi ve Tasarımı

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 89 sayfalık kısmına ilişkin, 06/12/2017 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar dâhil
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

06/12/2017

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Mehmet KÜPELİ

Öğrenci No: N10220620

Anabilim Dalı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.


Prof. Dr. Birsen Saka

(Unvan, Ad Soyad, İmza)



HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING
THESIS/DISSERTATION ORIGINALITY REPORT

HACETTEPE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING
TO THE DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

Date: 06/12/2017

Thesis Title / Topic: Analysis and Design of Dual Band Microstrip GPS Antenna

According to the originality report obtained by myself/my thesis advisor by using the *Turnitin* plagiarism detection software and by applying the filtering options stated below on 06/12/2017 for the total of 89 pages including the a) Title Page, b) Introduction, c) Main Chapters, d) Conclusion sections of my thesis entitled as above, the similarity index of my thesis is 6 %.

Filtering options applied:

1. Bibliography/Works Cited excluded
2. Quotes included
3. Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Science and Engineering Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

06/12/2017

Date and Signature

Name Surname: Mehmet KÜPELİ
Student No: N10220620
Department: Electrical and Electronics Engineering
Program: Electrical and Electronics Engineering
Status: Masters Ph.D. Integrated Ph.D.

ADVISOR APPROVAL

APPROVED

Prof. Dr. Birsen Saker
(Title, Name Surname, Signature)