

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
ASKERÎ ELEKTRONİK SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK HARP PROGRAMI**

**GENİŞ BANT
KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİ
MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZİSİ
ANALİZİ VE TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEMİH DÜZGÜNSIVACI
1981113**

TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. ASIM EGEMEN YILMAZ

**ANKARA
HAZİRAN 2022**

**T.C.
MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
ALPARSLAN SAVUNMA BİLİMLERİ VE MİLLÎ GÜVENLİK
ENSTİTÜSÜ
ASKERÎ ELEKTRONİK SİSTEMLER MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK HARP PROGRAMI**

**GENİŞ BANT
KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİ
MİKROŞERİT YAMA ANTEN DİZİSİ
ANALİZİ VE TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEMİH DÜZGÜNSIVACI
1981113**

TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. ASIM EGEMEN YILMAZ

**ANKARA
HAZİRAN 2022**

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Tez çalışmamın a) Giriş, b) Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri, c) Temel Anten Parametreleri, ç) Mikroşerit Yama Antenler, d) Geniş Bant Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri Mikroşerit Yama Anten Analizi ve Tasarımı, e) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 96 sayfalık kısmına ilişkin, 27/05/2022 tarihinde şahsım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan özgünlük raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %11'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

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

Millî Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü Lisansüstü Tez Çalışması Özgünlük Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Usul ve 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.

Semih DÜZGÜNSIVACI
27/05/2022
İmza

ETİK BEYANI

Millî Savunma Üniversitesi Enstitüleri Lisansüstü Tez Hazırlama Kılavuzu'nda yer alan kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir; aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bu tezdeki düşünce, görüş, varsayım, sav veya tezler bana aittir; Millî Savunma Bakanlığı, Türk Silahlı Kuvvetleri, Hava Kuvvetleri Komutanlığı, Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü sorumlu tutulamaz.

Semih DÜZGÜNSIVACI
27/05/2022
İmza

Her zaman yanımda olan aileme...



TEŞEKKÜR ve ÖNSÖZ

Hayatımın her anında yanımda olan eşime, gelecek umudum olan çocuklarıma ve mesleki anlamda görüşümün açılmasını sağlayan kıymetli hocam Prof.Dr. Asım Egemen YILMAZ'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ankara, Haziran 2022

Semih DÜZGÜNSIVACI



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZGÜNLÜK RAPORU

ETİK BEYANI

İTHAF

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

İÇİNDEKİLER

vii

TABLolar LİSTESİ

x

ŞEKİLLER LİSTESİ

xi

SEMBOLLER LİSTESİ

xiv

KISALTMALAR

xvi

ÖZ

xviii

ABSTRACT

xix

1. GİRİŞ

1

2. KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİ

3

2.1. Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri

3

2.2. GPS (Global Positioning System-Küresel Konumlama Sistemi)

10

2.2.1. Uzay Bölümü

10

2.2.2. Kontrol Bölümü

11

2.2.3. Kullanıcı Bölümü

13

2.3. GLONASS (Globalnaya Navigatsyonnaya Sputnikovaya Sistema-Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi)

13

2.3.1. Uzay Bölümü

17

2.3.2. Kontrol Bölümü

19

2.3.3. Kullanıcı Bölümü

20

2.4. Galileo

20

2.4.1. Uzay Bölümü

22

	Sayfa
2.4.2. Kontrol Bölümü	22
2.4.3. Kullanıcı Bölümü	23
3. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ	25
3.1. Anten Parametreleri	25
3.2. Antenin Işıma Örüntüsü ve Hüzmeler	25
3.3. Antenin Yönlülüğü	29
3.4. Anten Işıma Şiddeti	30
3.5. Anten Işıma Güç Yoğunluğu	30
3.6. Antenin Verimliliği	31
3.7. Anten Kazancı	32
3.8. Anten Giriş Empedansı	32
3.9. Bant Genişliği	33
3.10. Polarizasyon (Kutuplanma)	34
4. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER	38
4.1. Mikroşerit Anten Temel Bilgiler	38
4.2. Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları	39
4.3. Mikroşerit Yama Anten Çeşitleri	40
4.4. Mikroşerit Anten Analiz Yöntemleri	43
4.4.1. İletim Hattı Modeli	43
4.4.2. Boşluk Modeli	45
4.5. Mikroşerit Antenlerde Verimlilik Artırma	46
5. GENİŞ BANT KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİ MİKROŞERİT YAMA ANTEN ANALİZİ VE TASARIMI	47
5.1. CST Studio Suite Yazılımı Temel Bilgiler	47
5.1.1. CST Studio Suite Yazılımı Kullanım Alanları	47
5.1.2. CST Studio Suite Bileşenleri	48
5.2. Tek Elemanlı Mikroşerit Yama Anten Analizi ve Tasarımı	49
5.2.1. GPS L1 Teorik	59
5.2.2. GPS L1 Optimize Edilmiş	61
5.2.3. GPS L2 Teorik	64
5.2.4. GPS L2 Optimize Edilmiş	65
5.2.5. GPS L5 Teorik	67
5.2.6. GPS L5 Optimize Edilmiş	69
5.2.7. GLONASS G1 Teorik	70

	Sayfa
5.2.8. GLONASS G1 Optimize Edilmiş	72
5.2.9. GLONASS G2 Teorik	74
5.2.10. GLONASS G2 Optimize Edilmiş	76
5.2.11. Galileo E1 Teorik	77
5.2.12. Galileo E1 Optimize Edilmiş	79
5.2.13. Galileo E6 Teorik	81
5.2.14. Galileo E6 Optimize Edilmiş	82
5.2.15. Galileo E5 Teorik	84
5.2.16. Galileo E5 Optimize Edilmiş	86
5.2.17. KSUS Bantları Optimizasyon Özeti	87
5.3. Mikroşerit Yama Anten Dizisi Analizi ve Tasarımı	89
6. SONUÇ	95
KAYNAKÇA	97

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1: GPS Uyduları.	11
Tablo 2.2: GPS Kontrol Bölümünde İcra Edilen Faaliyetler.	12
Tablo 2.3: GPS Sinyal Bilgileri.	13
Tablo 2.4: GLONASS Tarihi Detaylar.	15
Tablo 2.5: GLONASS, GPS VE Galileo Karşılaştırması.	24
Tablo 4.1: Mikroşerit Anten Avantajları Ve Dezavantajları.	39
Tablo 5.1: Anten Parametreleri.	50
Tablo 5.2: MATLAB Kodları.	52
Tablo 5.3: Hesaplama Sonuçları.	58
Tablo 5.4: GPS L1 Optimizasyonu.	63
Tablo 5.5: GPS L2 Optimizasyonu.	67
Tablo 5.6: GPS L5 Optimizasyonu.	70
Tablo 5.7: GLONASS G1 Optimizasyonu.	74
Tablo 5.8: GLONASS G2 Optimizasyonu.	77
Tablo 5.9: Galileo E1 Optimizasyonu.	80
Tablo 5.10: Galileo E6 Optimizasyonu.	84
Tablo 5.11: Galileo E5 Optimizasyonu.	87
Tablo 5.12: Optimizasyon Özeti.	88
Tablo 5.13: Anten Parametreleri.	90
Tablo 5.14: Dizi Anten Sonuçları.	94

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Modülasyon Örneği.	4
Şekil 2.2: GPS Sinyalinin Üretilmesi.	5
Şekil 2.3: C/A Sinyali.	6
Şekil 2.4: Tek Sinyalle Konum Tespiti.	7
Şekil 2.5: Farklı Sinyallerle Konum Tespiti.	7
Şekil 2.6: Uydu Alıcı Arasındaki Zaman Farkı.	8
Şekil 2.7: Konum Tespiti.	9
Şekil 2.8: GPS Kontrol Bölümü.	12
Şekil 2.9: GLONASS Tarihi.	15
Şekil 2.10: GLONASS Sinyal Yapısı.	17
Şekil 2.11: GLONASS Uyduları.	18
Şekil 2.12: GLONASS Kontrol Bölümü.	19
Şekil 2.13: Galileo Doğruluk Artırımı.	21
Şekil 2.14: Galileo ile GPS Seyrüsefer Bantları.	21
Şekil 2.15: Galileo Kontrol Bölümü.	23
Şekil 3.1: İki Boyutlu Normalize Edilmiş Alan Örüntüsü.	26
Şekil 3.2: Üç Boyutlu Normalize Edilmiş Alan Örüntüsü.	27
Şekil 3.3: Üç Boyutlu Alan Örüntüsü (Doğrusal Ölçek).	28
Şekil 3.4: Üç Boyutlu Güç Örüntüsü (Doğrusal Ölçek).	28
Şekil 3.5: Üç Boyutlu Güç Örüntüsü (dB).	29
Şekil 3.6: İletme Modundaki Anten.	32
Şekil 3.7: Doğrusal Kutuplanma.	34
Şekil 3.8: Dairesel Kutuplanma.	35
Şekil 3.9: Eliptik Kutuplanma.	35
Şekil 3.10: Polarizasyon Kayıpları.	36
Şekil 4.1: Mikroşerit Anten Çizimi.	38
Şekil 4.2: Mikroşerit Yama Anten Şekilleri.	40
Şekil 4.3: Koaksiyel Prob Besleme.	41
Şekil 4.4: Mikroşerit Besleme.	41
Şekil 4.5: Yakınlık Bağlaşımı Beslemesi.	42

	Sayfa
Şekil 4.6: Açıklık Bağlaşımı Beslemesi.	42
Şekil 4.7: Anten Empedans Uyumu.	44
Şekil 4.8: Yük ve Akım Dağılımları.	45
Şekil 5.1: Ana Şablon.	48
Şekil 5.2: Antenler Şablonu.	49
Şekil 5.3: Mikroşerit Yama Anten Ölçümleri.	50
Şekil 5.4: MATLAB Uygulaması Örneği.	51
Şekil 5.5: GPS L1 Teorik Anten Şekli.	59
Şekil 5.6: GPS L1 Yüzey Akımı.	59
Şekil 5.7: GPS L1 Teorik S-Parametreleri.	60
Şekil 5.8: GPS L1 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	60
Şekil 5.9: GPS L1 Teorik Eksenel Oran.	60
Şekil 5.10: Optimize Edilmiş GPS L1 Anten Şekli.	61
Şekil 5.11: Optimize Edilmiş GPS L1 Yüzey Akımı.	62
Şekil 5.12: Optimize Edilmiş GPS L1 S-Parametreleri.	62
Şekil 5.13: Optimize Edilmiş GPS L1 Gerilim Duran Dalga Oranı.	63
Şekil 5.14: Optimize Edilmiş GPS L1 Eksenel Oran.	63
Şekil 5.15: GPS L2 Teorik S-Parametreleri.	64
Şekil 5.16: GPS L2 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	64
Şekil 5.17: GPS L2 Eksenel Oran.	65
Şekil 5.18: Optimize Edilmiş GPS L2 S-Parametreleri.	66
Şekil 5.19: Optimize Edilmiş GPS L2 Gerilim Duran Dalga Oranı.	66
Şekil 5.20: Optimize Edilmiş GPS L2 Eksenel Oran.	67
Şekil 5.21: GPS L5 Teorik S-Parametreleri.	68
Şekil 5.22: GPS L5 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	68
Şekil 5.23: GPS L5 Teorik Eksenel Oran.	68
Şekil 5.24: Optimize Edilmiş GPS L5 S-Parametreleri.	69
Şekil 5.25: Optimize Edilmiş GPS L5 Gerilim Duran Dalga Oranı.	70
Şekil 5.26: Optimize Edilmiş GPS L5 Eksenel Oran.	70
Şekil 5.27: GLONASS G1 Teorik S-Parametreleri.	71
Şekil 5.28: GLONASS G1 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	71
Şekil 5.29: GLONASS G1 Teorik Eksenel Oran.	72
Şekil 5.30: Optimize Edilmiş GLONASS G1 S-Parametreleri.	73
Şekil 5.31: Optimize Edilmiş GLONASS G1 Gerilim Duran Dalga Oranı.	73

	Sayfa
Şekil 5.32: Optimize Edilmiş GLONASS G1 Eksenel Oran.	73
Şekil 5.33: GLONASS G2 Teorik S-Parametreleri.	74
Şekil 5.34: GLONASS G2 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	75
Şekil 5.35: GLONASS G2 Teorik Eksenel Oran.	75
Şekil 5.36: Optimize Edilmiş GLONASS G2 S-Parametreleri.	76
Şekil 5.37: Optimize Edilmiş GLONASS G2 Gerilim Duran Dalga Oranı.	76
Şekil 5.38: Optimize Edilmiş GLONASS G2 Eksenel Oran.	77
Şekil 5.39: Galileo E1 Teorik S-Parametreleri.	78
Şekil 5.40: Galileo E1 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	78
Şekil 5.41: Galileo E1 Teorik Eksenel Oran.	78
Şekil 5.42: Optimize Edilmiş Galileo E1 S-Parametreleri.	79
Şekil 5.43: Optimize Edilmiş Galileo E1 Gerilim Duran Dalga Oranı.	80
Şekil 5.44: Optimize Edilmiş Galileo E1 Eksenel Oran.	80
Şekil 5.45: Galileo E6 Teorik S-Parametreleri.	81
Şekil 5.46: Galileo E6 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	81
Şekil 5.47: Galileo E6 Teorik Eksenel Oran.	82
Şekil 5.48: Optimize Edilmiş Galileo E6 S-Parametreleri.	83
Şekil 5.49: Optimize Edilmiş Galileo E6 Gerilim Duran Dalga Oranı.	83
Şekil 5.50: Optimize Edilmiş Galileo E6 Eksenel Oran.	83
Şekil 5.51: Galileo E5 Teorik S-Parametreleri.	84
Şekil 5.52: Galileo E5 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.	85
Şekil 5.53: Galileo E5 Teorik Eksenel Oran.	85
Şekil 5.54: Optimize Edilmiş Galileo E5 S-Parametreleri.	86
Şekil 5.55: Optimize Edilmiş Galileo E5 Gerilim Duran Dalga Oranı.	86
Şekil 5.56: Optimize Edilmiş Galileo E5 Eksenel Oran.	87
Şekil 5.57: Dizi Anten Uzak Gösterim.	89
Şekil 5.58: Dizi Anten Yakın Gösterim.	89
Şekil 5.59: Dizi Anten S-Parametreleri.	91
Şekil 5.60: Dizi Anten Gerilim Duran Dalga Oranı.	92
Şekil 5.61: Dizi Anten Eksenel Oranı.	92
Şekil 5.62: 1278,75 MHz Kazanç Grafiği.	93

SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Yalıtkan Malzeme/Taban Genişliği
b	: Yalıtkan Malzeme/Taban Uzunluğu
A	: Aralık
c	: Işık Hızı
D	: Mesafe
D	: Yönlülük
D₀	: Azami Yönlülük
D_{max}	: Azami Yönlülük
da	: Kapalı Yüzeyin Sonsuz Küçük Alanı
d₀	: Şerit Uzunluğu
E	: Elektrik Alanı
e_c	: İletim Verimliliği
e_d	: Dielektrik Verimliliği
e_r	: Yansıma (Uyumsuzluk) Verimliliği
e₀	: Toplam Verimlilik
f_{alt}	: Alt Frekans Değeri
f_{merkez}	: Merkez Frekans Değeri
f_r	: Anten Rezonans Frekansı
f_{üst}	: Üst Frekans Değeri
G	: Kazanç
g₀	: Boşluk Genişliği
h	: Taban/Yalıtkan Malzeme Yüksekliği
H	: Manyetik Alan
k	: Kesim Uzunluğu
L	: Anten Uzunluğu
Leff	: Etkin Anten Uzunluğu
$\hat{n}$	: Yüzeye Dik Birim Vektör
P_{av}	: Ortalama Işıyan Güç
P_{in}	: Toplam Giriş (Alınan) Güç
P_{rad}	: Toplam Işıyan Güç
r	: Mesafe

R_A	: a-b Terminallerindeki Anten Direnci
R_g	: Üreteç Empedansın Direnci
R_{in}	: Giriş Direnci
R_L	: Antenin Kayıp Direnci
R_r	: Antenin Işıma Direnci
s_1	: Kesilenden Kalan Parça Uzunluğu
s_2	: Kesilmemiş Parça Uzunluğu
t	: İletken Malzeme Yüksekliği
U	: Işıma Şiddeti
U_0	: Yönbağımsız Kaynağın Işıma Şiddeti
U_{max}	: Azami Işıma Şiddeti
V_0	: Boş Uzaydaki Işık Hızı
W	: Anten Genişliği
W_d	: Şerit Genişliği
W_{av}	: Ortalama Güç Yoğunluğu
W_{rad}	: Işıma Güç Yoğunluğu
W_0	: Şerit Genişliği
x	: Antenin Yanlardan Olan Mesafesi
X_A	: a-b Terminallerindeki Anten Reaktansı
X_g	: Üreteç Empedansın Reaktansı
y_0	: Boşluk Uzunluğu
Z_A	: a-b Terminallerindeki Anten Empedansı
Z_g	: Üretcin Empedansı
Z_{in}	: Anten Giriş Empedansı
Z_0	: İletim Hattının Karakteristik Empedansı
ϵ_0/ϵ_0	: Boşluğun Dielektrik Sabiti
ϵ_r/ϵ_r	: Referans Dielektrik Sabiti
$\epsilon_{reff}/\epsilon_{reff}$	: Etkin Dielektrik Sabiti
λ	: Dalga Boyu
λ_0	: Serbest Uzay Dalga Boyu
Γ	: Antenin Giriş Terminallerindeki Gerilim Yansıma Katsayısı
ΔL	: Delta Boy (Elektrik Boyuttaki Uzunluk Farkı)
$\Delta \tau$	: Sinyal Geliş Süresi
μ_0	: Geçirgenlik Sabiti

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ARNS	: Aeronautical Radio Navigation Service
BPSK	: Bi-Phase Shift Key
C/A	: Coarse Acquisition
CDMA	: Code Division Multiple Access
EH	: Elektronik Harp
EM	: Elektromanyetik
EMC	: Electromagnetic Compatibility
EMI	: Electromagnetic Interference
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
GLONASS	: Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
GSİ	: Galileo Sensör İstasyonları
GSS	: Galileo Sensor Stations
HAS	: High Accuracy Service
İHA	: İnsansız Hava Aracı
IOT	: In Orbit Test
İÖİ	: İzleme ve Ölçüm İstasyonu
İSHG	: İlk Sıfır Hüzme Genişliği
KSUS	: Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri
KYİ	: Karşıya Yükleme İstasyonu
LMİ	: Lazer Mesafelendirme İstasyonu
MEO	: Medium Earth Orbit
MEOLUT	: Medium Earth Orbit Local User Terminals
MRI	: Magnetic Resonance Imaging
MS	: Merkezi Saat
NDT	: Non-destructive Testing
OS	: Open Service
PPS	: Precise Positioning System
PRN	: Pseudo-Random Noise

PRS	: Public Regulated Service
P(Y)	: Precise Military
RF	: Radyo Frekansı
RFID	: Radio Frequency Identification
RNSS	: Radio Navigation Satellite Service
SAR	: Search and Rescue
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
SKM	: Sistem Kontrol Merkezi
SPS	: Standart Positioning System
TİKM	: Telemetry, İzleme ve Komuta Merkezi
TT&C	: Telemetry, Tracking and Command Stations
ULS	: Uplink Stations
XOR	: Özel Veya
VSWR	: Gerilim Duran Dalga Oranı
YGB	: Yer Görev Bölümü
YGHG	: Yarı Güç Hüzme Genişliği
YKB	: Yer Kontrol Bölümü

ÖZ

Geniş Bant Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri Mikroşerit Yama Anten Dizisi

Analizi ve Tasarımı

Semih DÜZGÜNSIVACI

Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik
Enstitüsü

Ankara, Haziran 2022

Bu tezde 1100-1700 MHz aralığındaki farklı Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemlerinin sinyal parametrelerine cevap verebilecek “Geniş Bant Mikroşerit Yama Anten Dizisi” analizi ve tasarımı yapılmıştır. Öncelikle MATLAB yazılımında tasarlanan bir uygulama ile farklı bantlardaki rezonans frekans değerleri baz alınarak teorik mikroşerit yama anten boyutları hesaplanmıştır. Bu uygulama ile antenin boyutlarındaki değişim daha gözlenir hale getirilmiştir. Hesaplanan değerler sonrasında CST Studio Suite yazılımı ile farklı bantlardaki tekli antenin optimizasyonu sağlanmıştır. Son olarak ise CST Studio Suite yazılımında 1100-1700 MHz aralığında çalışan mikroşerit yama anten dizisi analiz edip tasarlanmış, tasarımın güçlü ve zayıf noktaları ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler : Küresel, Seyrüsefer, Mikroşerit, Dizi, Anten

Bilim Kodu : 90518

Sayfa Sayısı : 119

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Asım Egemen YILMAZ

ABSTRACT

Wideband Global Navigation Satellite Systems Microstrip Patch Antenna Array Analysis and Design

Semih DÜZGÜNSIVACI

Turkish National Defense University, Alparslan Defence Sciences and National Security
Institute

Ankara, Haziran 2022

The analysis and design of "Wideband Microstrip Patch Antenna Array", which can respond to the signal parameters of different Global Navigation Satellite Systems between 1100-1700 MHz, was made in this thesis. First of all, the theoretical microstrip patch antenna dimensions were calculated based on the resonance frequency values in different bands, with an application designed in the MATLAB software. With this application, the change in the dimensions of the antenna has been made more observable. After the calculated values, the optimization of the single antenna in different bands was achieved with the CST Studio Suite software. Finally, the microstrip patch antenna array operating in the 1100-1700 MHz range was analyzed and designed in CST Studio Suite software, and the strengths and weaknesses of the design were revealed.

Keywords : Global, Navigation, Microstrip, Array, Antenna

Science Code : 90518

Pages : 119

Supervisor : Prof.Dr. Asım Egemen YILMAZ

1. GİRİŞ

Yapılan arkeolojik ve antropolojik çalışmalar, insanoğlunun binlerce yıl önce mağarada yaşadığı dönemde yemek ihtiyacı için mağaradan ayrılmak zorunda olduğunu göstermektedir. Gününün büyük enerjisini avını aramaya harcayan insanın, avını kabilesine ulaştırabilmek ve korunabilmek için tekrar mağarasına dönmek zorunda kaldığından, geçtiği yerlere işaretler koyduğu, belirli referanslara güvenerek yol aldığı değerlendirilmektedir. Ama bu süreç, avlanmaya giden insanın sadece fiziksel ve bilişsel yeteneklerine bağlı olduğundan her zaman istenilen şekilde hedefe varılamayacağı ihtimalini de akla getirmektedir.

Yıllar geçtikçe insanoğlu tarım hayatına geçmiş ve toplu yaşamayı öğrenmiştir. Toplumların bulunduğu coğrafyada her türlü tarım ürünü yetişmediğinden ve farklı madenlere doğan ihtiyaç yüzünden, insanın doğumuyla beraber içinde bulunan keşif duygusu onu farklı kıtaları keşfetmeye yönlendirmiştir. Denizlerin sonsuz bir alan gibi gözüktüğü dönemlerde istenilen yere istenilen zamanda gidebilmek için ise bir harita ihtiyacı ortaya çıkmış ve Piri Reis kendi zamanının en detaylı haritasını ortaya koymuştur. Her ne kadar detaylı yapılmış bir harita elimizde olsa da, yön bilinmediği müddetçe seyrüsefer için hiçbir anlamı bulunmamaktadır. Yönü bulmak için başta yıldızlar gibi geleneksel yöntemler kullanılmış, bunu ise Çinlilerin yapmış olduğu manyetik kuzey/güneyi referans alan pusula gibi birçok kaba yön gösteren cihaz ve yöntem takip etmiştir.

Toplumların kalabalıklaşması, dünyanın da gün geçtikçe küreselleşmesi ve insanın kendini gerçekleştirme isteği sebebiyle insan bulunduğu yerden uzaklara gitme isteği geçmişte olduğu gibi devam etmiştir. Hatta Evliya Çelebi'nin Seyahatnamesinde 17. yüzyılda barut fişekleri vasıtasıyla uçmaya çalışan Lagâri Hasan Çelebi, mevcut durumu bir adım daha öteye götürerek havacılıkta önemli sayılacak bir noktada kendini göstermiş ve uçuşla ilgili denemeler yapmıştır. 1903 yılında ise Wright Kardeşlerin ilk insanlı uçak denemesiyle artık havacılığın insan yaşamına girmeye başladığının en büyük göstergesi olmuştur. Sonrasında ise 1. ve 2. Dünya Savaşı sırasında havacılık gün geçtikçe daha da gelişmiş, farklı büyüklükte farklı görevde

uçaklar görev yapmıştır. Kara ve deniz taşıtlarının iki boyutlu seyrseferleri yerine  boyutlu bir ortamda hareket eden uçakların, bir noktaya gidip sonra güvenle dönebilmesi için eski yöntemler yeterli olmamış, öncelikle radyo frekansı (RF) tabanlı çözümler kullanılmıştır. Ama bu çözümlerin kullanılması yerel olarak kullanılmaktan öteye geçememiştir.

Başta savunma sanayi olmak üzere ticaret ve günlük yaşamda ortaya çıkan hassas konum ihtiyaı ve yerel çözümlerin yetersiz kalması sebebiyle, ülkeler tüm dünyayı saran bir ağı uydular vasıtasıyla yapmayı hayal etmişler ve bunu hayata geçirmişlerdir.

Günlük yaşantımızda başta otomobillerimizde olmak üzere kullanmakta olduğumuz seyrüsefer sistemleri, dünyanın etrafında dolaşan Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemlerinden (KSUS) aldığı sinyallere göre konum tayini yapılabilmektedir. Günlük kullanımda kaba bir şekilde sunulan konum bilgisi yeterli olsa da askeri alanda kullanıldığında daha hassas konum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyadaki ordularda başta hava platformları ve hassas mühimmatlarda olmak üzere kara ve deniz platformlarında da hassas konum bilgisinin kullanıldığı görülmektedir.

Yaygınlıkla kullanılan KSUS'lar, 1100-1700 MHz arasında çalışmaktadır. Olası bir geniş kapsamlı harektta bilgi harektının yoğunlukla icra edildiği değerlendirildiğinde tek bir ülkeye ait KSUS, elektromanyetik (EM) girişimler sonucunda etkinlikle kullanılamayacaktır. Bundan dolayı farklı KSUS'ları kullanabilecek bir seyrüsefer sistemi yapısının kurulmasına ihtiyaç vardır. Bir seyrüsefer sisteminin ihtiyaç duyduğu aslı eleman ise uygun bantta ve özellikte çalışan bir antendir. Anten tasarımınnın sadece bir KSUS'a göre yapılmış olması halinde; şartlar değiştiğinde söz konusu antenin çıkartılıp yeni bir anten takılmasına gerek duyulacak, harekât alanındaki bir ortamda bu her zaman mümkün olmayacaktır. Bunun için ihtiyaç duyulan esneklik daha geniş bantta çalışan dizi anten tasarımıyla mümkün kılınacaktır.

Günümüzün görünmez savaşı olan elektronik harpte (EH), hazırlık seviyemizi artırmamız ülkemizi muharebe alanında daha görünür hale gelecektir. Bunun için ise öncelikle KSUS ve antenlerle ilgili temel kavramların bilinmesi ve sonrasında ise söz konusu çözümün ortaya konması gerekmektedir.

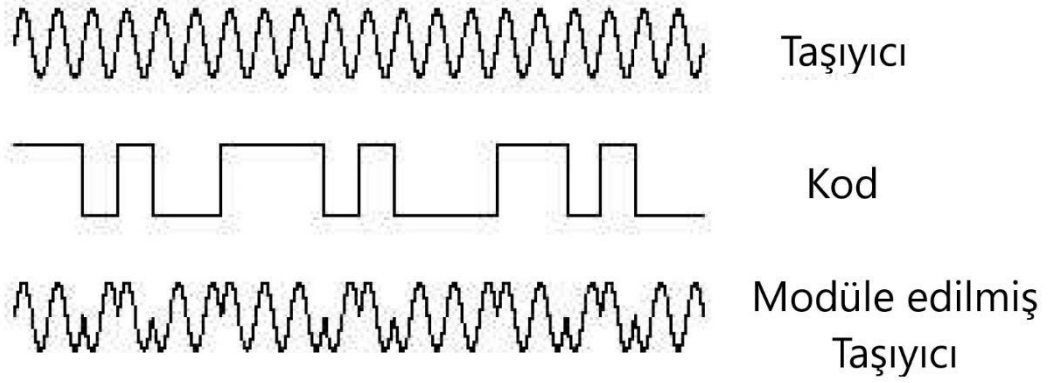
2. KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİ

2.1. Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri

Türkçe kaynaklarda İngilizce kısaltma olan GNSS (Global Navigation Satellite System) kavramı yaygınlıkta kullanılmaktadır. Literatürde uygun bir şekilde Türkçe kullanımı söz konusu olduğunda ise “Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (KSUS)” tanımı bu kavramı karşılamaktadır. Mevcut tanımı parçalayacak olursak eğer; küresel olması dünyayı saran yapısını anlatırken, daha çok denizcilikte tanıdığımız seyrüsefer kavramı bir noktadan başka bir noktaya gitmeyi kapsamakta ve uydu sistemleri ise bu amaç için kullanılmakta olan temel platformu göstermektedir.

Temel olarak bir KSUS uzay, kontrol ve kullanıcı bölümlerinden oluşmaktadır. Uzay bölümünde kapsanacak bölgeye uygun miktarda uydu gönderimi sağlanmaktadır. Gönderilen uyduların izlenmesi ve gerektiğinde düzeltmelerin yapılması yerde bulunan kontrol unsurları tarafından yapılmaktadır. Kullanıcı ise uydudan alınan sinyalleri kullanan askeri ve sivil unsurları kapsamaktadır. Öyle ki bu kullanıcı İzmir’de iş çıkışında evine giden bir adam olduğu gibi teröristleri etkisiz hale getirecek hassas koordinata atılmış bir mühimmat da olabilmektedir.

KSUS uyduları, sinyalin yere ulaşma zamanını hesaplamamıza yarayan mesaj bilgilerini taşıyıcı sinyalleri ile modülasyon işlemine tabi tutarak EM yayın yapmaktadır. Taşıyıcı sinyaller, ancak mesaj sinyali ile birlikte modülasyona (darbe, genlik, frekans, faz vs.) uğradığında KSUS alıcıları için anlamlı hale gelmektedir. Örneğin GPS’te iki fazlı (bi-phase) modülasyon kullanılmaktadır. İki fazlı modülasyonda, mesaj sinyalinin 0’dan 1’e (veya tam tersi) dönüşmesi durumunda buna uygun olarak taşıyıcı sinyalin fazında 180° değişim meydana gelmektedir. Örnek Şekil 2.1’de yer almaktadır.



Şekil 2.1: Modülasyon Örneği.

(Bakar, 2006)'dan uyarlanmıştır.

Taşıyıcı sinyal tarafından taşınan mesaj sinyali herkesin kullanımına açık bilgileri içerebildiği gibi askeri kullanıma yönelik şifreli bilgileri de içerebilmektedir. Örneğin GPS'te herkese açık olan sinyal C/A (Coarse Acquisition-Kaba Edinim), özel kullanıma açık olan sinyal ise P(Y) (Precise Military-Hassas Askeri) kod olarak anılmaktadır. Bu iki kod da aslında PRN (Pseudo-Random Noise- Sözde Rastlantısal Gürültü) kodlarından oluşmaktadır. PRN kodları 1 ve 0'ların oluşturduğu uzun bir dizi şeklindedir. Her GPS uydusu kendisine has bir PRN koduna sahip olduğundan, PRN kodları GPS uydularının kimliğini yansıtmaktadır.

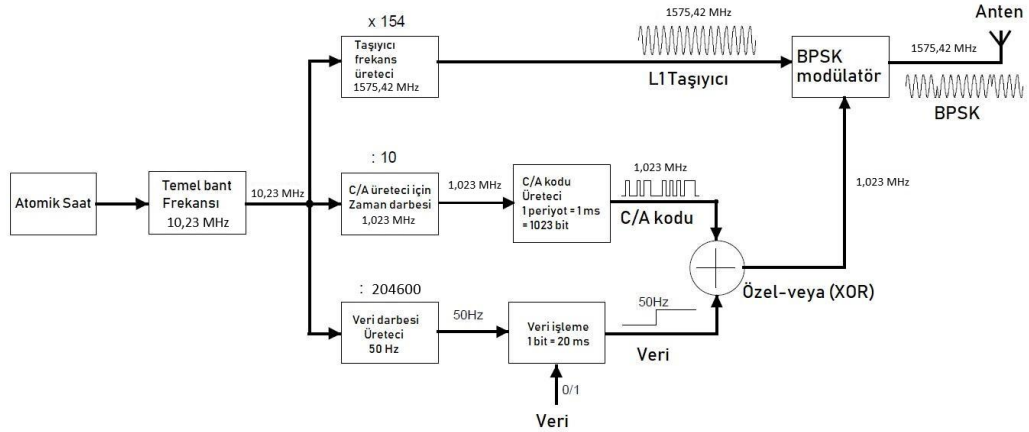
Her 1 ms'de 1 ve 0'lardan oluşan 1023 bitlik kod uzunluğundaki C/A kodu üretilmekte ve bu üretim 1,023 Mbit/saniye'ye tekabül etmektedir.

P(Y) kodda ise 266 günde 1 tekrar eden çok uzun bir PRN oluşturulmakta ve bu kod 38 haftayı kapsayan birer haftalık bölümlerden oluşmaktadır. PRN kodu, hangi uydunun hangi hafta yayın yaptığını göstermektedir.

Bu kodlara ilave olarak taşıyıcı sinyal ile gönderilen diğer bir veri ise seyrüsefer mesajıdır. Gönderilmesi 12,5 dakika süren seyrüsefer mesajı, uydu zaman ve senkronizasyon sinyalleri, hassas yörünge verisi, uydu zaman düzeltme verisi, KSUS uydularının yaklaşık yörüngesel verisi (Almanak), sinyal varış süresi için düzeltme sinyalleri, iyonosfer verisi ve uydu sağlık verisi gibi verileri içermektedir. Seyrüsefer mesajı sayesinde bir alıcı düzeltmeleri yaparak, KSUS uydularının yerlerini hassas

olarak bilmekte ve buna göre sinyal ile ilgili hesaplama işlemleri yapabilmektedir. Seyrüsefer mesajı 50 bit/saniye hızla üretilmektedir.

Bir GPS uydusunda gönderilen sinyale ait diyagram Şekil 2.2’de yer almaktadır.



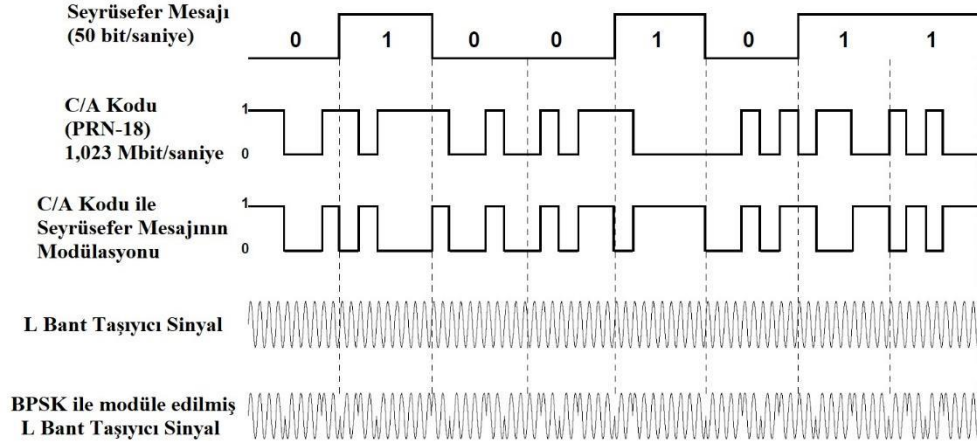
Şekil 2.2: GPS Sinyalinin Üretilmesi.

(GPS Essentials of Satellite Navigation Compendium, 2009)’dan uyarlanmıştır.

Söz konusu diyagram incelendiğinde;

- Her GPS uydusunda bulunan atomik saat tarafından referans değeri olarak 10,23 MHz temel bant frekansında sinyal oluşturulmaktadır. Bu referans sinyal değeri çarpılarak (Örn: L1 için 154 ile) taşıyıcı sinyaline ait frekans değeri belirlenmektedir. C/A üretici için zaman darbesi ise referans değer bölünerek elde edilmekte ve buna uygun olarak kod oluşturulmaktadır. (Örn: 10’a bölünerek 1 ms’de 1023 bit). Seyrüsefer verisi için gerekli olan değer de C/A üreticine benzer şekilde referans değeri bölünerek elde edilmektedir. (Örn; 204600’e bölünerek 50 Hz)

Elde edilen sonuçlar neticesinde C/A kodu ile Veri (Seyrüsefer mesajı), Özel-veya (XOR) işlemine tabi tutulmakta ve bu sonuç taşıyıcı sinyal ile BPSK (Bi-Phase Shift Key- İkili Fazlı Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyonuna tabi tutularak anten ile yayın yapılmaktadır. Yapılan modülasyonlara ait örnek gösterim Şekil 2.3’de yer almaktadır.



Şekil 2.3: C/A Sinyali.

(GPS Essentials of Satellite Navigation Compendium, 2009)'dan uyarlanmıştır.

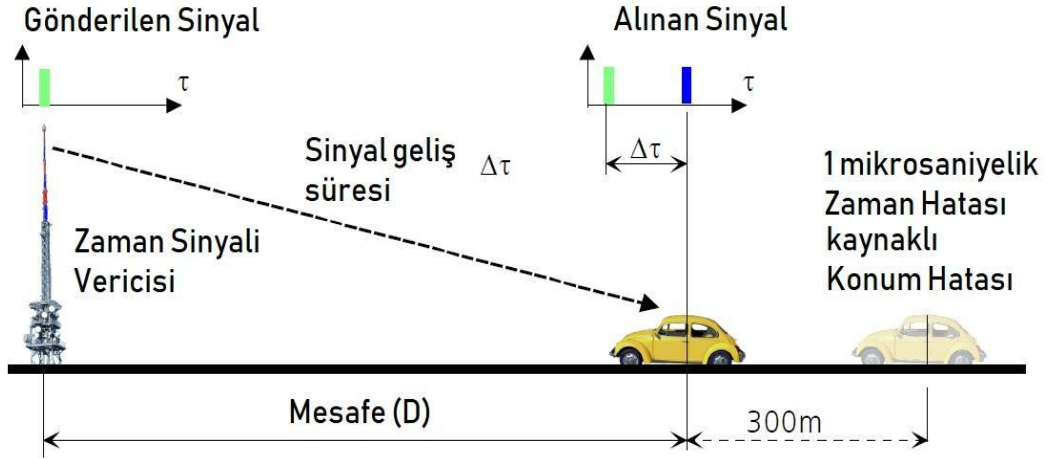
KSUS uydusu tarafından sinyalin oluşturulma ve gönderme adımları kadar KSUS alıcısı tarafından gelen sinyalin doğru bir şekilde çözülmesi de bir o kadar kıymetlidir. Temel olarak konumun hesaplanmasında sinyalin ulaşma zamanından faydalanılmakta; ilkokul yıllarından beri bilinen “Mesafe = Zaman x Hız” formülü kullanılmaktadır.

Üç boyutta konum belirlemeyi daha kolay anlayabilmek için öncelikle yerde bir boyutta hareket eden bir arabanın, yerde bulunan zaman sinyali vericisi ile konumunun bulunmasının incelenmesi fayda sağlayacaktır.

Şekil 2.4’de yer alan bir arabanın konumunun bulunması için bir zaman sinyali vericisinden bir sinyal gönderildiğinde sinyal geliş süresine göre konum hesaplanabilmektedir.

$$D = \Delta\tau \cdot c \quad (2.1)$$

Fakat bu sinyalde 1 mikrosaniyelik bir hata bile olsa arabanın konumunun 300 metre yanlış olmasına sebep olacaktır.

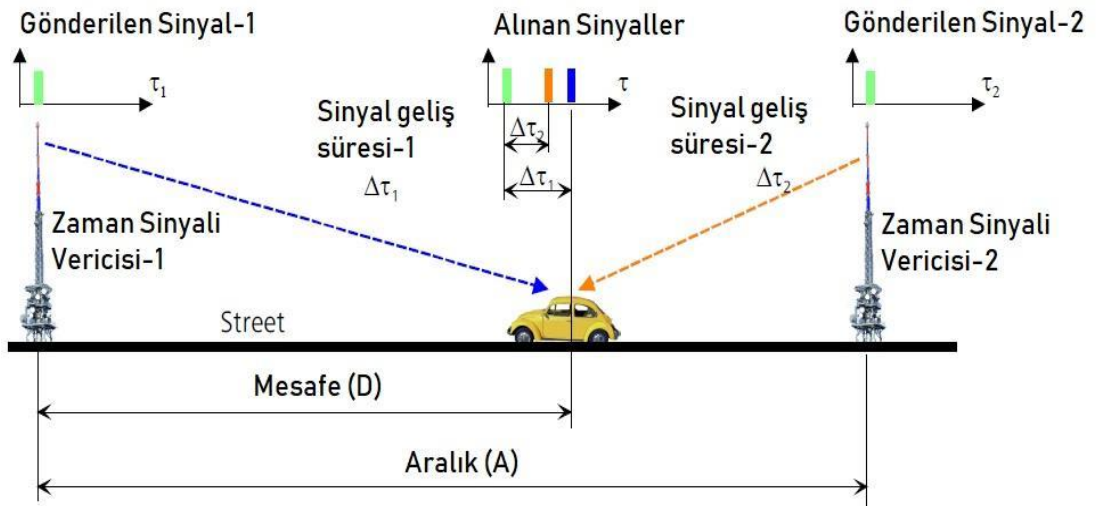


Şekil 2.4: Tek Sinyalle Konum Tespiti.

(GPS Essentials of Satellite Navigation Compendium, 2009)'dan uyarlanmıştır.

Bunu çözebilmek için ise ya zaman sinyali vericisinin düzeltilmesinin hassas bir şekilde yapılması ya da ikinci bir zaman sinyali vericisinin kullanılması gerekecektir. Öyle ki formül aşağıdaki şekilde değişecek ve örnek gösterim Şekil 2.5'teki gibi olacaktır.

$$D = \frac{(\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2) \cdot c + A}{2} \quad (2.2)$$

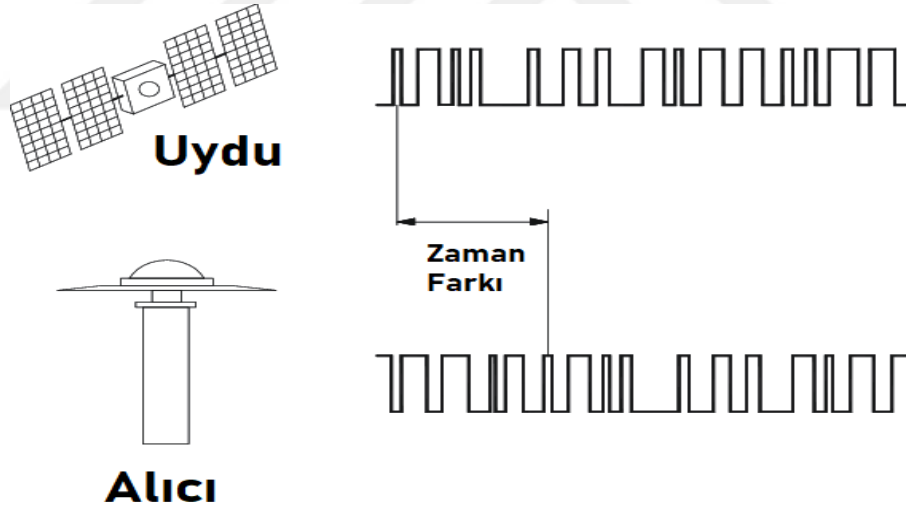


Şekil 2.5: Farklı Sinyallerle Konum Tespiti.

(GPS Essentials of Satellite Navigation Compendium, 2009)'dan uyarlanmıştır.

Bir boyuttaki hatayı giderebilmek için 2 verici gerekirken üç boyutlu bir ortamda ise dört farklı vericiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünyadan kilometrelerce uzakta olan ve atmosferde uzun yol kateden KSUS sinyalleri ile hassas konum belirleyebilmek için hem uydu hem de alıcı tarafında çok hassas zaman senkronizasyonuna ihtiyaç olduğu görülmektedir. Uydu tarafındaki zaman hassaslığı uydu üzerindeki atomik saatler ve yer kontrol istasyonu düzeltmeleriyle sağlanırken, her KSUS alıcısına atomik saat koymak maliyet etkin bir çözüm olarak görülmemektedir. Bu sebeple KSUS alıcılarının zaman hatalarının önüne geçebilmek için bir uyduyu diğer uydularla karşılaştıran çeşitli algoritmalarla zaman gecikmesine yönelik kendi içinde düzeltme yapılabilmektedir. KSUS alıcısında uydu konumları hatasının önüne geçebilmek için hafızasındaki KSUS'a ait parametrik bilgiler doğrultusunda, alınan seyrüsefer mesajından uyduların hassas konumu güncellenmektedir. Uydu ve alıcı tarafındaki sinyallere ait örnek gösterim Şekil 2.6'da yer almaktadır.

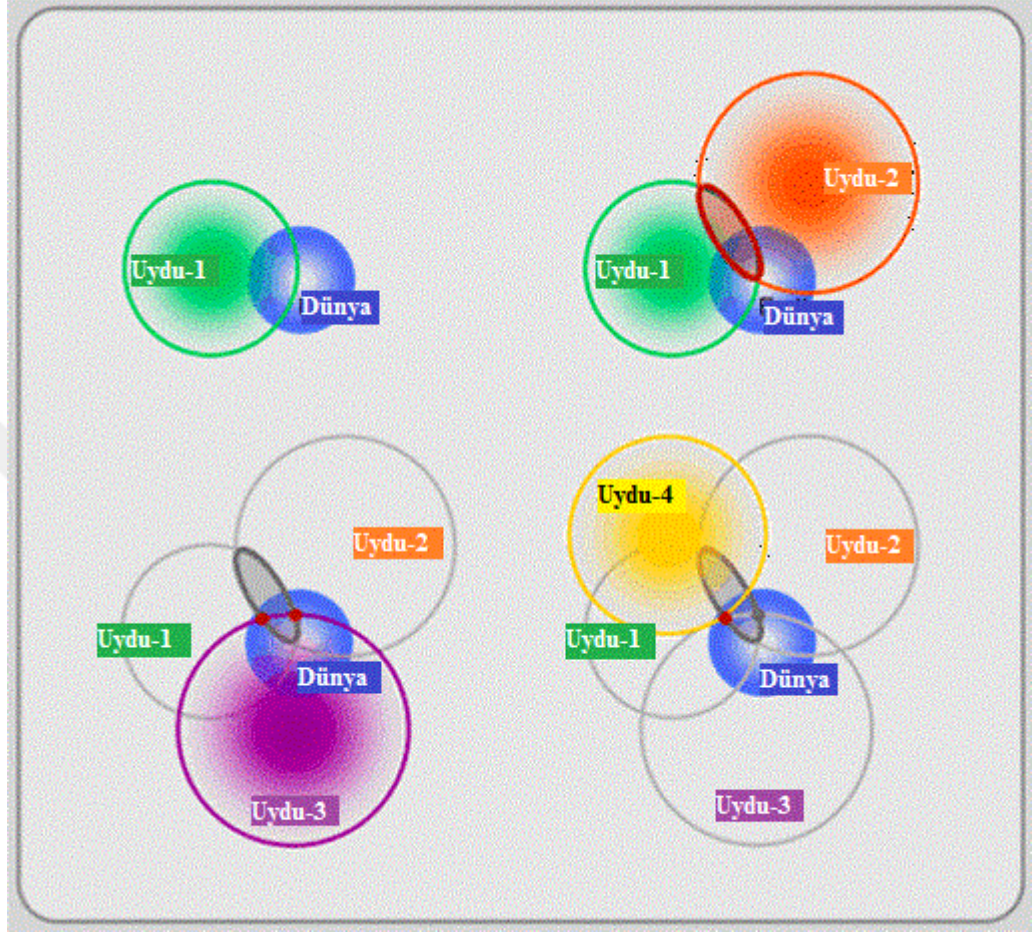


Şekil 2.6: Uydu Alıcı Arasındaki Zaman Farkı.

(Im vd., 2013)'den uyarlanmıştır.

Yerde bulunan bir alıcının konumunun belirlenmesi için bir uydu yetmemektedir. Tek uydu yerküre üzerinde sadece yay oluşturmaktadır. Gerçek konum bu yayın içerisinde bilinmeyen bir noktada bulunmaktadır. İki uydudan elde edilen yayların kesişmesiyle ise konum bölgesi daraltılmaktadır. Üçüncü uydu marifetiyle gerçek konum iki olası

noktaya indirgenmektedir. Dördüncü uydu ile de doğru konum bulunmuş olacaktır. Örnek Şekil 2.7’de yer almaktadır.



Şekil 2.7: Konum Tespiti.

(Schmandt, 2020)’den uyarlanmıştır.

KSUS’un her ne kadar mucizevi bir kullanımı olsa da yerden yaklaşık 20.000 km uzaklıkta olan uydulardan gelen sinyallerin oldukça zayıf (1×10^{-16} Watt) gelmesi sebebiyle sinyaller, elektronik karıştırmaya oldukça müsaittir. Bundan dolayı harekât alanlarında sıklıkla fakat yedekli sistemlerle beraber kullanılmaktadır. Özellikle havacılık sektöründe uçaklarda ve İnsansız Hava Araçlarında (İHA) ataletsel seyrüsefer çözümleri ile uçan platformlar desteklenmektedir.

Devletlerin olası bir kriz, gerginlik ve harp durumunda başka devletlere olan bağımsızlığını azami hale getirmek için kendi KSUS’larını teşkil etmişlerdir. Bu

sistemlerin genel olarak çalışma mantığı birbirine paralel bir şekildeyken kapsadığı alanlar ve kullanılan frekanslar farklı olabilmektedir. Türkiye Cumhuriyeti olarak kendi KSUS'unuzu yapana dek yaygınlıkla kullanılan diğer ülkelerin KSUS'larının özelliklerinin bilinmesi kullanılan hizmet seçimi anlamında büyük fayda sağlayacaktır.

2.2. GPS (Global Positioning System-Küresel Konumlama Sistemi)

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından geliştirilen GPS kullanıcılara konumlama, seyrüsefer ve zamanlama servisleri sunmaktadır. GPS için ilk uydu 1978 yılında uzaya fırlatılmış ve sistemin tam anlamıyla çalışması ise 1990'lı yılların ortalarını bulmuştur (Xu ve Xu, 2016).

Sistem temel olarak üç farklı kısımdan oluşmaktadır: Uzay, Kontrol ve Kullanıcı Bölümü (GPS Overview, 2021).

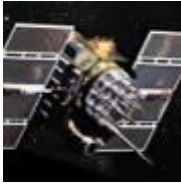
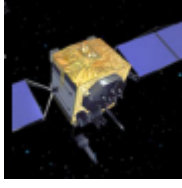
2.2.1. Uzay Bölümü

GPS Uyduları, Orta Dünya Yörüngesinde yerden yaklaşık 20.000 km yüksekte konuşlanmakta ve her uydu dünyayı günde iki defa dolanmaktadır. GPS'in kullanıcılar tarafından doğru veri almasını garantilemek için GPS uyduları bir kullanıcının bulunduğu noktada en az dört uyduyu görebilecek şekilde yörüngelerinde uygun şekilde konumlandırılmıştır. GPS için her birinde dörder uydu olmak üzere 6 farklı düzlem bulunmaktadır. Söz konusu 24 uydunun aralarında eşit olarak 60° fark bulunmakta ve orbital yüzeyler 55°'dir. GPS uyduları dünyanın etrafında neredeyse dairesel bir pozisyonda dönmektedir. Yarı majör eksen 26.578 km ve periyodu ise 12 saattir. GPS uydularının çalışabilmesi için üzerlerinde güneş panelleri ve hassas zaman bilgisi için atomik saatler bulunmaktadır (Xu ve Xu, 2016).

ABD, Haziran 2011 ayında 27 slotluk GPS uydusu yapısına geçerek kullanıcılara daha iyi bir hizmet vermeyi amaçlamıştır (Space Segment, 2021).

Hâlihazırdaki GPS uydularının düzeni, eski ve modernize uydulardan oluşmaktadır. 2021 yılına ait bilgi kapsamında GPS uydularının sayısına ve özelliklerine yönelik detaylar Tablo 2.1'de yer almaktadır.

Tablo 2.1: GPS Uyduları.

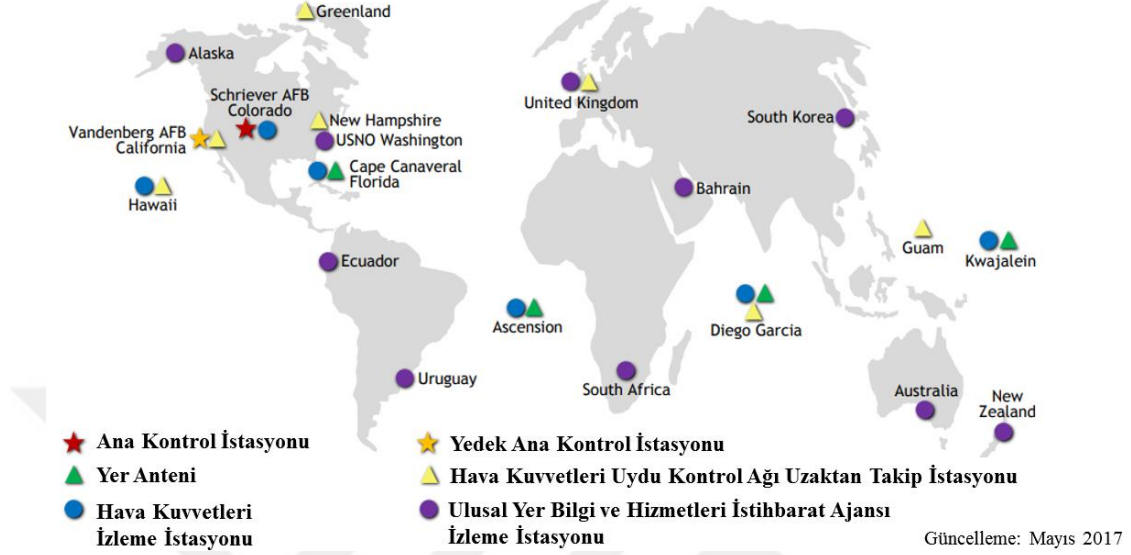
Eski Nesil Uydular		Modernize Edilmiş Uydular		
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III/IIIF
0 Faaliyette	7 Faaliyette	7 Faaliyette	12 Faaliyette	4 Faaliyette
• L1 frekansında siviller için C/A Kodu • Askeri kullanım için L1 ve L2 frekanslarında hassas P/Y Kodu • 7,5 yıllık ömür • 1990-1997 yılları arasında fırlatıldı. • Son olan 2019 yılında devreden çıkarıldı.	• L1 frekansında siviller için C/A Kodu • Askeri kullanım için L1 ve L2 frekanslarında hassas P/Y Kodu • Tümleşik saat gözlemlene • 7,5 yıllık ömür • 1997-2004 yılları arasında fırlatıldı.	• Tüm eski sinyaller • Siviller için ikinci frekans (L2C) • Karıştırmaya karşı dirençli hale getirilmiş yeni askeri M kodlu sinyaller • Askeri sinyaller için esnek güç seviyeleri • 7,5 yıllık ömür • 2005-2009 yılları arasında fırlatıldı.	• Tüm BLOCK IIR-M sinyalleri • Siviller için üçüncü frekans (L5) • Gelişmiş atomik saatler • İyileştirilmiş doğruluk ile sinyal kalitesi ve gücü • 12 yıllık ömür • 2010-2016 yılları arasında fırlatıldı.	• Tüm BLOCK IIF sinyalleri • Siviller için dördüncü frekans (L1C) • Sağlamaştırılmış sinyal güvenilirliği, doğruluğu ve bütünlüğü • Seçici Kullanılabilirlik (Selective Availability) Özelliği yok • 15 yıllık ömür • IIF:Lazer yansıtıcılar; arama ve kurtarma faydalı yükü • İlk olarak 2018 yılında fırlatıldı.

(Space Segment, 2021)'den uyarlanmıştır.

2.2.2. Kontrol Bölümü

GPS Kontrol Bölümü, dünyanın farklı yerlerinde bulunan ve GPS uydularını takip eden, yayınlarını izleyen, analiz yapan, gerektiğinde veri gönderen birimlerin oluşturduğu bir ağıdır. Bu ağda, 1 Ana Kontrol İstasyonu, 1 Yedek Ana Kontrol İstasyonu, 4 Yer Anteni, 6 Hava Kuvvetleri İzleme İstasyonu, 7 Hava Kuvvetleri Uydu Kontrol Ağı Uzaktan Takip İstasyonu, 10 Ulusal Yer Bilgi ve Hizmetleri İstihbarat Ajansı İzleme İstasyonu olmak üzere toplam 29 birim yer almaktadır. Birimlere ait

konumlar Şekil 2.8’de ve icra edilen görevler Tablo 2.2’de yer almaktadır (Control Segment, 2021).



Şekil 2.8: GPS Kontrol Bölümü.

(Control Segment, 2021)’den uyarlanmıştır.

Tablo 2.2: GPS Kontrol Bölümünde İcra Edilen Faaliyetler.

İzleme İstasyonları	Ana Kontrol İstasyonu	Yer Antenleri
-Üzerinden geçen GPS uydularını takip eder. -Seyrüsefer sinyalleri, mesafe/taşıyıcı ölçümleri ve atmosferik veriyi toplar. -Ana Kontrol İstasyonuna veri gönderir.	- GPS uydularının komuta ve kontrolünü sağlar. - İzleme istasyonlarından gelen verilerde uyduların hassas yerini hesaplar. -Uydulara yüklenecek seyrüsefer verisini oluşturur. - Uyduların yayın ve sistem bütünlüğünü kontrol ederek sağlık ve doğruluğu sağlar. - Uyduların bakımını ve gerekli hata düzeltmelerinin yapılmasını sağlar.	- Komut, seyrüsefer verileri ve işlemci programlarını uydulara gönderir. - Telemetry verisini toplar.

2.2.3. Kullanıcı Bölümü

GPS'in kullanımının ücretsiz olması sebebiyle günlük hayatta birçok alanda yer almaktadır. GPS, ilk tasarlandığında sadece askeri amaçla kullanılacağı değerlendirilse de teknolojinin farklı alanlarındaki gelişmeler sayesinde GPS alıcılarının fiyatları gün geçtikçe ucuzlamış ve insanların vazgeçilmezleri arasında yer almaya başlamıştır.

Sivil kullanımda; hava/kara/deniz ulaştırması, bilim, güvenlik, haritalama, telekomünikasyon, finansal servisler, sosyal aktiviteler, tarım, madencilik, gibi birçok alanda GPS karşımıza çıkmaktadır. Kullanım alanları değerlendirildiğinde GPS'in öncelikli olarak konum ve seyrüsefer verileri akla gelse de hassas zaman bilgisi de en önemli özelliklerinden biridir. GPS için merkez frekans bilgileri Tablo 2.3'de yer almaktadır (GPS Applications, 2014).

Tablo 2.3: GPS Sinyal Bilgileri.

S/N	Adı	Frekansı (MHz)
1	GPS L1	1575,42
2	GPS L2	1227,60
3	GPS L5	1176,45

2.3. GLONASS (Globalnaya Navigatsyonnaya Sputnikovaya Sistema-Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi)

1957'de Şyebşayeviç Baris Valyentinaviç tarafından uyduların seyrüsefer amaçlı kullanımı fikri atılmasıyla radyo-astronomi teknolojisinin havacılık alanında kullanımı ile ilgili araştırmalar Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği (SSCB) tarafından başlatılmıştır. İlk Sovyet seyrüsefer uydusu olan "Cosmos-192" ise 1967 yılında fırlatılmış ve etkin ömrü boyunca 150 ve 400 MHz'lerde seyrüsefer sinyali sağlamıştır. Dört uydudan oluşan "Tsikada" sistemi ise 1979'da devreye alınmıştır. Söz konusu sistem için seyrüsefer uyduları, belirli bir eğim (83°) ve ekvatora eşit dağılmış yörünge düzlemleri ile 1000 km yüksekliğindeki dairesel yörüngelere yerleştirilmiştir. Bu sayede kullanıcılar 1,5-2 saatte bir konumlarının düzeltilmesi için 5-6 dakikalık bir süreye sahip olmaktadır. "Tsikada" seyrüsefer sistemi, kullanıcıdan uyduya olan tek yönlü mesafe ölçümleri için kullanılmıştır. Tsikada'nın ilk zamanlardaki sınırlı yeteneklerini artırabilmek için birçok çalışma yapılmıştır. Gemiler ve uçakların acil durumda gönderebilecekleri yayınları tespit edebilmek için Tsikada uydularına alıcı birimler yerleştirilmiştir. Tsikada uyduları, acil durum sinyallerini aldıktan sonra

hassas koordinatlarının hesaplanmasının yapıldığı özel yer istasyonlarına yeniden yayın yapmış ve ABD-Fransız-Kanada "Sarsat" sistemi ile birlikte binlerce hayatı kurtaran bütünleşmiş bir arama ve kurtarma hizmeti oluşturan "Cospas" sistemini oluşturmuştur.

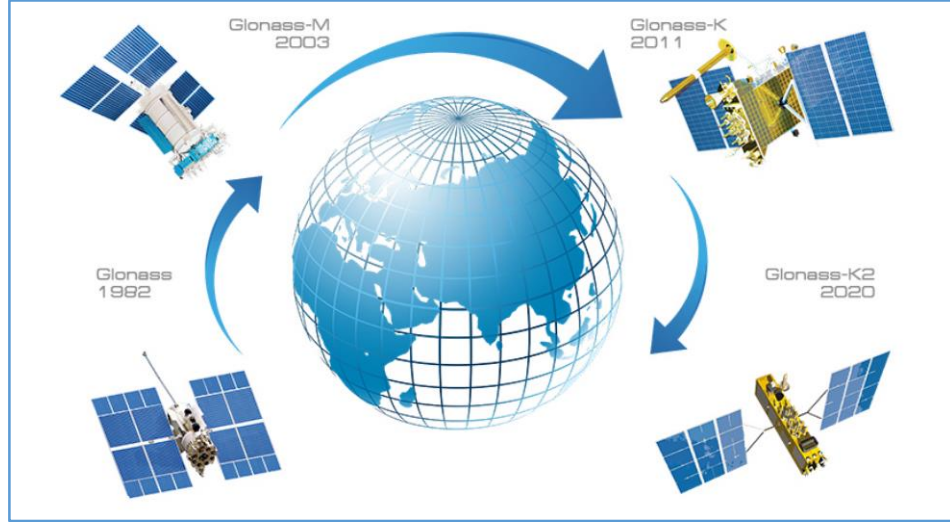
Tsikada seyrüsefer sistemi (ve modernize edilmiş “Tsikada-M”) askeri kullanıcıların seyrüsefer desteği için tasarlanmış ve 1976'dan beri kullanılmaktadır. 2008 yılında ise “Tsikada” ve “Tsikada-M”in alçak yörüngede olması sebebiyle kullanıcılarını gereksinimlerini karşılayamaz hale gelmiş ve bu sistemlerin çalışması durdurularak mevcut kullanıcılar GLONASS’ı kullanmaya başlamışlardır.

Yüksek yörüngede çalışması planlanan GLONASS için uçuş testleri, “Kosmos-1413” uydusunun fırlatılmasıyla 1982 yılının Ekim ayında başlamış ve GLONASS sistemi resmi olarak ise 1993 yılında faaliyete geçmiştir. 1995 yılında birinci nesil 24 GLONASS uydusu ile tamamen işlevsel bir takımuydu haline getirilmiştir. Tüm bunlara rağmen ise en büyük dezavantajı ise sivil seyrüsefer ekipmanlarının ve kullanıcıların eksikliği olmuştur.

1990 yılında uzay endüstrisi için sağlanan fonun azalması, GLONASS takımuydularının kalitesinin bozulmasına yol açmış, tarih 2002'yi gösterdiğinde ise seyrüsefer için yetersiz denebilecek sadece 7 uydu vardı. GLONASS, doğruluk özelliklerinde GPS'in gerisindeydi ve uyduların aktif ömrü 3-4 yıl arasını kapsamaktaydı. GLONASS’ın kullanımı için iyileştirme kapsamında ise 2002 yılında kabul edilen “2002-2011 için Küresel Seyrüsefer Sistemi” federal programı oluşturulmuştur.

3 Mart 2012 tarihli ve 189 sayılı Hükümet Kararnamesi'ne göre yeni görevlerin yeni koşullarda çözülmesi için 2012'de yeni federal program olan “2012-2020 için GLONASS Sürdürme, Geliştirme ve Kullanım” başlatılmıştır. Görüldüğü gibi Rusya tarafından GLONASS’a olan destek asla bitmemiş ve artarak devam etmektedir. Günümüzde giderek daha geniş bir uygulama alanı bulan GLONASS için kullanıcı seyrüsefer ekipmanları da geliştirilmeye devam etmektedir. GLONASS seyrüsefer alıcı ekipmanının küçük boyutu ve yüksek hassasiyetinin çok önemli olduğu önemli sayıda özel ve sivil uygulamada yaygınlıkla kullanılmaktadır.

GLONASS uydularına ait tarihsel süreç Şekil 2.9’da ve detaylar Tablo 2.4’de yer almaktadır (About GLONASS, 2021).



Şekil 2.9: GLONASS Tarihi.

(About GLONASS, 2021)'den uyarlanmıştır.

Tablo 2.4: GLONASS Tarihi Detaylar.

				
YETENEKLER	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K	GLONASS-K2
Konuşlanma Zamanları	1982-2005	2003-2016	2011-2018	2017+
Durum	Hizmetten çıkarıldı	Kullanımda	Yörünge içi doğrulamaya dayalı tasarım olgunlaştırması	Geliştirilmekte
Yörünge Özellikleri	Dairesel Eğim - 64,8° Periyot - 11 saat 15 dakika 44 saniye İrtifa - 19100 km			
Takımyıldudaki Seyrüsefer Uydusu Sayısı	24			
Yörüngesel Düzlem Sayısı	3			
Her Düzlemdeki Uydusu Sayısı	8			
Tasarım Ömrü	3,5 yıl	7 yıl	10 yıl	10 yıl

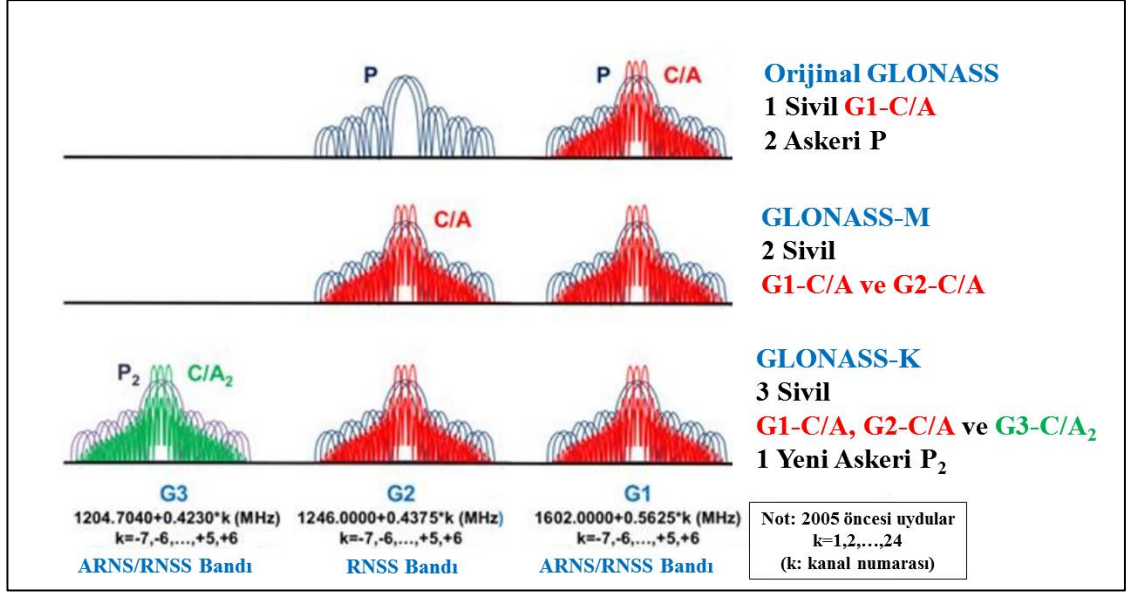
Tablo 2.4 - devam.

Kullanıma Açık FDMA Sinyaller (Merkez Frekans)	●L1OF (1602 MHz)	●L1OF (1602 MHz) ●L2OF (1246 MHz) ●L3OC (1202 MHz) (755 nolu uydu ve sonrası)	●L1OF (1602 MHz) ●L2OF (1246 MHz) ●L3OC (1202 MHz) ●L2OC (1248 MHz) (17L nolu uydu ve sonrası)	●L1OF (1602 MHz) ●L2OF (1246 MHz) ●L1OC (1600 MHz) ●L2OC (1248 MHz) ●L3OC (1202 MHz)
Kısıtlı Erişimli Sinyaller	●L1SF (1592 MHz) ●L2SF (1237 MHz)	●L1SF (1592 MHz) ●L2SF (1237 MHz)	●L1SF (1592 MHz) ●L2SF (1237 MHz) ●L2SC (1248 MHz) (17L nolu uydu ve sonrası)	●L1SF (1592 MHz) ●L2SF (1237 MHz) ●L1SC (1600 MHz) ●L2SC (1248 MHz)

(About GLONASS, 2021)'den uyarlanmıştır.

GLONASS, GLONASS-M, GLONASS-K ve K2 genel olarak iki frekans alt bandını (L1 yaklaşık 1,6 GHz ve L2 yaklaşık 1,25 GHz) kullanmaktadır. GLONASS ve GLONASS-M'in GPS ve Galileo gibi diğer KSUS'lardan en büyük farkı CDMA (Code Division Multiple Access-Kod Bölmeli Çoklu Erişim) yerine sadece FDMA (Frequency Division Multiple Access-Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) kullanmasıdır. Her uydu kendi taşıyıcı frekansında yayın yaparken aynı düzlemde ama birbirinin konumsal olarak zıt noktada bulunan iki uydu aynı frekansta yayın yapabilmektedir. GLONASS-K ile ilk defa FDMA'ya ilave olarak CDMA yeteneği de kazandırılmıştır.

ARNS (Aeronautical Radio Navigation Service-Havacılık Radyo Seyrüseferi Servisi) ve RNSS (Radio Navigation Satellite Service-Radyo Seyrüseferi Uydu Servisi) bantlarını da içeren GLONASS sinyal spektrumu Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10: GLONASS Sinyal Yapısı.

(GLONASS General Introduction, 2018)'den uyarlanmıştır.

GLONASS sisteminde iki temel hizmet mevcuttur:

SPS (Standart Positioning System-Standart Konumlandırma Hizmeti): Dünya çapındaki kullanıcılar için ücretsiz bir hizmettir. Seyrüsefer sinyali başlangıçta yalnızca G1 frekans bandında sağlandıktan sonra 2004 yılına gelindiğinde ise GLONASS-M kapsamında G2'de ikinci bir sivil sinyalde yayınlanmaya başlanmıştır.

PPS (Precise Positioning System-Hassas Konumlandırma Hizmeti): SPS'ten farklı olarak G1 ve G2 bantlarında sadece askeri ve yetkili kullanıcılarla sınırlıdır (GLONASS General Introduction, 2018).

GLONASS mimarisi GPS'e benzer şekilde üç bölümden oluşmaktadır: Uzak, Kontrol ve Kullanıcı Bölümleri.

2.3.1. Uzak Bölümü

Uzak bölümünün temel işlevleri, radyo seyrüsefer sinyallerini iletmenin yanında ayrıca Kontrol Bölümünden gönderilen seyrüsefer mesajlarını kaydederek yeniden iletme. İletimler ise uydularda bulunan hassas atomik saatlerin marifetiyle kontrol edilmektedir.

GLONASS Uzay Bölümü üç yörünge düzlemi üzerine dağıtılmış 24 operasyonel uydudan oluşmaktadır. Yükselen düğümün boylamı, düzlemden düzleme 120° farklılık göstermektedir. Düzlem içindeki sekiz uydu, 45° enlem argümanı farklılığı ile iki farklı yörünge düzlemindeki eşdeğer yuvalarda, uydular ise 15° enlem argümanı farklılığı ile konumlanmaktadır. Bu tanımlara göre de uydular slot numarasına tanımlanmaktadır. Slot numaralarına göre uydu konumları Şekil 2.11’de yer almaktadır (GLONASS Space Segment, 2018).



Şekil 2.11: GLONASS Uyduları.

(GLONASS Space Segment, 2018)’den uyarlanmıştır.

2.3.2. Kontrol Bölümü

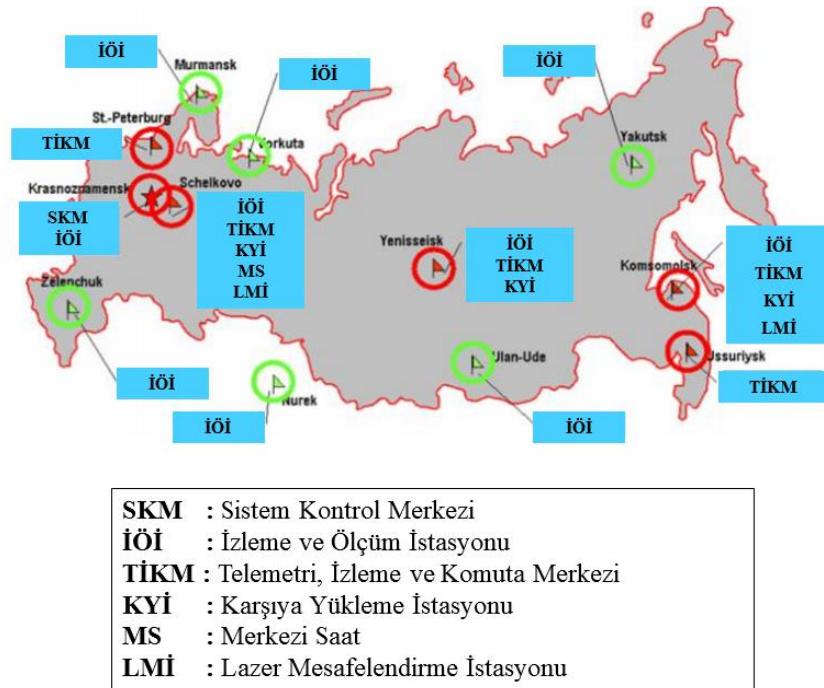
GPS’te olduğu gibi tüm sistemin doğru bir şekilde işlemesinden sorumlu olan GLONASS Kontrol Bölümü, görevlerini uydu durumlarını takip ederek ve gerekli güncellemeleri günde iki kez uydulara yükleyerek yerine getirmektedir.

GLONASS Kontrol Bölümü:

- 1 Sistem Kontrol Merkezi (Krasnoznamensk),
- 5 Telemetri, İzleme ve Komuta Merkezi (Schelkovo, Komsomoisk, St-Peterburg, Ussuriysk ve Yenisseisk),
- 1 Merkezi Saat (Schelkovo),
- 3 Karşıya Yükleme İstasyonu (Yenisseisk, Komsomoisk ve Schelkovo),
- 2 Lazer Mesafelendirme İstasyonu (Schelkovo ve Komsomoisk),
- 4 İzleme ve Ölçüm İstasyonundan (Schelkovo, Krasnoznamensk, Yenisseisk ve Komsomolsk) oluşan bir ağdan oluşmaktadır.

Yakın gelecekte ise 6 ek İzleme ve Ölçüm İstasyonunun faaliyete geçmesi planlanmaktadır (Yakutsk, Ulan-Ude, Nurek, Vorkuta, Murmansk ve Zelenchuk).

Söz konusu merkezlere ait harita, Şekil 2.12’de yer almaktadır (GLONASS Ground Segment, 2014).



Şekil 2.12: GLONASS Kontrol Bölümü.

(Revnivkykh, 2008)’den uyarlanmıştır.

Sistem Kontrol Merkezi (SKM), GLONASS uydularının yönetiminden sorumlu birimdir. SKM, uydu saatini ve yörünge durumlarını belirlemek için Telemetri, Komuta ve İzleme Merkezlerinden (TİKM) gelen bilgileri işlemektedir. İşlenen bilgi, kontrol bilgilerinin iletimi için de kullanılan Karşıya Yükleme İstasyonları (KYİ) aracılığıyla uydulara iletilmektedir. Lazer Mesafelendirme İstasyonları (LMİ) ise GLONASS yörünge ölçümleri için doğruluk tahmini ve radyo frekansı araçlarının kalibrasyonu gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Merkezi Saat (Senkronize edici) ise görevini, GLONASS sistemi zaman ölçeğini düzenlemek için yüksek hassasiyetli bir hidrojen atom saati sayesinde sağlamaktadır.

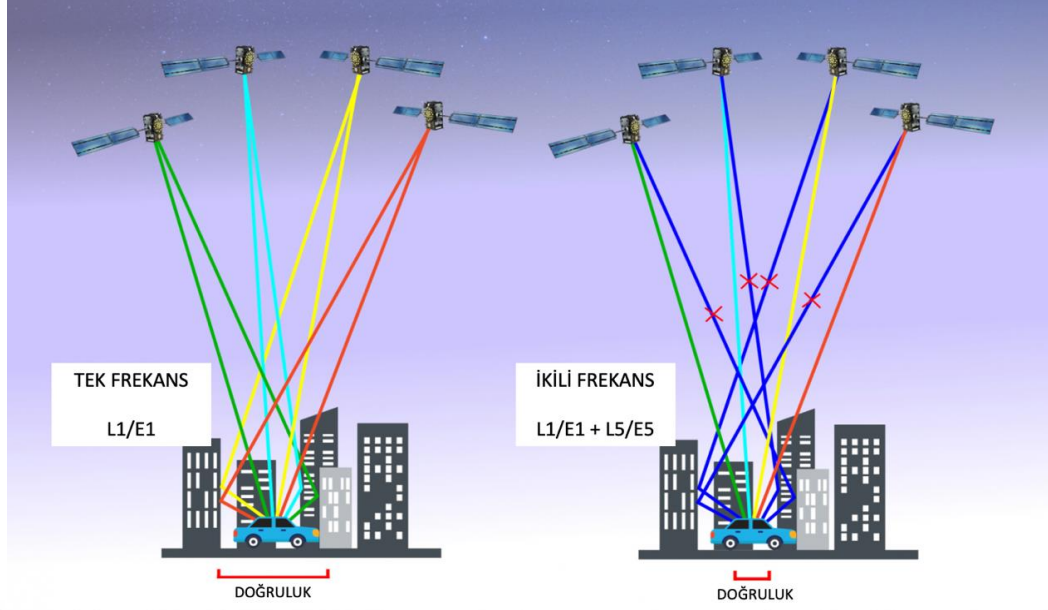
2.3.3. Kullanıcı Bölümü

GPS'e kıyasla daha yavaş gelişim gösteren GLONASS, uygun bantta çalışan bir KSUS alıcısıyla kullanıcılarına hizmet vermektedir. Günümüzde bakıldığında GPS'e benzer şekilde; askeri ve sivil alanlarda; iletişim ve enerji sistemleri senkronizasyonu, jeodezi, haritacılık, tektonik, seyrüsefer, mühendislik, çevre koruma, arama ve kurtarma vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

2.4. Galileo

Dünyada her ne kadar GPS ve GLONASS'ın kullanımı yaygınlaşmış olsa da bu sistemlerin ABD ve Rusya'nın Silahlı Kuvvetleri temelli olmasından dolayı kriz ve savaş dönemlerinde diğer ülkelere hizmet vereceği tartışmalı bir konu haline gelmiştir. Bu amaçla da Avrupa devletlerinin ortak girişimi sonucunda sivil kontrollü hassas bir KSUS olan Galileo programı oluşturulmuştur (Galileo General Introduction, 2021).

Galileo programı tek başına çalışabildiği gibi GPS ve GLONASS'tan elde edilen sinyallerle melez bir şekilde daha hassas bir konum sağlayabilmektedir. Özellikle şehir içi gibi binaların yoğun olduğu yerlerde sinyallerin çoklu yol (multipath) hatalarına karşı gürbüzlük de sağlanacaktır. Bununla ilgili örnek Şekil 2.13'de yer almaktadır (Market Understands Value of Dual Frequency, 2020).



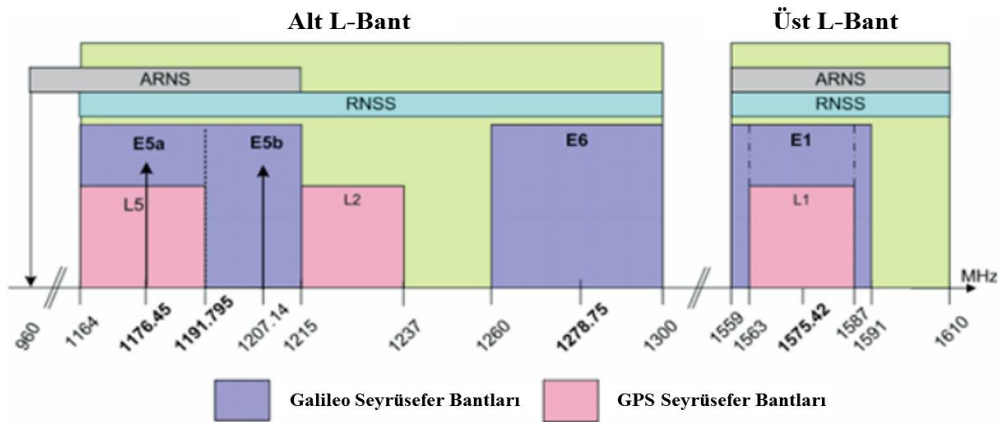
Şekil 2.13: Galileo Doğruluk Artırımı.

(Market Understands Value of Dual Frequency, 2020)'den uyarlanmıştır.

Galileo tam olarak fonksiyonel olduğunda kullanıcılarına;

- OS (Open Service-Açık Hizmet),
 - HAS (High Accuracy Service-Yüksek Doğruluklu Hizmet)
 - PRS (Public Regulated Service-Kamunun Düzenlediği Hizmet)
 - SAR (Search and Rescue-Arama ve Kurtarma) hizmetleri sağlayacaktır
- (Galileo Services, 2021).

GPS ve Galileo'ya ait karşılaştırmalı bantlar Şekil 2.14'de yer almaktadır.



Şekil 2.14: Galileo ile GPS Seyrüsefer Bantları.

(Galileo Signal Plan, 2022)'den uyarlanmıştır.

2.4.1. Uzak Bölümü

Galileo uzak bölümü, altısı yedek olmak üzere MEO yörüngesine (23.222 km) yerleştirilmiş otuz uydudan oluşmaktadır. Bu uydular üç farklı yörünge düzleminde 56° nominal eğimde yer almaktadır. Tüm uydular, tasarım, performans kapasitesi ve yakıt yükü bakımından birbirinin aynısıdır. Çoğu konumdan altı ile sekiz uydu her zaman görünür olmakta ve konumların birkaç santimetreye kadar çok hassas bir şekilde belirlenmesine olanak tanınmaktadır. Yüksek binaların olduğu yoğun şehirlerde bile, Galileo sistemi ABD'nin 24 GPS uydusu sistemiyle birlikte çalışabilir olması nedeniyle, bir pozisyon almak için yeterli uyduya sahip olma ihtimalini yükseltmektedir.

Galileo Uydu Bileşenleri:

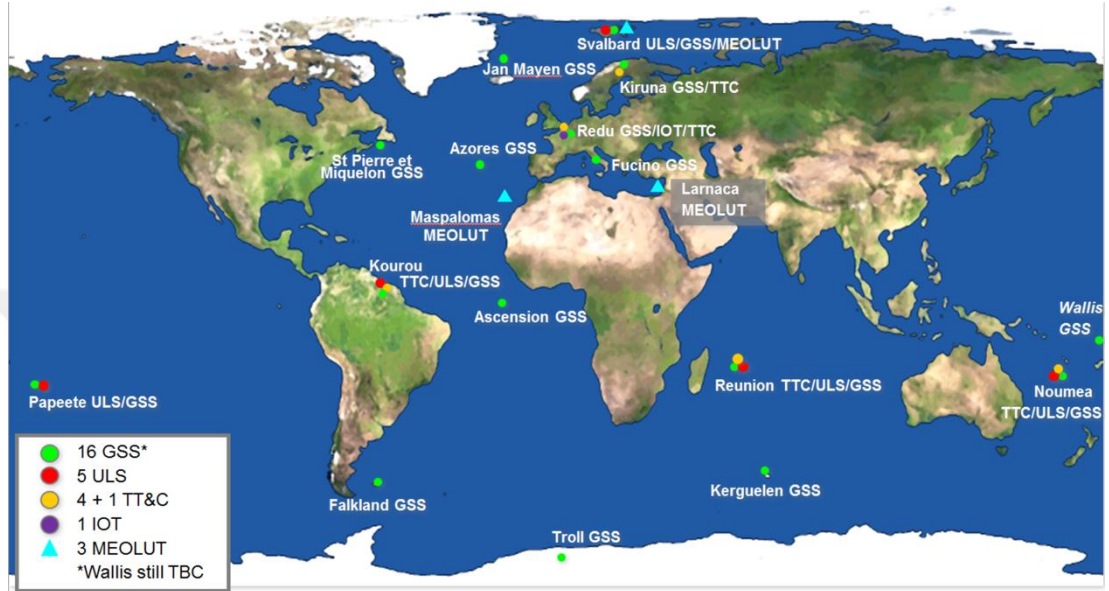
- L Bant Anten (1200-1600 MHz arası seyrüsefer sinyalleri),
- C Bant Anten (Galileo Uplink (Yukarı Veri) İstasyonlarından görev verisi alma),
- S Bant Antenleri (Telemetri, İzleme ve Komuta Alt Sistemi),
- Arama ve Kurtarma Anteni (Acil durum sinyallerini alma ve iletme),
- Güneş Panelleri (Enerji Sağlama),
- İtici (Uydu Pozisyon Düzeltme),
- İstifleme Kancaları (Roket uçuşu sırasında kanatların katlı olmasını sağlama),
- Kızılötesi Dünya Sensörleri (Dünyayı takip etme),
- Güneş Sensörleri (Güneş panellerinin güneşten faydalanmasını sağlama),
- Lazer Retro-Yansıtıcılar (Uydunun yüksekliğini kontrol etme),
- Uzak Radyatörleri (Uydunun sıcaklık dengesini sağlama) (Galileo Space Segment, 2021).

2.4.2. Kontrol Bölümü

GPS ve GLONASS'a benzer şekilde Galileo seyrüsefer uydularının kontrolü için merkezler bulunmaktadır. Bunlar: Oberpfaffenhofen (Almanya) ve Fucino'dur (İtalya). Bu merkezler sayesinde Yer Kontrol Bölümü (YKB) tarafından desteklenen kontrol fonksiyonları ve Yer Görev Bölümü (YGB) tarafından desteklenen görev fonksiyonları yürütülür. YKB, uydularının Telemetri, İzleme ve Komuta (Kontrol) İstasyonları ağı marifetiyle uydularının sağlıklı bir şekilde kalmasını görevlerin uygun bir şekilde yapılmasını sağlar. YGB ise Galileo Sensör İstasyonları (GSİ) ile

seyrüsefer ve zamanlama bilgilerini elde eder, bu verileri Karşıya Yükleme İstasyonlarına (KYİ) gönderir ve KYİ'ler ise bu verileri uydulara gönderir (System, 2021).

Galileo Kontrol Bölümü Bileşenleri Şekil 2.15'de yer almaktadır.



Şekil 2.15: Galileo Kontrol Bölümü.

(Galileo Remote Sites, 2015)'den uyarlanmıştır.

- GSS (Galileo Sensor Stations - Galileo Sensör İstasyonları)
- ULS (Uplink Stations - Karşıya Yükleme İstasyonları)
- TT&C (Telemetry, Tracking and Command Stations - Telemetri, İzleme ve Komuta (Kontrol) İstasyonları)
- IOT (In Orbit Test - Yörünge Test Merkezi)
- MEOLUT (Medium Earth Orbit Local User Terminals - Orta İrtifa Yerel Kullanıcı Terminalleri) (Galileo Remote Sites, 2015).

2.4.3. Kullanıcı Bölümü

Galileo, GPS ve GLONASS'a benzer şekilde bir seyrüsefer imkânı sunmanın yanında gelecekte melez çalışmasıyla daha doğru bir veri sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sayede Nesnelerin İnterneti olarak adlandırılan ve çevremizi saran birbiriyle haberleşen akıllı cihazların ihtiyaç duyacağı konum, seyrüsefer ve zamanlama bilgisi

hassas doğrulukla kullanılabilecektir. Askeri ve sivil ulaşım alanında ihtiyaç duyulan doğru seyrüsefer bu projenin en büyük meyvelerinden biri olacaktır.

Özellikle Galileo sahip olduğu Arama ve Kurtarma hizmeti sayesinde dünyanın herhangi bir yerinde zor durumda kalan bir kişiye gerekli desteği bir an önce sunabilecektir. Yüksek doğruluklu zamanlama sinyalleriyle daha doğru zaman sağlanarak bilime olan katkı daha da artırılacaktır (Galileo Applications, 2021).

GLONASS, GPS ve Galileo'nun karşılaştırması Tablo 2.5'de yer almaktadır.

Tablo 2.5: GLONASS, GPS ve Galileo Karşılaştırması.

	GLONASS	GPS	GALILEO
Nominal uydu sayısı	24	24	30
Yörünge Düzlem sayısı	3	6	3
Yörünge Eğimi	64° 8'	55°	56°
Tam Tur Süresi	11 saat 15 dakika	11 saat 58 dakika	14 saat 22 dakika
Yörünge Yüksekliği	19140 km	20180 km	23222 km
Fırlatma Konumları	Baikonur / Plesetsk	Cape Canaveral	Kourou (Fransız Guyanası)
İlk Fırlatma Tarihi	02.10.1982	22.02.1978	28.12.2005
Coğrafi Sistem Türü	PZ-90.11	WGS-84	GTRF

(GLONASS Space Segment, 2018)'den uyarlanmıştır.

3. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ

3.1. Anten Parametreleri

Bir mikroşerit yama antenin tasarımını ve analizini yapmadan önce anten ile ilgili temel hususların tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Temel olarak bir anten, EM yayınlarını gönderebilen veya alabilen (karşılıklı-reciprocal) pasif doğrusal metal bir yapıdır (IEEE Std 145-1993 (Revision of IEEE Std 145-1983) IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, 1993).

Ama bunu basit bir metal yapıdan ayıran ise; antenin ışıma örüntüsü, hüzmeler, ışıma güç yoğunluğu, ışıma şiddeti, yönlülüğü, anten verimliliği, kazancı, bant genişliği, kutuplanması, giriş empedansı gibi özelliklerdir (Balanis, 2013).

3.2. Antenin Işıma Örüntüsü ve Hüzmeler

Antenin Işıma Örüntüsü, anten tarafından oluşturulan EM alanı karakterize eden uzaysal dağılım miktarıdır. Söz konusu dağılım grafiksel (iki veya üç boyutlu) veya matematiksel bir işlev olarak tanımlanabilmektedir. Genel olarak güç akı yoğunluğu, ışıma şiddeti, yönlülük, faz, polarizasyon ve alan şiddeti, anten ışımasının özelliklerini belirlemektedir (IEEE Std 145-1993 (Revision of IEEE Std 145-1983) IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, 1993).

Işıma örüntüleri incelendiğinde bazı temel kavramlar ortaya çıkmaktadır.

Bunlar;

Ana Kulak: Azami ışıma şiddeti yönündeki ışıma kulağıdır ve referans değeri olarak 0°'lik açıya göre pozitif ve negatif yönde değerlere sahip olmaktadır. Genellikle bir tane olmakla beraber bölünmüş hüzmeli gibi özel antenlerde birden fazla ana kulak karşımıza çıkabilmektedir.

İkincil Kulaklar: Ana kulak dışında kalan istenmeyen diğer tüm kulakları kapsamaktadır.

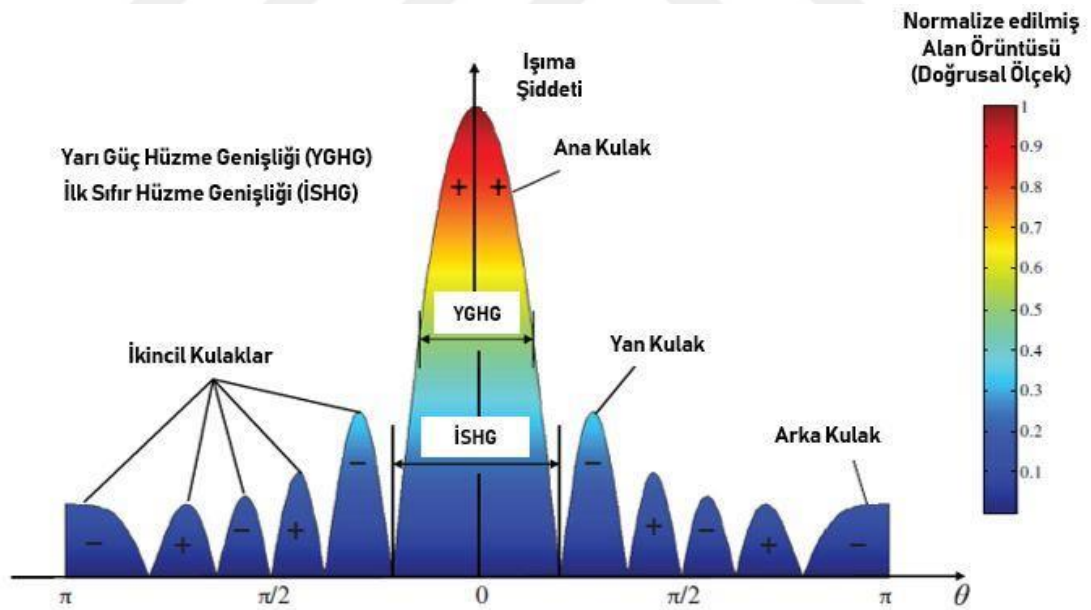
Yan Kulak: Genellikle ana kulağa komşu ve istenmeyen yöndeki en büyük ikincil kulaklardır.

Arka Kulak: Ana kulağa göre 180° 'lik farklı açıdaki ikincil kulaklardır.

İlk Sıfır Hüzme Genişliği (İSHG): Ana kulağa göre ışıma örüntüsünün ilk sıfırlandığı yerlere göre belirlenen açısal hüzme genişliğidir.

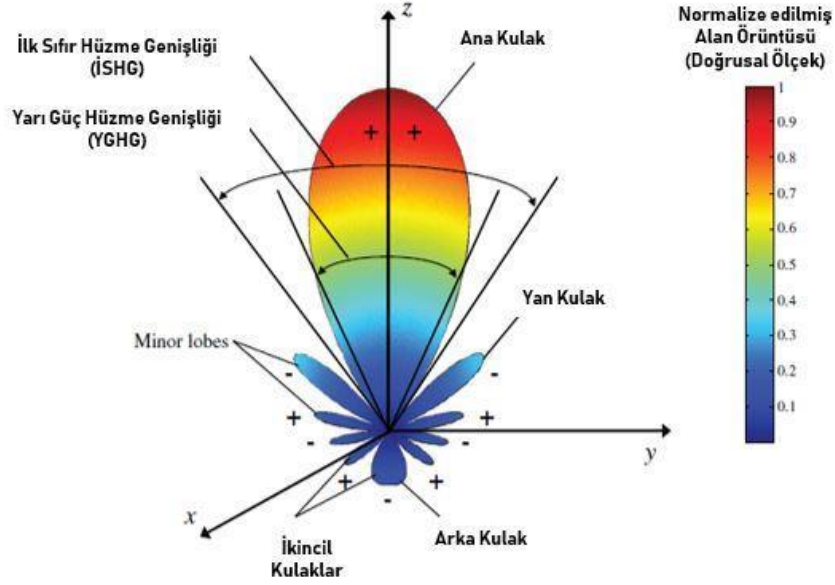
Yarı Güç Hüzme Genişliği (YGHG): Bir hüzmenin azamisini içeren bir düzlemde ışıma yoğunluğunun yarıya düştüğü (-3 dB) yönler arasındaki açıdır. Genelde “Hüzme genişliği” denildiğinde YGHG anlaşılmaktadır. Hüzme genişliği ve yan kulak seviyesi arasında ters orantı bulunmaktadır. Hüzme genişliği arttıkça yan kulakların seviyesi azalacaktır. Hüzme genişliği bir antenin ışıma kalitesinde de en belirleyici faktörlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

İşıma örüntüsüne ait temel kulaklar iki ve üç boyutlu olarak Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmektedir (Balanis, 2013).



Şekil 3.1: İki Boyutlu Normalize Edilmiş Alan Örüntüsü.

(Balanis, 2013)’den uyarlanmıştır.



Şekil 3.2: Üç Boyutlu Normalize Edilmiş Alan Örüntüsü.

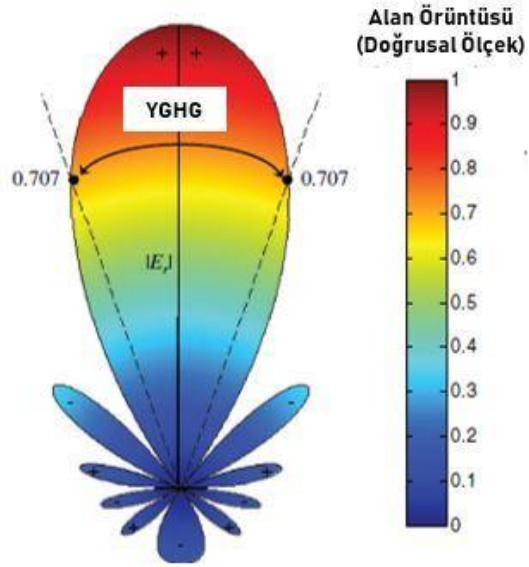
(Balanis, 2013)'den uyarlanmıştır.

Işıma Örüntüleri farklı şekillerde gösterilebilmektedir;

Alan (Genlik, Gerilim) Örüntüsü: Bir elektrik alan vektörüne ait genlik veya bağıl genliğin grafiksel gösterimidir.

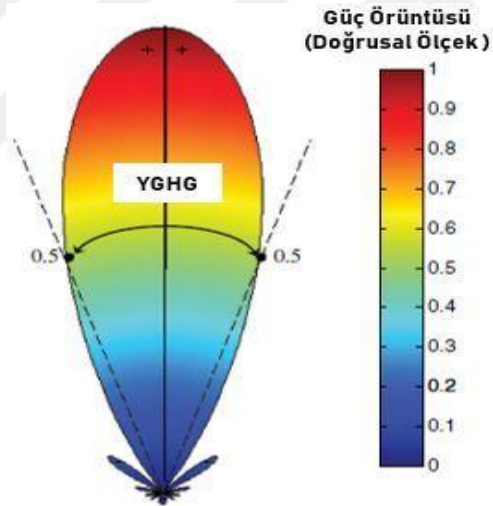
Güç Örüntüsü: Genlik veya bağıl genliğinin karesinin grafiksel gösterimidir.

Alan örüntüsüne ve Güç örüntülerine ait örnek grafiksel gösterimler Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de yer almaktadır (Balanis, 2013).



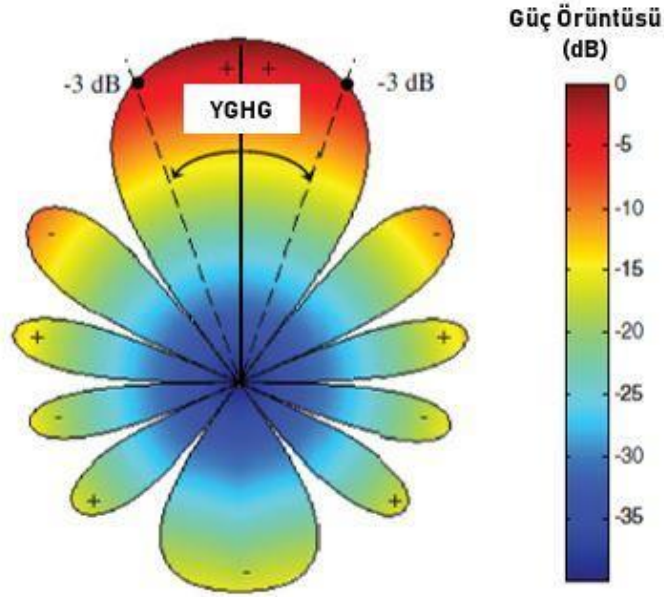
Şekil 3.3: Üç Boyutlu Alan Örüntüsü (Doğrusal Ölçek).

(Balanis, 2013)'den uyarlanmıştır.



Şekil 3.4: Üç Boyutlu Güç Örüntüsü (Doğrusal Ölçek).

(Balanis, 2013)'den uyarlanmıştır.



Şekil 3.5: Üç Boyutlu Güç Örüntüsü (dB).

(Balanis, 2013)'den uyarlanmıştır.

3.3. Antenin Yönlülüğü

Bir antenin istenilen yöndeki ışıma şiddetinin diğer tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine olan oranıdır. Ortalama ışıma şiddeti ise antenden ışıyan toplam gücün 4π sayısına olan oranıdır. Yön belirtilmediği müddetçe azami ışıma şiddetinin yönü kullanılmaktadır.

P_{rad} = Toplam Işıyan Güç (W)

D = Yönlülük (Boyutsuz)

D_{max} = Azami Yönlülük (Boyutsuz)

D_0 = Azami Yönlülük (Boyutsuz)

U = Işıma Şiddeti (W/birim katı açısı)

U_{max} = Azami Işıma Şiddeti (W/birim katı açısı)

U_0 = Yönbağımsız kaynağın Işıma Şiddeti (W/birim katı açısı)

Yönlülük aşağıda sunulan formül ile hesaplanabilmektedir.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (3.1)$$

Eğer belirli bir yön tanımlanmamışsa azami ışıma şiddeti (azami yönlülük) ise aşağıdaki formülle bulunabilmektedir (Balanis, 2013; IEEE Std 145-1993 (Revision of IEEE Std 145-1983) IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, 1993).

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{|max}}{U_0} = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (3.2)$$

3.4. Anten Işıma Şiddeti

Birim katı açı başına bir antenden ışıyan güç olarak ifade edilen “Anten ışıma şiddeti”, ışıma güç yoğunluğu ile mesafenin karesinin çarpımıyla elde edilmektedir.

U = Işıma Şiddeti (W/birim katı açı)

r = mesafe (m)

W_{rad} = Işıma Güç Yoğunluğu (W/m²) olmak üzere;

$$U = r^2 W_{rad} \quad (3.3)$$

(Balanis, 2013).

3.5. Anten Işıma Güç Yoğunluğu

Antene ait hesaplamalarda önemli bir parametre olan Anten Işıma Güç Yoğunluğu, anten yüzeyinden birim yüzey alanı başına yayılan güç olarak tanımlanabilmektedir. Bunu hesaplayabilmek için;

P_{rad} = Toplam Işıyan Güç

P_{av} = Ortalama Işıyan Güç

W_{rad} = Işıma Güç Yoğunluğu (W/m²)

W_{av} = Ortalama Güç Yoğunluğu (W/m²)

$\hat{n}$ = Yüzeye Dik Birim Vektör

da = Kapalı Yüzeyin Sonsuz Küçük Alanı (m²)

E = Elektrik Alan

H = Manyetik Alan olmak üzere;

$$P_{rad} = P_{av} = \oint_S W_{rad} \cdot ds = \oint_S W_{av} \cdot \hat{n} da = -\frac{1}{2} \oint_S \text{Re} (E \times H^*) \cdot ds \quad (3.4)$$

(Balanis, 2013; IEEE Std 145-1993 (Revision of IEEE Std 145-1983) IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, 1993).

3.6. Antenin Verimliliği

Temel mühendislik problemlerinden biri olan verimlilik, anten tasarımında da önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. “ e_0 ” olarak gösterilen “Toplam Anten Verimliliği”, anten ve iletim hattının uyumsuzluğundaki yansımalar ile dielektrik ve iletim kaynaklı etkilenebilmektedir.

Z_{in} = Anten Giriş Empedansı

Z_0 = İletim Hattının Karakteristik Empedansı

Γ = Antenin Giriş Terminallerindeki Gerilim Yansıma Katsayısı

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (3.5)$$

e_0 = Toplam Verimlilik (Boyutsuz)

e_r = Yansıma (Uyumsuzluk) Verimliliği =

$$e_r = (1 - |\Gamma|^2) \text{ (Boyutsuz)} \quad (3.6)$$

e_c = İletim Verimliliği (Boyutsuz) (Deneysel elde edilebilmektedir.)

e_d = Dielektrik Verimliliği (Boyutsuz) (Deneysel elde edilebilmektedir.)

$$e_0 = e_r e_c e_d = e_c e_d (1 - |\Gamma|^2) \quad (3.7)$$

$$e_c e_d = \text{Anten Işıma Verimliliği} \quad (3.8)$$

VSWR = Gerilim Duran Dalga Oranı

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.9)$$

olarak hesaplanabilmektedir (Balanis, 2013; IEEE Std 145-1993 (Revision of IEEE Std 145-1983) IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, 1993).

3.7. Anten Kazancı

Antenin yönlülüğü ile birebir ilişkili olan anten kazancı, bir antenin yönlülüğünde ne kadar verimli olduğunu gösteren bir ölçüt olarak karşımıza çıkmaktadır. Kazancın tanımı ise; belirlenen yöndeki şiddetin izotropik bir anten referans şiddetine olan oranıdır. Bunu eğer formüle edecek olursak;

$G = \text{Kazanç}$

$P_{in} = \text{Toplam girişin (alınan) gücü}$

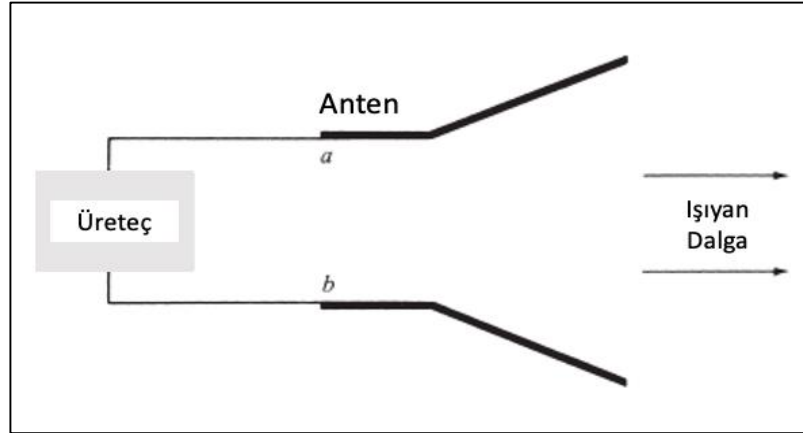
$U = \text{Işıma Şiddeti olmak üzere;}$

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \text{ (Boyutsuz)} \quad (3.10)$$

formülü bulunmaktadır (Balanis, 2013).

3.8. Anten Giriş Empedansı

Bir antenin terminallerinde göstermiş olduğu empedansı basit bir şekilde açıklamak gerekirse terminallerindeki gerilimin akıma oranı tanımlanabilmektedir.



Şekil 3.6: İletme Modundaki Anten.

(Balanis, 2013)'den uyarlanmıştır.

Şekil 3.6’da temsili olarak gösterilen bir iletme modundaki antenin terminallerini a ve b olarak belirleyecek olursak ve hiçbir yük bağlamazken antenin empedansı,

Z_A = a-b terminallerindeki anten empedansı (ohm)

R_A = a-b terminallerindeki anten direnci (ohm)

X_A = a-b terminallerindeki anten reaktansı (ohm)

R_r = antenin ışıma direnci (ohm)

R_L = antenin kayıp direnci (ohm) olmak üzere;

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (3.11)$$

$$R_A = R_r + R_L \quad (3.12)$$

$$Z_A = (R_r + R_L) + jX_A \quad (3.13)$$

olarak formüle edilebilmektedir.

Z_g = üretcin empedansı (ohm)

R_g = üretç empedansın direnci (ohm)

X_g = üretç empedansın reaktansı (ohm) olmak üzere;

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanacak olursa, eşlenik uyumlandırma şartında anten maksimum güç aktarımı gerçekleşir ve eşlenik uyumlaştırma şartı;

$$R_r + R_L = R_g \quad (3.15)$$

$$X_A = -X_g \quad (3.16)$$

iken oluşmaktadır (Balanis, 2013).

3.9. Bant Genişliği

Bir antenin bazı karakteristiklere göre (kazanç, örüntü, hüzme genişliği vs.) performansının tanımlanmış bir standarda uyduğu frekans aralığı olarak tanımlanan bant genişliği, belirlenen merkez frekansın her iki yanındaki frekansların arası olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Dar bantlı anten için bant genişliği;

$$Bant\ Genişliği_{(dar\ bant)} = \frac{f_{üst} - f_{alt}}{f_{merkez}} \times 100 \quad (3.17)$$

Geniş bantlı antenler için bu hesap;

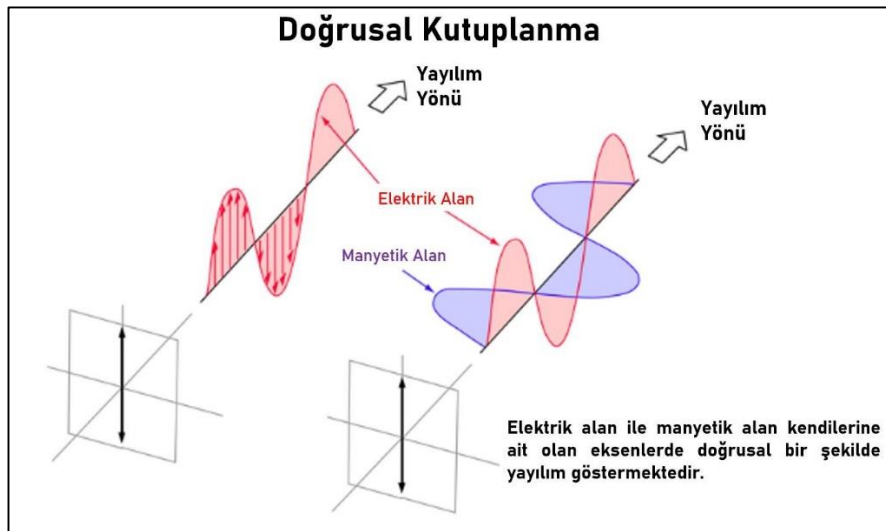
$$Bant\ Genişliği_{(geniş\ bant)} = \frac{f_{üst}}{f_{alt}} \quad (3.18)$$

olarak hesaplanmakta ve bu değer örneğin 10:1 şeklinde gibi gösterilmektedir (Balanis, 2013; IEEE Std 145-1993 (Revision of IEEE Std 145-1983) IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, 1993).

3.10. Polarizasyon (Kutuplanma)

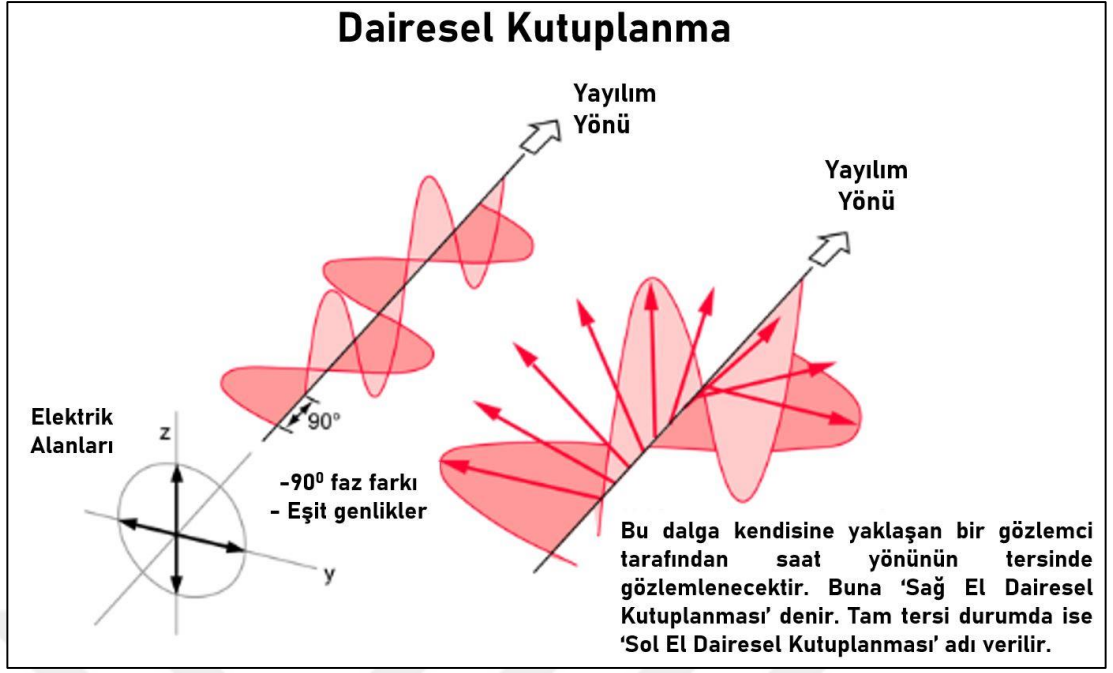
Zamanla değişim yönü ve elektrik alanın bağlı büyüklüğünün özellikle de uzayda sabit bir konumdaki alan vektörü ucunun zamanın bir fonksiyon olarak izlediği ve bir anlamda yayılma yönü boyunca gözlenen şekil olan ışıyan dalganın kutuplanması EM dalga özelliğidir (Balanis, 2013).

Eğer bir EM dalga tek düzlemde hareket ediyorsa **doğrusal kutuplanma** (Şekil 3.7), aynı genlikte 90 derecelik farklı iki eksende hareket ediyorsa **dairesel kutuplanma** (Şekil 3.8), farklı genliklerde 90 derecelik farklı iki eksende hareket ediyorsa **eliptik kutuplanma** (Şekil 3.9) ortaya çıkmaktadır. Dairesel kutuplanma aslında eliptik kutuplanmanın bir çeşit özel hali olarak da kabul edilmektedir.



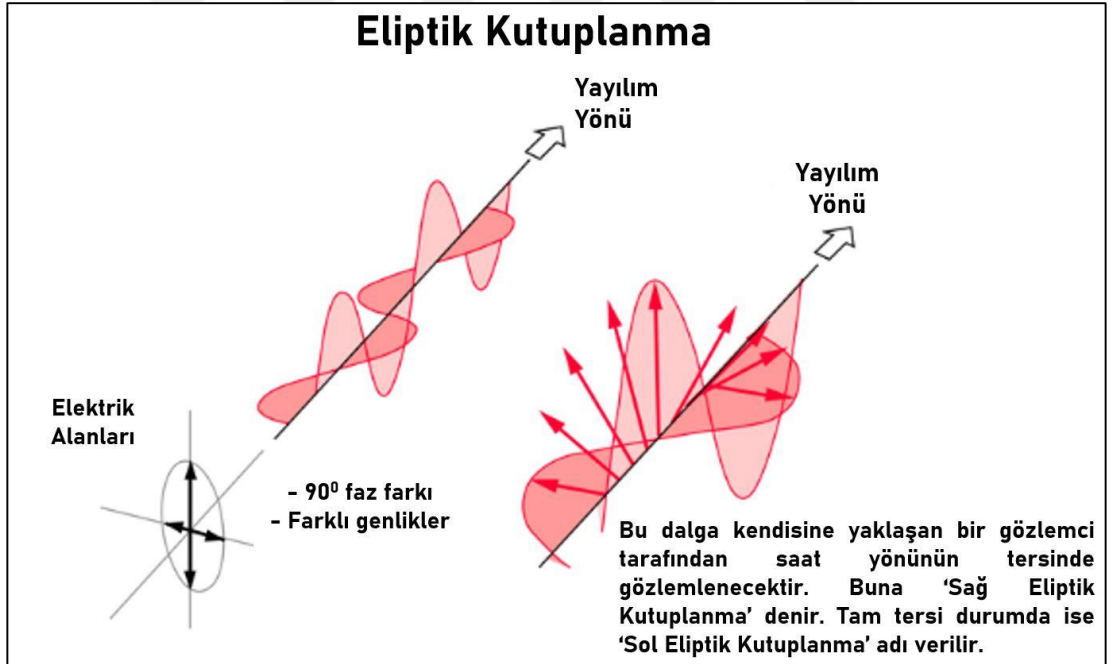
Şekil 3.7: Doğrusal Kutuplanma.

(Nave, 2005)'den uyarlanmıştır.



Şekil 3.8: Dairesel Kutuplanma.

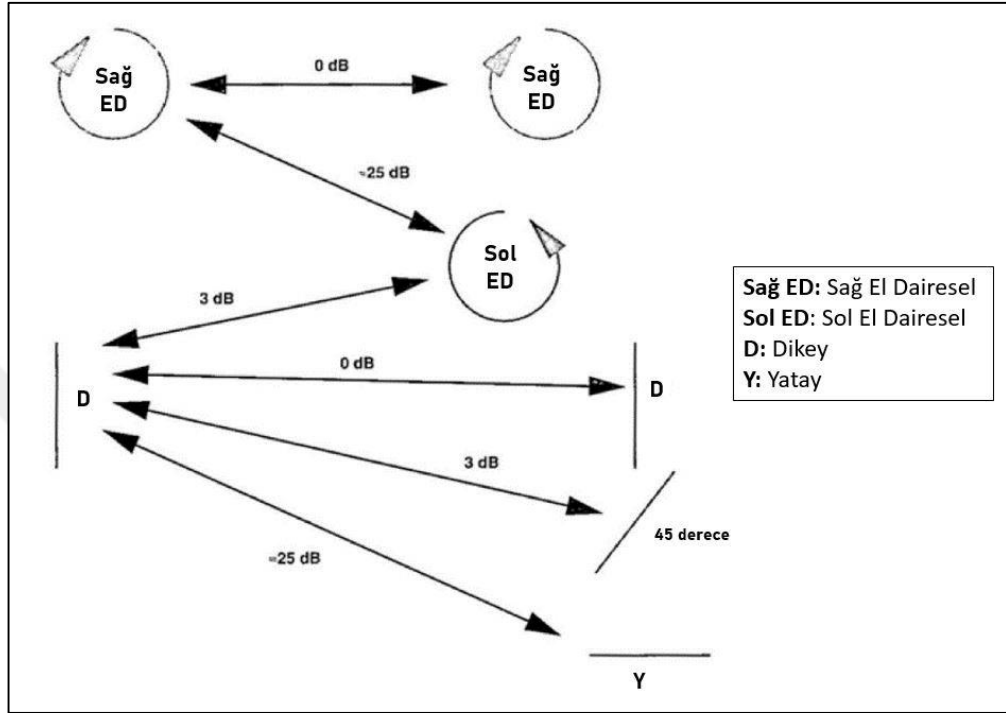
(Nave, 2005)'den uyarlanmıştır.



Şekil 3.9: Eliptik Kutuplanma.

(Nave, 2005)'den uyarlanmıştır.

Alıcı ve verici anten arasında polarizasyon uyumsuzluğu olması durumunda alınan sinyal gücü düşecek ve hatta sıfıra yaklaşabilecektir. Polarizasyon kayıpları Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Polarizasyon Kayıpları.

(Adamy, 2001)’den uyarlanmıştır.

KSUS’ta alıcı/verici tarafında genel olarak dairesel kutuplanma tercih edilmektedir. Sebebi ise; verici konumunda olan uydunun bağıl konumunun sürekli değişmesi doğrusal kutuplanmada sinyal kaybına yol açabilecekken dairesel kutuplanmada bu sorun çözülebilmektedir. Ayrıca dairesel kutuplanma sayesinde, gönderilen EM dalga, farklı kutuplanma açılarına sebep olan iyonosferin Faraday etkisinden de etkilenmemektedir. Dairesel kutuplanmanın iki çeşidi bulunmaktadır: “Sağ El Dairesel Kutuplanma” ve “Sol El Dairesel Kutuplanma”. Farklı ülkelerin KSUS’ları incelendiğinde “Sağ El Dairesel Kutuplanma”nın artık bir standart hale geldiği görülmektedir. Her ne kadar alıcı anten, “Sağ El Dairesel Kutuplanma”ya göre tasarlanmış olsa da antenlerin kusursuz olmaması sebebiyle istenmeyen “Sol El Dairesel Kutuplanma” sinyallerini de alabilmektedir.

Bu durumda sinyalin dairesel kutuplanma kalitesinde eksenel oran kavramı ortaya çıkmaktadır;

$$Eksenel\ Oran = \frac{Sağ\ El\ Dairesel\ Kutuplanma\ Bileşeni}{Sol\ El\ Dairesel\ Kutuplanma\ Bileşeni} \quad (3.19)$$

Eğer eksenel oran ne kadar 1'e (0 dB) yakın olursa o kadar iyi bir dairesel kutuplanma anlamına gelmektedir (Moernaut ve Orban, 2009) .



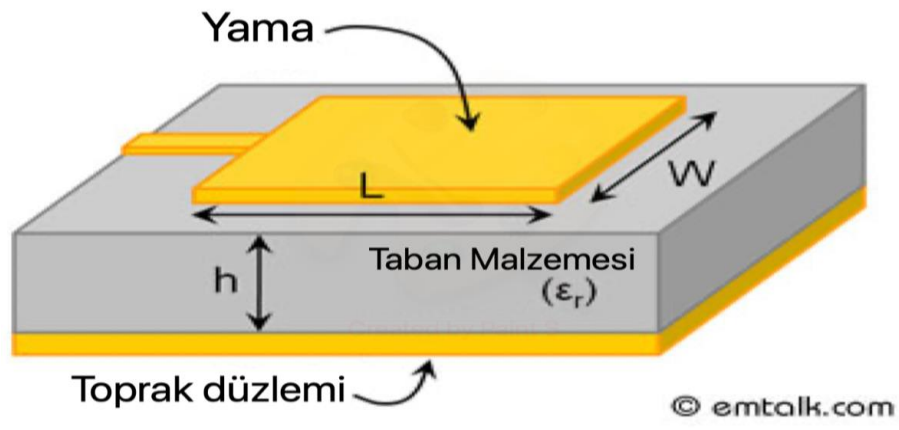
4. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

İlk olarak 1953 yılında sadece bir düşünce olarak ortaya çıkan mikroşerit anten ile ilgili olarak 1955 yılında patent alınmıştır. Fakat patent alınmasına rağmen herhangi bir kullanım alanı bulmayan mikroşerit antenler, 1970’li yıllardan itibaren kullanıcının ilgisini çekmeye başlamış ve özellikle hava platformlarında kullanılabilmesi için performans, ebat, ağırlık, uygulama kolaylığında öne çıkmıştır (Balanis, 2013).

4.1. Mikroşerit Anten Temel Bilgiler

λ_0 , serbest uzay dalga boyu olmak üzere, temel olarak bir mikroşerit anten toprak düzlemin üzerine çok ince ($t \ll \lambda_0$) ve dalga boyundan oldukça daha bir yüksekliğe ($h \ll \lambda_0$, genellikle $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$) metal bir şerit (yama) yerleştirilmesinden oluşur. Mikroşerit yama, örüntü maksimumu yamaya dik (enine ışıyan) olacak şekilde tasarlanır. Bu, yama içerinden uygun bir mod (alan yapılandırması) uyarımı seçilerek gerçekleştirilir. Boyuna ışıma da uygun bir mod seçimiyle gerçekleştirilebilir. Dikdörtgensel yama için eleman uzunluğu, L , genellikle $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$ arasındadır.

Örnek mikroşerit anten Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1: Mikroşerit Anten Çizimi.

(Microstrip Patch Antenna Calculator, 2011)’den uyarlanmıştır.

Şerit (yama) ve toprak düzlemi dielektrik levhayla birbirinden ayrılmaktadır. Mikroşerit anten tasarımında dielektrik sabitleri $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığında olan taban malzemeleri seçilmektedir. Söz konusu aralık kapsamında anten tasarımında kullanılacak dielektrik sabitinin yüksek mi yoksa düşük mü olması gerektiği sorusunda avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Küçük dielektrik sabitli ve kalın bir malzemenin verimliliği ve bant genişliği daha yüksek, fakat elemanları daha büyüktür. Buna karşın ışıyan alanları daha az sınırlayan yapılar sağlamaktadır.

Mikrodalga devrelerinde, istenmeyen ışıma ve bağlaşımı en aza indirebilmek adına alanları daha çok sınırlamak gerektiği için yüksek dielektrik sabitli kalın taban malzemeleri istenmekte, fakat bu malzemeler büyük kayıplarından dolayı daha az verimli ve nispeten daha düşük bant genişliğine sahiptir. Bundan dolayı yapılacak olan tasarımda optimum dielektrik sabitine sahip malzemenin kullanılması iyi bir tasarım için şart haline gelmiştir (Balanis, 2013).

4.2. Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

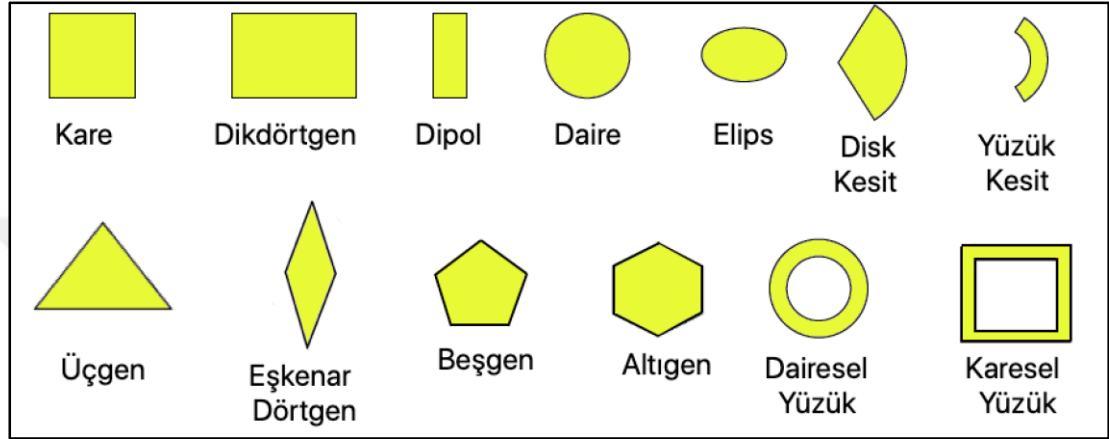
Her ne kadar mikroşerit antenlerin ilk görüldüğünde mucizevi bir anten gibi gösterilmiş olsa da mühendisliğin diğer alanlarında da olduğu gibi mikroşerit antenin de kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Özellikler özet olarak Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Mikroşerit Anten Avantajları ve Dezavantajları.

Avantajları	Dezavantajları
Küçük Boyut	Düşük Verimlilik
Düşük Ağırlık	Düşük Güç
Düşük Maliyet	Yüksek Q Faktörü
Yüksek Performans	Zayıf kutuplanma saflığı
Kolay Kurulum	Zayıf tarama performansı
Düşük Profilli Anten	Parazit besleme ışıması
Geniş Kullanım Alanı	Düşük frekans bant genişliği

4.3. Mikroşerit Yama Anten Çeşitleri

Mikroşerit yama antenlerin şekline göre karakteristiği de değişmektedir. Bundan dolayı tasarım aşamasının başlangıcında ihtiyaç duyulan anten özelliklerine karar verilmeli ve optimizasyon sağlanmalıdır. Farklı geometrik formdaki mikroşerit yama anten çeşitlerine ait örnek gösterimler Şekil 4.2’de yer almaktadır.

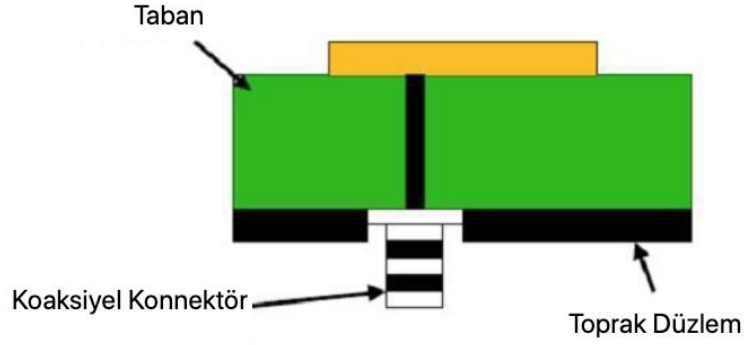


Şekil 4.2: Mikroşerit Yama Anten Şekilleri.

(Raithatha ve Kashyap, 2015)’den uyarlanmıştır.

Anten tasarımının diğer bir önemli noktası ise uygun besleme çeşidinin belirlenmesidir. Literatür incelendiğinde genel olarak dört besleme çeşidinin öne çıktığı görülmektedir. Bunlar; koaksiyel prob (Şekil 4.3), mikroşerit hat (Şekil 4.4), yakınlık bağlaşım (Şekil 4.5) ve açıklık bağlaşımıdır (Şekil 4.6).

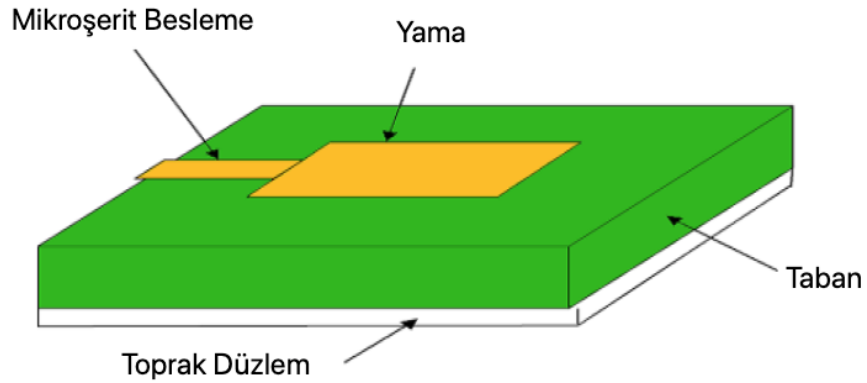
Koaksiyel prob beslemesinde, koaksiyel iç iletken tarafı ışıyan yama bölümüne eklenirken, dış iletken tarafı ise toprak düzleme bağlanmaktadır. Bu besleme türünde uyumlama ve üretim basit, parazit ışıma düşük, bant genişliği dar, kalın tabanlar ($h > 0.02\lambda_0$) için modellemek zordur.



Şekil 4.3: Koaksiyel Prob Besleme.

(Bisht vd., 2014)'den uyarlanmıştır.

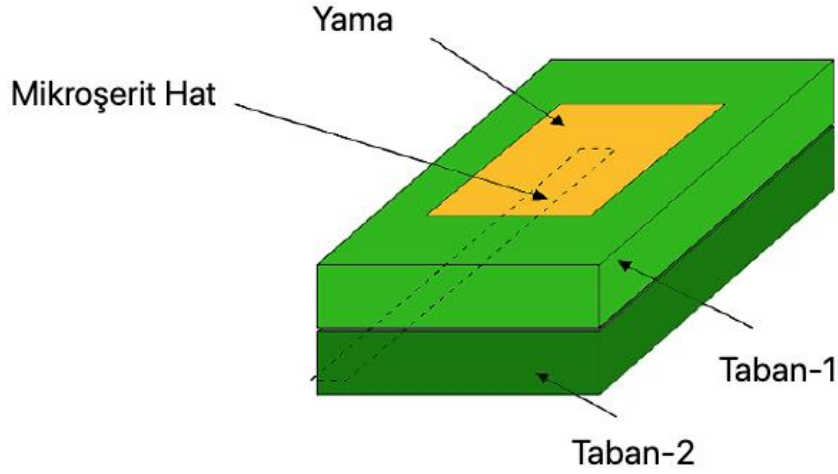
Mikroşerit besleme ise yamaya göre genellikle daha küçük genişlikteki iletken şerit şeklindedir. Bu besleme türünde üretim kolay, uyumlaması ve modellemesi basittir. Fakat mikroşerit beslemede taban malzemesinin kalınlığı arttıkça bant genişliğini sınırlayıcı yüzey dalgaları (%2-5 arası) oluşmakta ve böylece parazit ışımlar da artmaktadır.



Şekil 4.4: Mikroşerit Besleme.

(Bisht vd., 2014)'den uyarlanmıştır.

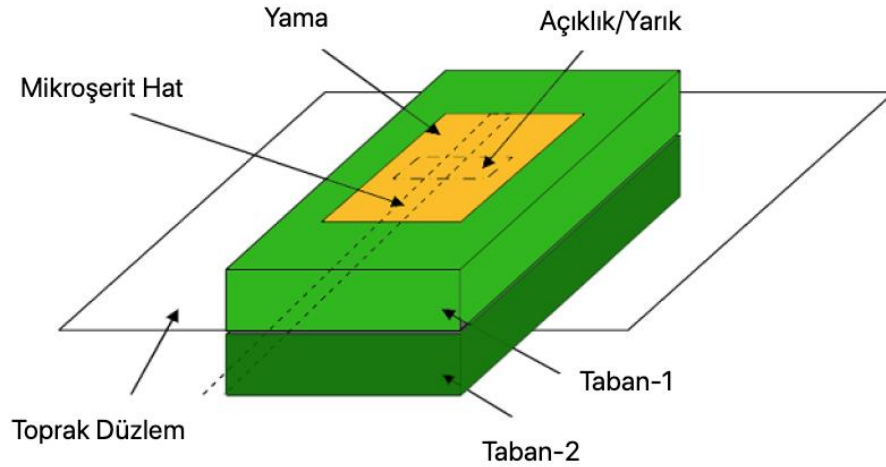
Yakınlık bağlaşım beslemesi, mikroşerit antenin sahip olduğu taban malzeme ile onun altında bulunan tabana malzeme arasından mikroşerit hat beslemesi geçmektedir. Bu besleme türünde modelleme basit, bant genişliği en yüksek (%13 kadar), parazit ışıması daha düşük, fakat üretimi zordur.



Şekil 4.5: Yakınlık Bağlaşımı Beslemesi.

(Bisht vd., 2014)'den uyarlanmıştır.

Açıklık bağlaşım beslemesi, toprak düzlemle ayrılmış iki tabandan oluşur. Söz konusu tabanlardan altta kalanda mikroşerit hat beslemesi vardır. Bu beslemenin modellemesi basit, bant genişliği düşük ve üretimi diğer beslemelere göre en zor ve parazit ışıması kabul edilebilir boyutlardadır.



Şekil 4.6: Açıklık Bağlaşımı Beslemesi.

(Bisht vd., 2014)'den uyarlanmıştır.

4.4. Mikroşerit Anten Analiz Yöntemleri

Tasarımı yapılan bir antenin şüphesiz ki analizinin de doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Bir mikroşerit antenin analizi için özellikle iletim hattı modeli ve boşluk modeli kullanılmakta, tam dalga çözümü ise karmaşık yapısı sebebiyle çok tercih edilmemektedir. Bundan dolayı iletim hattı modeli ve boşluk modelinin detayları müteakip maddelerde gösterilmektedir.

4.4.1. İletim Hattı Modeli

Modellemeyi basitleştiren iletim hattı modeli en düşük doğrulukta sonuç vermektedir. Fakat sunacağı değerler referans olarak kullanıldığında bir simülasyon yazılımından iyileştirilmiş bir sonuç alınması beklenmektedir.

V_0 : Boş Uzaydaki Işık Hızı (m/saniye)

f_r : Anten Rezonans Frekansı (Hz)

W : Anten Genişliği (m)

L : Anten Uzunluğu (m)

ϵ_r : Dielektrik Sabiti

ϵ_{reff} : Etkin Dielektrik Sabiti

μ_0 : Geçirgenlik Sabiti

h : Taban Yüksekliği (m)

olmak üzere,

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{V_0}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (4.1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

İletim hattı modelinde elektrik alanı antenin boyutlarını aşacak ve saçaklanmalara yol açacaktır. Buradaki saçaklanma yama antenin boyutlarına ve taban yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkacaktır.

Dalgaların bir kısmı tabanda, bir kısmı ise havada hareketine devam ettiğinden dalga yayılımı ile saçaklanmayı hesaba katabilmek için ϵ_{reff} değeri hesaplanmaktadır.

$\frac{W}{h} > 1$ durumu için;

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

formülüyle hesaplanabilmektedir.

Anten uzunluğu ve rezonans frekansı ile olan ilişki:

$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{V_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.3)$$

şeklinde bulunmaktadır.

Saçaklanma etkisi sebebiyle mikroşerit antenin yamasının elektriksel boyutu fiziksel boyutundan daha fazladır. Yama her iki uç bölümünden de ΔL kadar genişleyecektir.

Bu durumda;

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4.4)$$

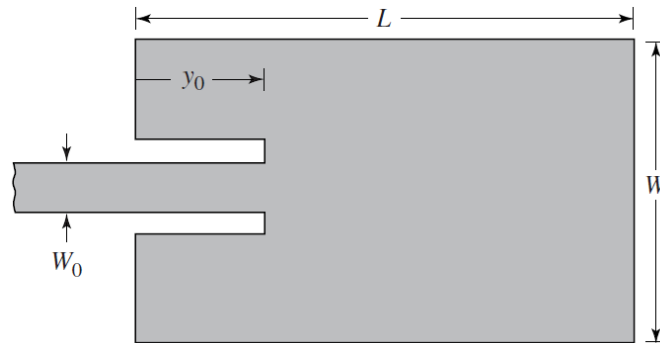
Formülünden ΔL değeri hesaplanabilecek ve L 'nin etkin değeri

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (4.5)$$

olmakta ve;

$$L = \frac{1}{2f_r\sqrt{\epsilon_{eff}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L = \frac{V_0}{2f_r} - 2\Delta L \quad (4.6)$$

şeklinde hesaplanabilecektir.



Şekil 4.7: Anten Empedans Uyumu.

(Balanis, 2013)'den uyarlanmıştır.

Şekil 4.7 referans alınarak mikroşerit yama antenin Z_c karakteristik empedansı

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{ref}}} \ln\left(\frac{8h}{W_d} + \frac{W_d}{4h}\right) & \frac{W_d}{h} \leq 1 \text{ için} \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{ref}} \left[\frac{W_d}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W_d}{h} + 1.444\right) \right]} & \frac{W_d}{h} \geq 1 \text{ için} \end{cases} \quad (4.7)$$

olarak,

Ayrıca besleme noktasındaki giriş direnci ise;

$$R_{in}(y = y_0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_2)} \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (4.8)$$

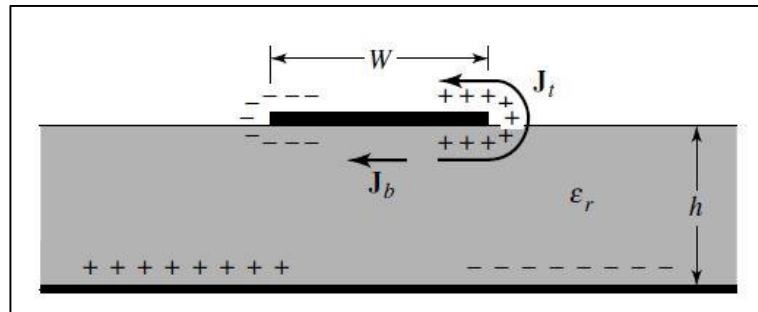
olarak hesaplanabilecektir (Balanis, 2013).

Bu tez kapsamında yapılacak analiz için iletim hattı modeli kullanılacaktır.

4.4.2. Boşluk Modeli

İletim hattı modeline alternatif analiz yaklaşımı olacak boşluk modelinde mikroşerit antenler dielektrik yüklü boşluklara benzetilir ve yüksek dereceden rezonanslar sergilerler. Tabanda bulunan dielektrik malzeme içerisindeki normalize alanlar ile elektrik iletkenlerin sınırladığı bir boşluk tanımlanır.

Mikroşerit yama anten enerjilendiğinde yamanın üst ve alt yüzeyleriyle beraber toprak düzlemi üzerinde bir yük dağılımı oluşacaktır. Yamanın alt ve üst yüzeylerinde sırasıyla J_b ve J_t akım yoğunlukları oluşmaktadır. Örnek gösterim Şekil 4.8’de yer almaktadır.



Şekil 4.8: Yük ve Akım Dağılımları.

(Balanis, 2013)’den uyarlanmıştır.

İletim hattı modeline göre daha doğru sonuçlar veren boşluk modeli daha karmaşık hesaplamalar gerektirmektedir.

4.5. Mikroşerit Antenlerde Verimlilik Artırma

Taban malzemesi yüksekliğini artırmak verimlilik ve bant genişliği artırır. Fakat yüzey dalgaları oluşur ve doğrudan ışıma (uzay dalgaları) için kullanılabilir toplam gücü azalttığı için genellikle istenmez. Mikroşerit yama anten üzerinde boşluklar kullanılarak geniş bant genişliği korunurken yüzey dalgaları ortadan kaldırılabilir. Bunlara ilave olarak ise bu tez çalışmasında yapılacağı gibi eleman dizisi kullanılarak antende verimlilik artırılabilir.



5. GENİŞ BANT KÜRESEL SEYRÜSEFER UYDU SİSTEMLERİ MİKROŞERİT YAMA ANTEN ANALİZİ VE TASARIMI

5.1. CST Studio Suite Yazılımı Temel Bilgiler

CST Studio Suite, EM bileşen ile sistemleri tasarlamak, onları analiz ve optimize etmek için dünya genelinde yaygınlıkla kullanılan yüksek performanslı bir yazılımdır. Yazılımın içerdiği EM çözücüler sayesinde hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmektedir. CST Studio Suite, zaman ve maliyet tasarrufa sağlarken, mühendislere birden çok bileşenden oluşan sistemleri verimli ve basit bir şekilde analiz etme esnekliği vermektedir.

Elektronik mühendisliği alanında özellikle filtrelerin ve antenlerin performans ile verimliliği, EM girişim ve uyumluluk (EMI/EMC), motorlar ile jeneratörlerdeki elektromekanik etkiler ve yüksek güçte termal etkiler, insan vücudunun EM alanlara maruz kalması gibi konuların çözülmesinde CST Studio Suite yaygınlıkla kullanılmaktadır.

CST Studio Suite yazılımı sahip olduğu simülasyon yeteneği ile sanal prototiplerin oluşturulmasını ve test edilmesini sağlamaktadır. Böylelikle tasarlanan prototipler optimize edilebilmekte, potansiyel uyum sorunları tasarım sürecinin erken aşamalarında tespit edilmekte, gerekli düzeltmeler yapılarak üretim aşamasındaki başarısızlık asgari orana düşürülebilmektedir.

5.1.1. CST Studio Suite Yazılımı Kullanım Alanları

CST Studio Suite, uygulama alanı olarak birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır.

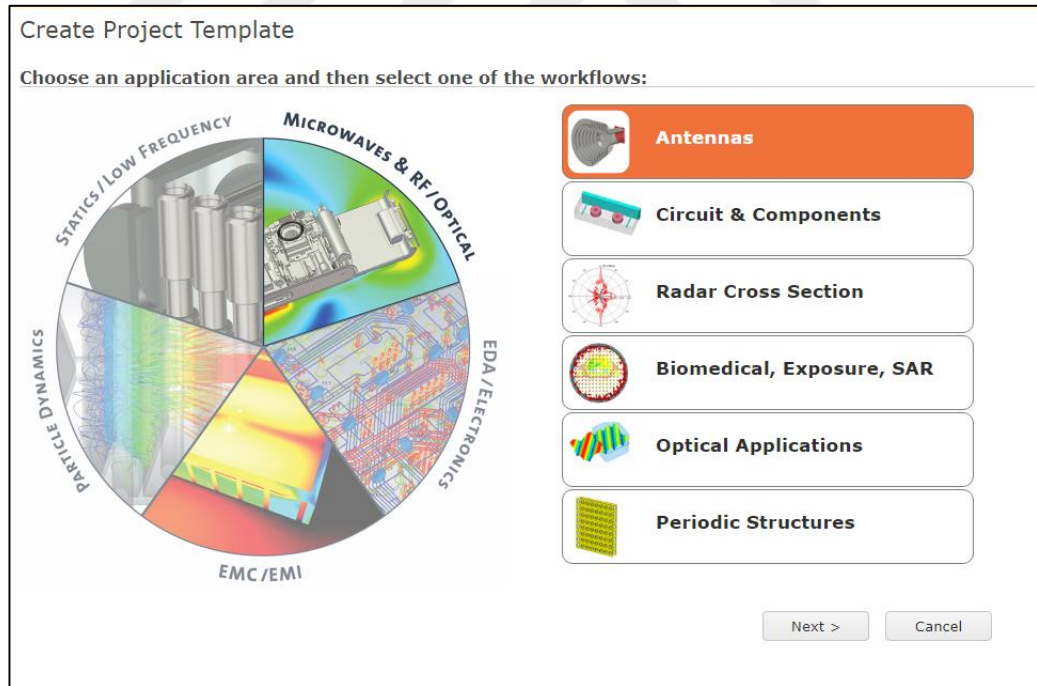
Bunlar;

- Havacılık ve Savunma (Kurulu Anten Performansı, Yıldırım Çarpması ve Çevresel EM Etkiler, Radar, Girişim)
- İnşaat, Şehirler ve Bölgeler (Bina Koruma, Kablolama ve Yıldırımdan Korunma)
- Enerji ve Malzemeler (Yüksek Voltaj Bileşenleri, Jeneratörler ve Motorlar, Güneş Enerjisi Optimizasyonu, Transformatörler)

- Endüstriyel Ekipman (Radyo Frekansı Kimliklendirme (RFID-Radio Frequency Identification), Tahribatsız Test (Non-destructive testing-NDT), Motor ve Aktüatörler, Kaynak ve Litografi)
- Sağlık (Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI-Magnetic Resonance Imaging), İmplant Güvenliği, Giyilebilir Cihazlar, RF Diatermi, Röntgen Tüpleri)(CST Studio Suite Electromagnetic Field Simulation Software Brochure, 2019).

5.1.2. CST Studio Suite Bileşenleri

CST Studio Suite yazılımında projelerin hazırlanmasında “Mikrodalga ve RF/Optik, Elektronik Tasarım Otomasyonu/Elektronik, EM Uyumluluk ve Girişim, Parçacık Dinamiği, Statik/Düşük Frekans” ana şablonları kullanılabilmektedir. Bu tezde “Mikrodalga ve RF/Optik” ana başlığının altındaki “Antenler”, onun altındaki ise “Düzlemsel (Yama, Slot, vb.)” şablonu kullanılmıştır. Söz konusu bölümlere ait ekran görüntüleri Şekil 5.1 ve 5.2’de yer almaktadır.



Şekil 5.1: Ana Şablon.

Create Project Template

MW & RF & OPTICAL | Antennas

Please select a workflow:

Waveguide (Horn, Cone, etc.)

Planar (Patch, Slot, etc.)

Wire

Phased Array, Unit Cell

Mobile Phone, Integrated

Reflector

Dielectric Resonator

RFID

< Back

Next >

Cancel

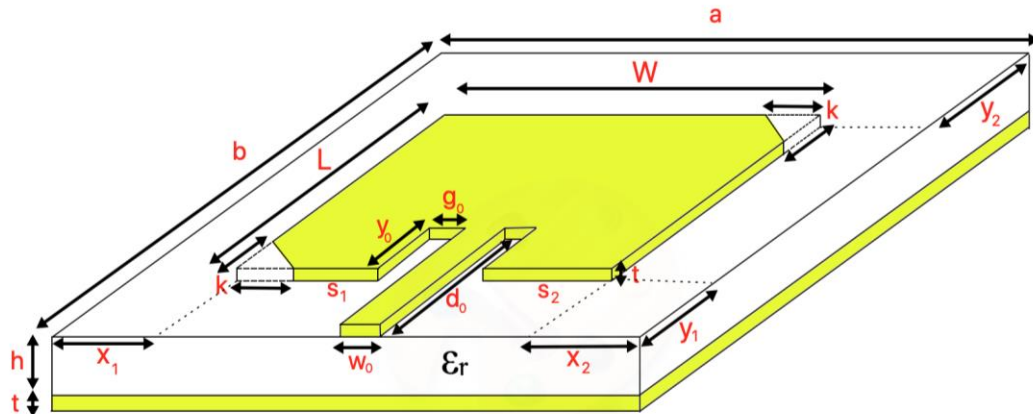
Şekil 5.2: Antenler Şablonu.

5.2. Tek Elemanlı Mikroşerit Yama Anten Analizi ve Tasarımı

Bir anten dizisi tasarlamadan önce anten elemanlarının tekli olarak analiz edilmesi, dizi tasarımına rehberlik edecektir. Tasarımı yapılacak antenin ebatlarının öncelikle Tablo 5.1 ve Şekil 5.3 kullanılarak farklı KSUS'lara göre teorik olarak hesaplanması gerekmektedir. Mikroşerit besleme tipine sahip olacak bu antende yaygınlıkla kullanılan ve tasarımda ekonomikliği sunan piyasada kolaylıkla bulunan FR-4 malzemesi kullanılmaktadır. Çeşitli kalınlıklara sahip olan FR-4 malzemesinden bu tasarımda 3,2 mm olanı tercih edilmiştir. Yapılan tasarımda S_{11} , eksenel oran ve VSWR yönünden karşılaştırma yapılarak, optimizasyonun sağlanması amaçlanmıştır.

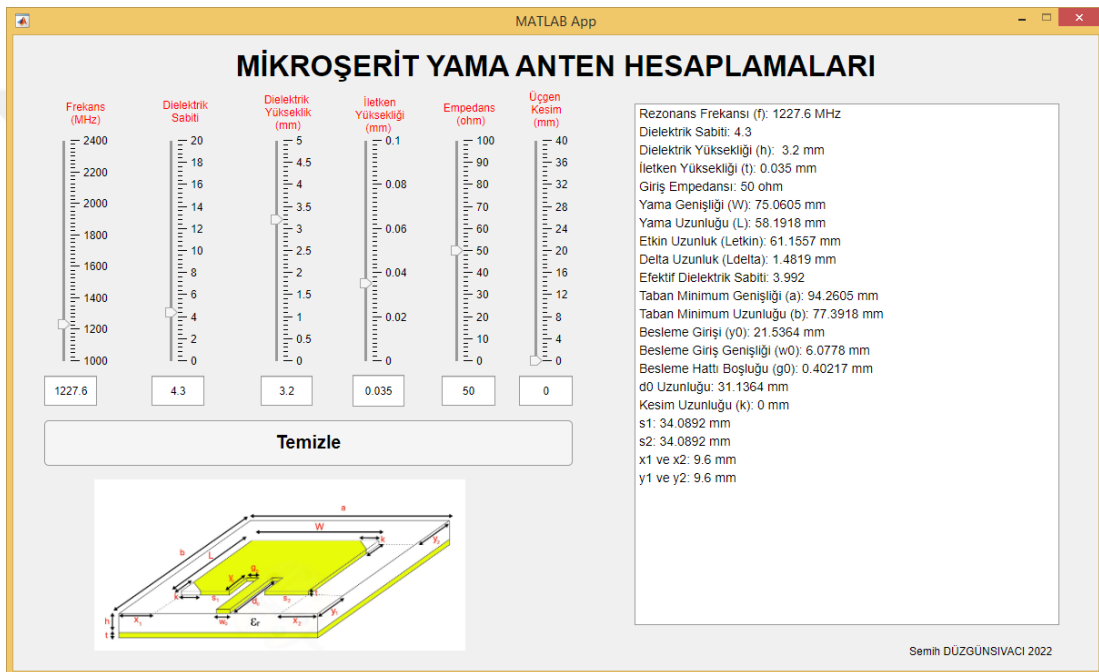
Tablo 5.1: Anten Parametreleri.

Parametre	Açıklama	Birimi
f_r	Rezonans Frekansı	MHz
ϵ_r	Dielektrik Sabiti	-
h	Yalıtkan Malzeme Yüksekliği	mm
t	İletken Malzeme Yüksekliği	mm
W	Anten Genişliği	mm
L	Anten Uzunluğu	mm
L_{etkin}	Etkin Anten Uzunluğu	mm
ΔL	Delta Uzunluk	mm
ϵ_{reff}	Referans Dielektrik Sabiti	-
a	Yalıtkan Malzeme/Taban Genişliği	mm
b	Yalıtkan Malzeme/Taban Uzunluğu	mm
y_0	Boşluk Uzunluğu	mm
w_0	Şerit Genişliği	mm
d_0	Şerit Uzunluğu	mm
g_0	Boşluk Genişliği	mm
x_1 ve x_2	Antenin Yanlardan Olan Mesafesi	mm
y_1 ve y_2	Antenin Üst ve Alt Mesafesi	mm
k	Kesim Uzunluğu	mm
s_1	Kesilenden Kalan Parça Uzunluğu	mm
s_2	Kesilmemiş Parça Uzunluğu	mm



Şekil 5.3: Mikroşerit Yama Anten Ölçümleri.

Mikroşerit yama antenine ait hesaplamaların daha kolay yapılabilmesi ve farklı değişkenlerdeki değişimin sonuçlarını anlık gözlemleyebilmek için MATLAB yazılımında bir uygulama oluşturulmuştur. Uygulamanın sonuç verebilmesi için dört adet zorunlu (Frekans, Dielektrik Sabiti, Dielektrik Yüksekliği ve Empedans) ve iki adet isteğe bağlı (İletken Yüksekliği ve Üçgen Kesim) değişken kullanılmaktadır. Bu değişkenler ister kaydırmaçlar (slider) ile ister de sayısal değer girilerek hesaplamalara esas teşkil edebilmektedir. Söz konusu uygulamaya ait örnek Şekil 5.4'de uygulamanın kodları Tablo 5.2'de, elde edilen sonuçlar ise Tablo 5.3'de yer almaktadır.



Şekil 5.4: MATLAB Uygulaması Örneği.

Tablo 5.2: MATLAB Kodları.

```

classdef mikroserit2 < matlab.apps.AppBase

% Properties that correspond to app components
properties (Access = public)
    UIFigure matlab.ui.Figure
    UcgenKesimDeger matlab.ui.control.EditField
    UcgenKesimKaydirgac matlab.ui.control.Slider
    UcgenKesimYazi matlab.ui.control.Label
    Ben matlab.ui.control.Label
    ListBox matlab.ui.control.ListBox
    Image matlab.ui.control.Image
    EmpedansKaydirgac matlab.ui.control.Slider
    IletkenYukseklkKaydirgac matlab.ui.control.Slider
    DielektrikYukseklkKaydirgac matlab.ui.control.Slider
    DielektrikSabitiKaydirgac matlab.ui.control.Slider
    EmpedansYazi matlab.ui.control.Label
    IletkenYukseklkYazi matlab.ui.control.Label
    DielektrikYukseklkYazi matlab.ui.control.Label
    DielektrikSabitiYazi matlab.ui.control.Label
    FrekansYazi matlab.ui.control.Label
    FrekansKaydirgac matlab.ui.control.Slider
    DielektrikYukseklkDeger matlab.ui.control.EditField
    DielektrikSabitiDeger matlab.ui.control.EditField
    FrekansDeger matlab.ui.control.EditField
    TemizleButonu matlab.ui.control.Button
    EmpedansDeger matlab.ui.control.EditField
    IletkenYukseklkDeger matlab.ui.control.EditField
    BaslikYazi matlab.ui.control.Label
end

% Callbacks that handle component events
methods (Access = private)

% Callback function
function Hesapla(app, event)
    f = str2double(app.FrekansDeger.Value);
    er = str2double(app.DielektrikSabitiDeger.Value);
    ytaban = str2double(app.DielektrikYukseklkDeger.Value);
    yilet = str2double(app.IletkenYukseklkDeger.Value);
    z = str2double(app.EmpedansDeger.Value);
    f=f*1e6;
    genis=(3e8/(sqrt((er+1)/2)*2*f))*1000;
    e_etc=((er+1)/2)+ (((er-1)/2)* (1+((12*ytaban)/genis))^0.5);
    uzunluk_delta=((e_etc+0.3)*((genis/ytaban)+0.264))/((e_etc-0.258)*((genis/ytaban)+0.8)))*(0.412*ytaban);
    uzunluk_etc=(3e8/(2*f*sqrt(e_etc)))*1000;
    uzunluk_yama=uzunluk_etc-(2*uzunluk_delta);
    d_boyu=(3e8/f)*1000;
    k=(2*pi)/d_boyu;
    x=k*(genis);
    i1=-2+cos(x)+(x*sinint(x))+(sin(x)/x);
    g_1=i1/(120*pi*pi);
    a=@(th)((sin((x./2).*cos(th))./cos(th)).^2).*(besselj(0,(k.*uzunluk_yama.*sin(th))))).*(sin(th)).^3);
    a1=integral(a,0,pi);
    g_12=a1/(120*pi*pi);
    r_in=1/(2*(g_1+g_12));
    y_0=(uzunluk_yama/pi)*(acos(sqrt(z/r_in)));
    uzunluk_taban_min=6*ytaban+uzunluk_yama;
    genis_taban_min=6*ytaban+genis;
    B=60*pi*pi/(z*sqrt(er));
    m1=2*B-1;
    m=log(m1);
    n1=B-1;
    n=log(n1);
    genis0=(2*ytaban/pi)*(B-1-m+(((er-1)/(2*er))^(n+(0.39*0.61)/er)));
    g=(3e8*4.65e-9)/(sqrt(2*e_etc)*f*10^-9);

```

Tablo 5.2 – devam.

```
f = f/1e6;
kesim = str2double(app.UcgenKesimDeger.Value);
s2 = ((genis - (2*g+genis0))/2);
s1 = s2 - kesim;
x1 = (genis_taban_min - genis)/2;
y_1 = (uzunluk_taban_min - uzunluk_yama)/2;
d0 = y_1 + y_0;
degerler = ["Rezonans Frekansı (f): " + num2str(f) + " MHz"...
"Dielektrik Sabiti: " + num2str(er)...
"Dielektrik Yüksekliği (h): " + num2str(ytaban) + " mm"...
"İletken Yüksekliği (t): " + num2str(yilet) + " mm"...
"Giriş Empedansı: "+ num2str(z) + " ohm"...
"Yama Genişliği (W): " + num2str(genis) + " mm"...
"Yama Uzunluğu (L): " + num2str(uzunluk_yama) + " mm"...
"Etkin Uzunluk (Letkin): " + num2str(uzunluk_etk) + " mm"...
"Delta Uzunluk (Ldelta): " + num2str(uzunluk_delta) + " mm"...
"Efektif Dielektrik Sabiti: " + num2str(e_etk)...
"Taban Minimum Genişliği (a): " + num2str(genis_taban_min) + " mm"...
"Taban Minimum Uzunluğu (b): " + num2str(uzunluk_taban_min) + " mm"...
"Besleme Girişi (y0): " + num2str(y_0) + " mm"...
"Besleme Giriş Genişliği (w0): " + num2str(genis0) + " mm"...
"Besleme Hattı Boşluğu (g0): " + num2str(g) + " mm"...
"d0 Uzunluğu: " + num2str(d0) + " mm"...
"Kesim Uzunluğu (k): " + num2str(kesim) + " mm"...
"s1: " + num2str(s1) + " mm"...
"s2: " + num2str(s2) + " mm"...
"x1 ve x2: " + num2str(x1) + " mm"...
"y1 ve y2: " + num2str(y_1) + " mm"];
app.ListBox.Items = {degerler{1},degerler{2},degerler{3},
degerler{4},degerler{5},degerler{6},degerler{7},degerler{8},degerler{9},degerler{10},degerler{11},degerler
{12},degerler{13},degerler{14},degerler{15},degerler{16},degerler{17},degerler{18},degerler{19},degerler{
20},degerler{21}};
end
% Value changed function: FrekansKaydirgac
function FrekansKaydirgacValueChanged(app, event)
app.FrekansDeger.Value = string(app.FrekansKaydirgac.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: FrekansDeger
function FrekansDegerValueChanged(app, event)
app.FrekansKaydirgac.Value = str2double(app.FrekansDeger.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Button pushed function: TemizleButonu
function TemizleButonuButtonPushed(app, event)
app.FrekansDeger.Value = "";
app.FrekansKaydirgac.Value = 1000;
app.DielektrikSabitiDeger.Value = "";
app.DielektrikSabitiKaydirgac.Value = 0;
app.DielektrikYukseklkDeger.Value = "";
app.DielektrikYukseklkKaydirgac.Value = 0;
app.IletkenYukseklkDeger.Value = "";
app.IletkenYukseklkKaydirgac.Value = 0;
app.EmpedansDeger.Value = "";
app.EmpedansKaydirgac.Value = 0;
app.ListBox.Items= {};
end
```


Tablo 5.2 – devam.

```
% Value changed function: DielektrikSabitiDeger
function DielektrikSabitiDegerValueChanged(app, event)
app.DielektrikSabitiKaydirgac.Value = str2double(app.DielektrikSabitiDeger.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: DielektrikSabitiKaydirgac
function DielektrikSabitiKaydirgacValueChanged(app, event)
app.DielektrikSabitiDeger.Value = string(app.DielektrikSabitiKaydirgac.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: DielektrikYukseklikKaydirgac
function DielektrikYukseklikKaydirgacValueChanged(app, event)
app.DielektrikYukseklikDeger.Value = string(app.DielektrikYukseklikKaydirgac.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: DielektrikYukseklikDeger
function DielektrikYukseklikDegerValueChanged(app, event)
app.DielektrikYukseklikKaydirgac.Value = str2double(app.DielektrikYukseklikDeger.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: IletkenYukseklikKaydirgac
function IletkenYukseklikKaydirgacValueChanged(app, event)
app.IletkenYukseklikDeger.Value = string(app.IletkenYukseklikKaydirgac.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: IletkenYukseklikDeger
function IletkenYukseklikDegerValueChanged(app, event)
app.IletkenYukseklikKaydirgac.Value = str2double(app.IletkenYukseklikDeger.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: EmpedansKaydirgac
function EmpedansKaydirgacValueChanged(app, event)
app.EmpedansDeger.Value = string(app.EmpedansKaydirgac.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: EmpedansDeger
function EmpedansDegerValueChanged(app, event)
app.EmpedansKaydirgac.Value = str2double(app.EmpedansDeger.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: UcgenKesimDeger
function UcgenKesimDegerValueChanged(app, event)
app.UcgenKesimKaydirgac.Value = str2double(app.UcgenKesimDeger.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Value changed function: UcgenKesimKaydirgac
function UcgenKesimKaydirgacValueChanged(app, event)
app.UcgenKesimDeger.Value = string(app.UcgenKesimKaydirgac.Value);
Hesapla(app,event);
end

% Component initialization
methods (Access = private)
```

Tablo 5.2 – devam.

```
% Create UIFigure and components
function createComponents(app)

% Create UIFigure and hide until all components are created
app.UIFigure = uifigure('Visible', 'off');
app.UIFigure.AutoResizeChildren = 'off';
app.UIFigure.Position = [100 300 1193 698];
app.UIFigure.Name = 'MATLAB App';
app.UIFigure.Resize = 'off';

% Create BaslikYazi
app.BaslikYazi = uilabel(app.UIFigure);
app.BaslikYazi.HorizontalAlignment = 'center';
app.BaslikYazi.FontSize = 32;
app.BaslikYazi.FontWeight = 'bold';
app.BaslikYazi.Position = [1 639 1193 53];
app.BaslikYazi.Text = 'MİKROŞERİT YAMA ANTEN HESAPLAMALARI';

% Create IletkenYukseklıkDeger
app.IletkenYukseklıkDeger = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.IletkenYukseklıkDeger.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@IletkenYukseklıkDegerValueChanged, true);
app.IletkenYukseklıkDeger.HorizontalAlignment = 'center';
app.IletkenYukseklıkDeger.Position = [374 291 57 35];

% Create EmpedansDeger
app.EmpedansDeger = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.EmpedansDeger.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @EmpedansDegerValueChanged, true);
app.EmpedansDeger.HorizontalAlignment = 'center';
app.EmpedansDeger.Tooltip = {'';
app.EmpedansDeger.Position = [472 292 59 33];

% Create TemizleButonu
app.TemizleButonu = uibutton(app.UIFigure, 'push');
app.TemizleButonu.ButtonPushedFcn = createCallbackFcn(app, @TemizleButonuButtonPushed, true);
app.TemizleButonu.FontSize = 20;
app.TemizleButonu.FontWeight = 'bold';
app.TemizleButonu.Position = [35 226 581 50];
app.TemizleButonu.Text = 'Temizle';

% Create FrekansDeger
app.FrekansDeger = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.FrekansDeger.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @FrekansDegerValueChanged, true);
app.FrekansDeger.HorizontalAlignment = 'center';
app.FrekansDeger.Position = [35 292 58 33];

% Create DielektrikSabitiDeger
app.DielektrikSabitiDeger = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.DielektrikSabitiDeger.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DielektrikSabitiDegerValueChanged, true);
app.DielektrikSabitiDeger.HorizontalAlignment = 'center';
app.DielektrikSabitiDeger.Position = [153 292 58 33];

% Create DielektrikYukseklıkDeger
app.DielektrikYukseklıkDeger = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.DielektrikYukseklıkDeger.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DielektrikYukseklıkDegerValueChanged, true);
app.DielektrikYukseklıkDeger.HorizontalAlignment = 'center';
app.DielektrikYukseklıkDeger.Position = [273 292 57 33];

% Create FrekansKaydirgac
app.FrekansKaydirgac = uislider(app.UIFigure);
app.FrekansKaydirgac.Limits = [1000 2400];
app.FrekansKaydirgac.Orientation = 'vertical';
app.FrekansKaydirgac.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @FrekansKaydirgacValueChanged, true);
```

Tablo 5.2 – devam.

```
app.FrekansKaydirgac.Position = [55 341 7 242];
app.FrekansKaydirgac.Value = 1000;

% Create FrekansYazi
app.FrekansYazi = uilabel(app.UIFigure);
app.FrekansYazi.HorizontalAlignment = 'center';
app.FrekansYazi.FontColor = [1 0 0];
app.FrekansYazi.Position = [47 594 67 37];
app.FrekansYazi.Text = {'Frekans'; '(MHz)'};

% Create DielektrikSabitiYazi
app.DielektrikSabitiYazi = uilabel(app.UIFigure);
app.DielektrikSabitiYazi.HorizontalAlignment = 'center';
app.DielektrikSabitiYazi.FontColor = [1 0 0];
app.DielektrikSabitiYazi.Position = [154 598 72 34];
app.DielektrikSabitiYazi.Text = {'Dielektrik'; 'Sabiti'};

% Create DielektrikYukseklikYazi
app.DielektrikYukseklikYazi = uilabel(app.UIFigure);
app.DielektrikYukseklikYazi.HorizontalAlignment = 'center';
app.DielektrikYukseklikYazi.FontColor = [1 0 0];
app.DielektrikYukseklikYazi.Position = [255 593 96 42];
app.DielektrikYukseklikYazi.Text = {'Dielektrik '; 'Yükseklik'; '(mm)'};

% Create IletkenYukseklikYazi
app.IletkenYukseklikYazi = uilabel(app.UIFigure);
app.IletkenYukseklikYazi.HorizontalAlignment = 'center';
app.IletkenYukseklikYazi.FontColor = [1 0 0];
app.IletkenYukseklikYazi.Position = [372 590 64 42];
app.IletkenYukseklikYazi.Text = {'İletken'; 'Yüksekliği'; '(mm)'};

% Create EmpedansYazi
app.EmpedansYazi = uilabel(app.UIFigure);
app.EmpedansYazi.HorizontalAlignment = 'center';
app.EmpedansYazi.FontColor = [1 0 0];
app.EmpedansYazi.Position = [471 589 66 46];
app.EmpedansYazi.Text = {'Empedans '; '(ohm)'};

% Create DielektrikSabitiKaydirgac
app.DielektrikSabitiKaydirgac = uislider(app.UIFigure);
app.DielektrikSabitiKaydirgac.Limits = [0 20];
app.DielektrikSabitiKaydirgac.Orientation = 'vertical';
app.DielektrikSabitiKaydirgac.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DielektrikSabitiKaydirgacValueChanged, true);
app.DielektrikSabitiKaydirgac.Position = [173 341 7 242];

% Create DielektrikYukseklikKaydirgac
app.DielektrikYukseklikKaydirgac = uislider(app.UIFigure);
app.DielektrikYukseklikKaydirgac.Limits = [0 5];
app.DielektrikYukseklikKaydirgac.Orientation = 'vertical';
app.DielektrikYukseklikKaydirgac.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@DielektrikYukseklikKaydirgacValueChanged, true);
app.DielektrikYukseklikKaydirgac.Position = [289 341 7 242];

% Create IletkenYukseklikKaydirgac
app.IletkenYukseklikKaydirgac = uislider(app.UIFigure);
app.IletkenYukseklikKaydirgac.Limits = [0 0.1];
app.IletkenYukseklikKaydirgac.Orientation = 'vertical';
app.IletkenYukseklikKaydirgac.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@IletkenYukseklikKaydirgacValueChanged, true);
app.IletkenYukseklikKaydirgac.Position = [387 341 7 242];

% Create EmpedansKaydirgac
app.EmpedansKaydirgac = uislider(app.UIFigure);
app.EmpedansKaydirgac.Orientation = 'vertical';
```

Tablo 5.2 – devam.

```
app.EmpedansKaydirgac.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app, @EmpedansKaydirgacValueChanged,
true);
app.EmpedansKaydirgac.Position = [487 341 7 242];

% Create Image
app.Image = uiimage(app.UIFigure);
app.Image.Position = [90 15 408 204];
app.Image.ImageSource = 'RES.jpg';

% Create ListBox
app.ListBox = uilistbox(app.UIFigure);
app.ListBox.Items = {};
app.ListBox.FontSize = 14;
app.ListBox.Position = [684 51 467 573];
app.ListBox.Value = {};

% Create Ben
app.Ben = uilabel(app.UIFigure);
app.Ben.Position = [986 15 246 15];
app.Ben.Text = 'Semih DÜZGÜNSIVACI 2022';

% Create UcgenKesimYazi
app.UcgenKesimYazi = uilabel(app.UIFigure);
app.UcgenKesimYazi.HorizontalAlignment = 'center';
app.UcgenKesimYazi.FontColor = [1 0 0];
app.UcgenKesimYazi.Position = [556 594 62 46];
app.UcgenKesimYazi.Text = {'Üçgen ', 'Kesim', '(mm)'};

% Create UcgenKesimKaydirgac
app.UcgenKesimKaydirgac = uislider(app.UIFigure);
app.UcgenKesimKaydirgac.Limits = [0 40];
app.UcgenKesimKaydirgac.Orientation = 'vertical';
app.UcgenKesimKaydirgac.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@UcgenKesimKaydirgacValueChanged, true);
app.UcgenKesimKaydirgac.Position = [574 341 7 242];

% Create UcgenKesimDeger
app.UcgenKesimDeger = uieditfield(app.UIFigure, 'text');
app.UcgenKesimDeger.ValueChangedFcn = createCallbackFcn(app,
@UcgenKesimDegerValueChanged, true);
app.UcgenKesimDeger.HorizontalAlignment = 'center';
app.UcgenKesimDeger.Tooltip = {' '};
app.UcgenKesimDeger.Position = [557 292 59 33];
app.UcgenKesimDeger.Value = '0';

% Show the figure after all components are created
app.UIFigure.Visible = 'on';
end
end

% App creation and deletion
methods (Access = public)

% Construct app
function app = mikroserit2

% Create UIFigure and components
createComponents(app)

% Register the app with App Designer
registerApp(app, app.UIFigure)

if nargout == 0
clear app
end
```

Tablo 5.2 – devam.

```

end

% Code that executes before app deletion
function delete(app)

    % Delete UIFigure when app is deleted
    delete(app.UIFigure)
end
end
end

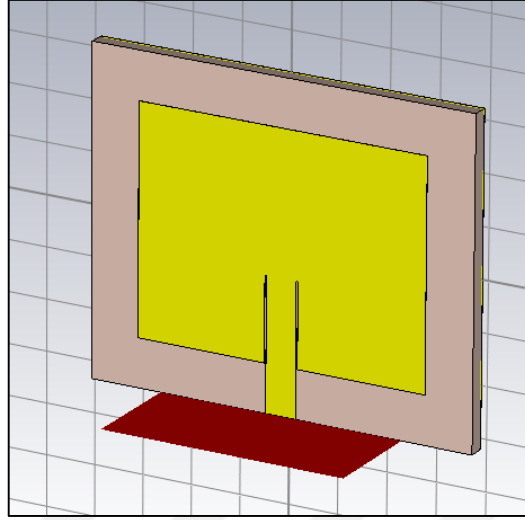
```

Tablo 5.3: Hesaplama Sonuçları.

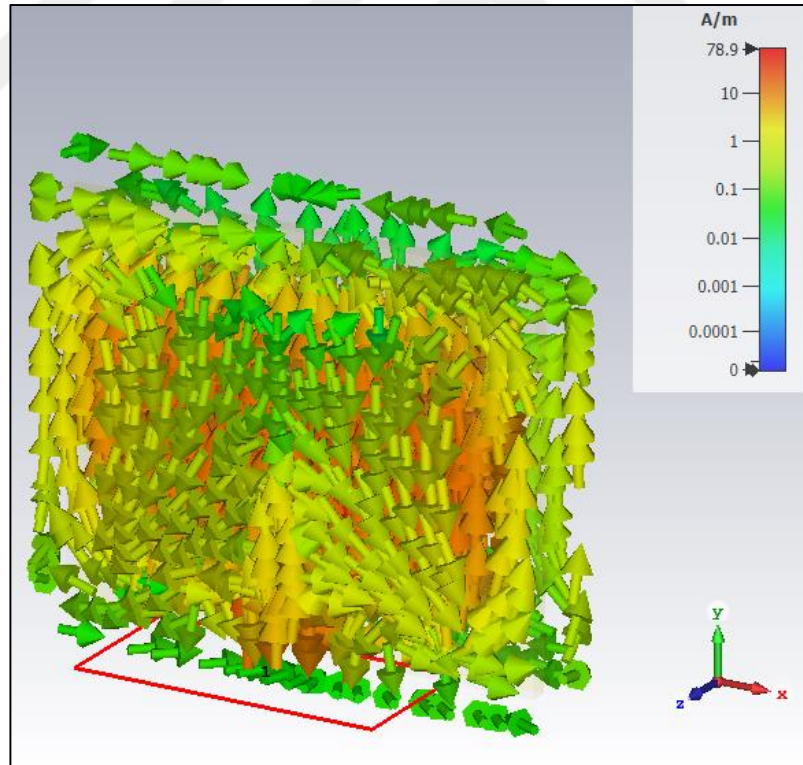
Parametre	Birim	GPS			GLONASS		Galileo		
		L1	L2	L5	G1	G2	E1	E6	E5 (E5a + E5b)
f_r	MHz	1575,42	1227,6	1176,45	1608,75	1251,25	1575,42	1278,75	1191,795
Bant Aralığı	MHz	24	30	24	13,5	10,5	24,552	40,92	51,15
ϵ_r	-	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
h	mm	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
t	mm	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
Giriş Empedansı	Ω	50	50	50	50	50	50	50	50
W	mm	58,4887	75,0605	78,324	57,2769	73,6418	58,4887	72,0581	77,3155
L	mm	45,0644	58,1918	60,7727	44,1027	57,0694	45,0644	55,8163	59,9753
L _{etkin}	mm	48,0163	61,1557	63,7383	47,0535	60,0325	48,0163	58,7784	62,9404
ΔL	mm	1,476	1,4819	1,4828	1,4754	1,4815	1,476	1,4811	1,4825
ϵ_{eff}	-	3,932	3,992	4,0016	3,9266	3,9877	3,932	3,9827	3,9987
a	mm	77,6887	94,2605	97,524	76,4769	92,8418	77,6887	91,2581	96,5155
b	mm	64,2644	77,3918	79,9727	63,3027	76,2694	64,2644	75,0163	79,1753
y ₀	mm	16,6695	21,5364	22,4931	16,313	21,1203	16,6695	20,6558	22,1975
w ₀	mm	6,0778	6,0778	6,0778	6,0778	6,0778	6,0778	6,0778	6,0778
g ₀	mm	0,31576	0,40217	0,41915	0,30943	0,39478	0,31576	0,38653	0,4139
d ₀	mm	26,2695	31,1364	32,0931	25,913	30,7203	26,2695	30,2558	31,7975
x ₁ ,x ₂	mm	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
y ₁ ,y ₂	mm	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6

5.2.1. GPS L1 Teorik

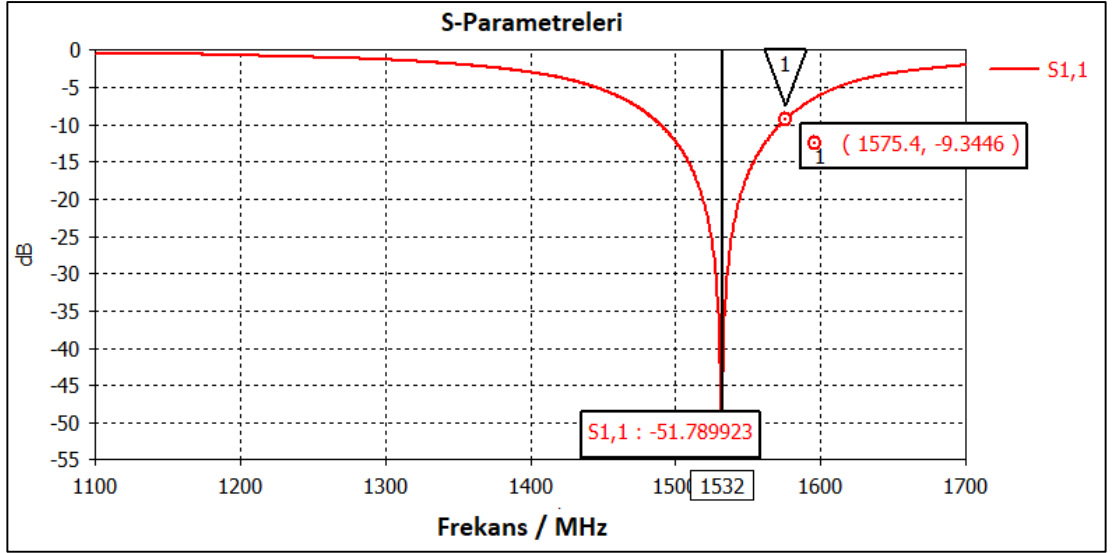
Tablo 5.3 kullanılarak Şekil 5.5'deki anten şekli ile Şekil 5.6'daki yüzey akımı elde edilmekte ve sonuçlar Şekil 5.7-5.9 arasında yer almaktadır.



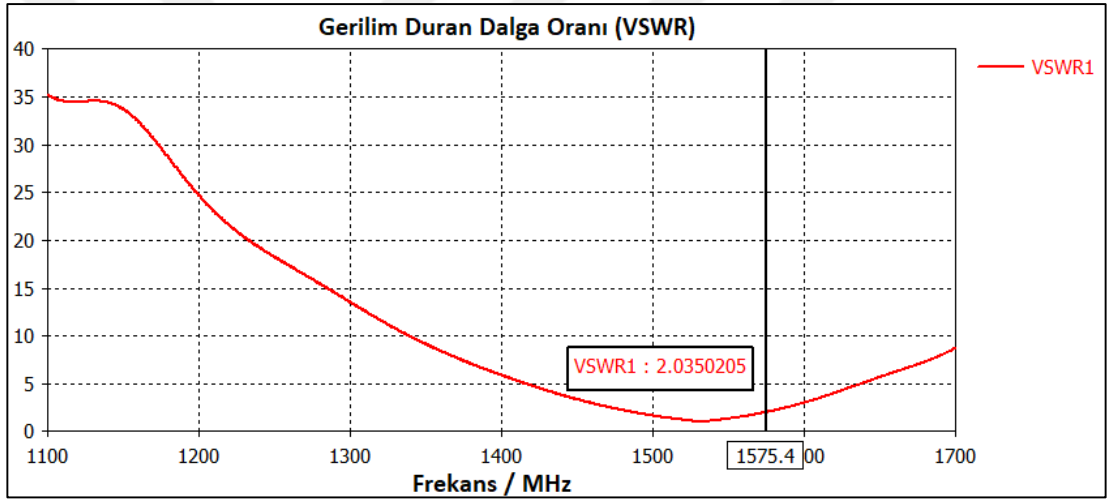
Şekil 5.5: GPS L1 Teorik Anten Şekli.



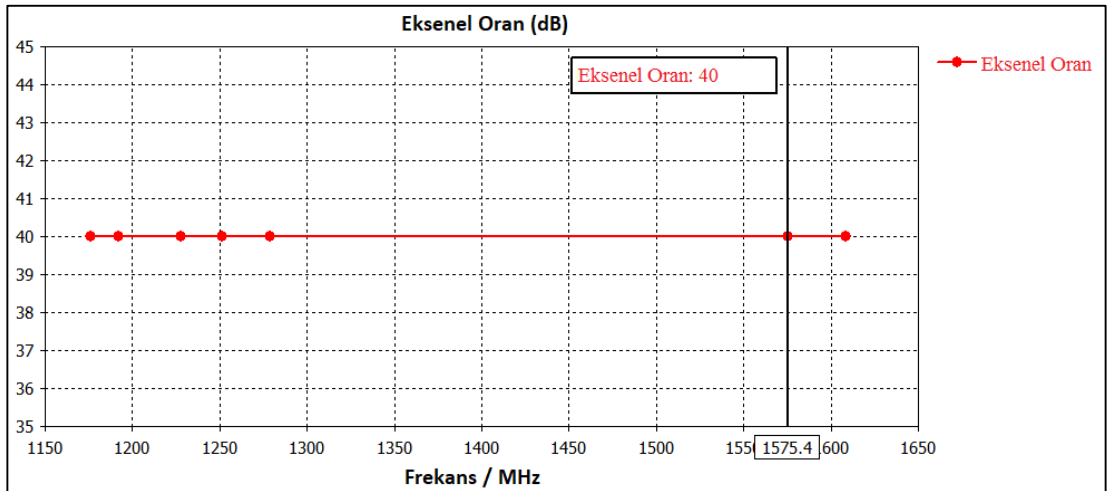
Şekil 5.6: GPS L1 Yüzey Akımı.



Şekil 5.7: GPS L1 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.8: GPS L1 Teorik Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.9: GPS L1 Teorik Eksenel Oran.

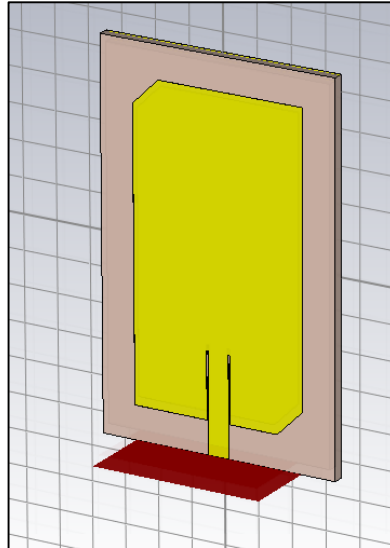
GPS L1 bandında teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1532 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-51,789923 dB) sağlandığı, 1575,42 MHz’de ise -9,3446 dB sağlandığı, -10 dB üzerinde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı, fakat yakın bir değer elde edildiği,

VSWR’nin ise 2,0350205 olduğu, 2’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı, fakat yakın bir değer elde edildiği,

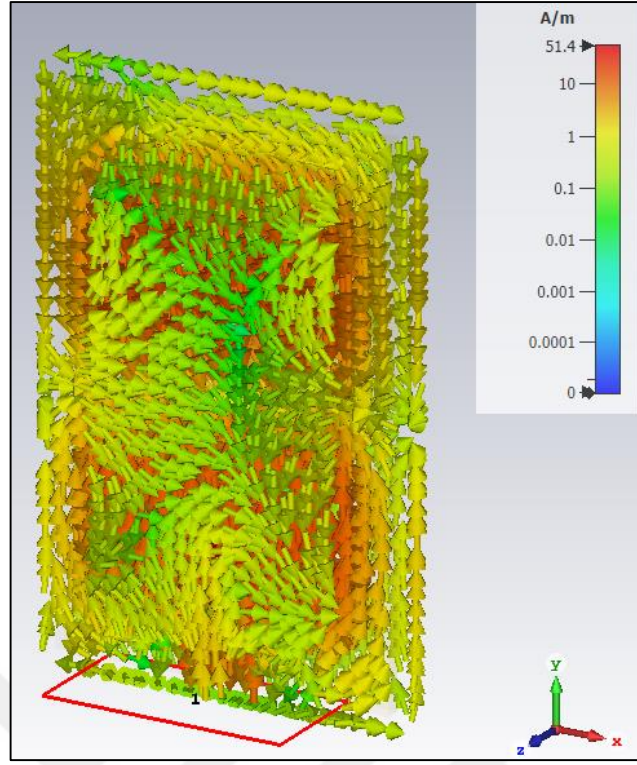
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.2. GPS L1 Optimize Edilmiş

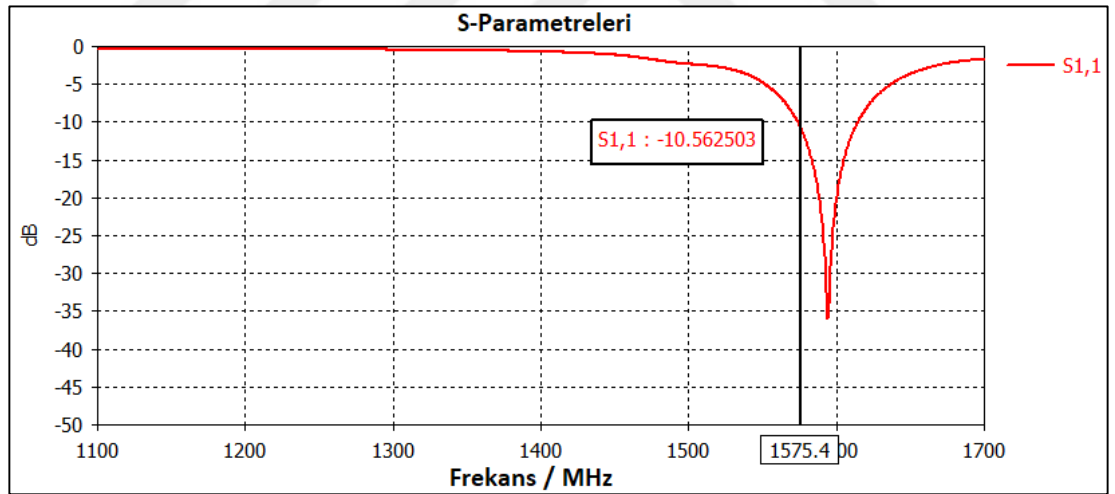
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°’lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Söz konusu anten şekli Şekil 5.10’da, yüzey akımı Şekil 5.11’de, sonuçlar Şekil 5.12-5.14 arasında ve elde edilen değerler Tablo 5.4’de yer almaktadır.



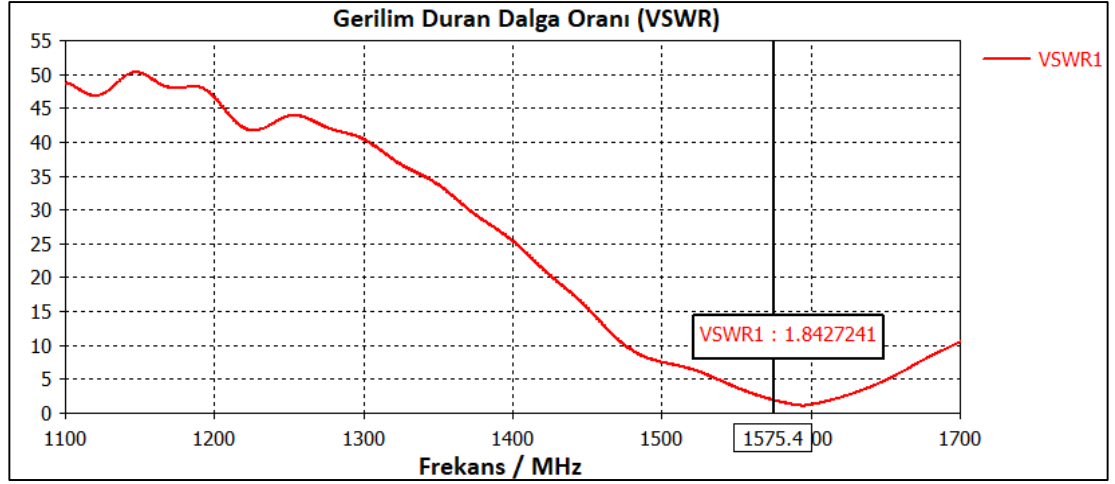
Şekil 5.10: Optimize Edilmiş GPS L1 Anten Şekli.



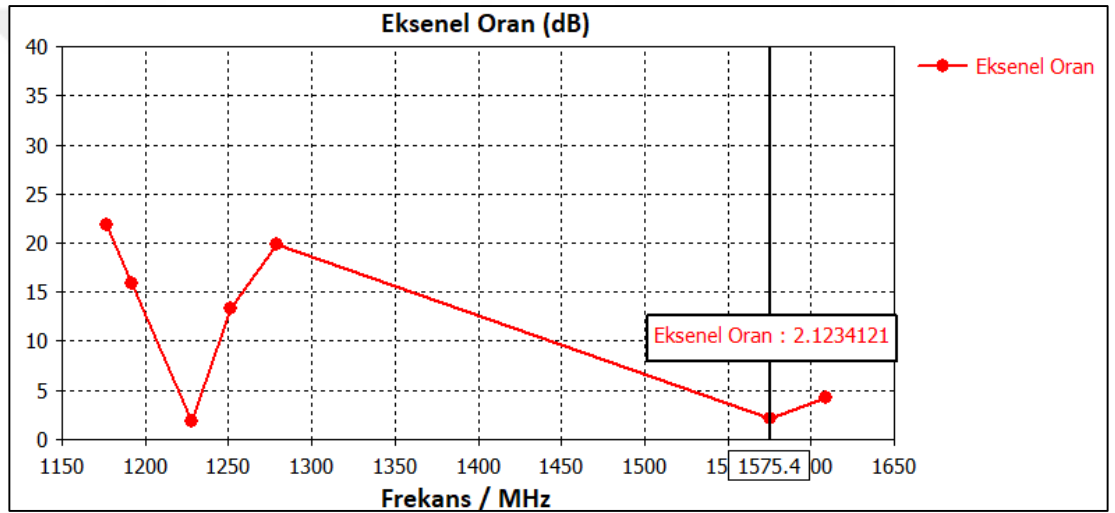
Şekil 5.11 Optimize Edilmiş GPS L1 Yüzey Akımı.



Şekil 5.12: Optimize Edilmiş GPS L1 S-Parametreleri.



Şekil 5.13: Optimize Edilmiş GPS L1 Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.14: Optimize Edilmiş GPS L1 Eksenel Oran.

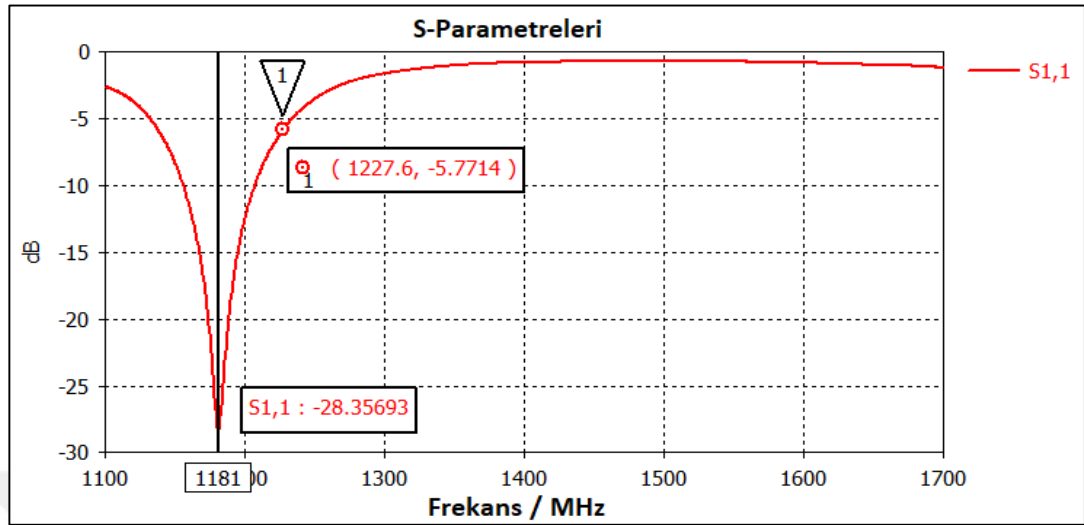
Tablo 5.4: GPS L1 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	58,4887	50
L (mm)	45,0644	90
y ₀ (mm)	16,6695	19
g ₀ (mm)	0,31576	0,375
k (mm)	0	7,56
S ₁₁ (dB)	-9,3446	-10,562503
VSWR	2,0350205	1,8427241
Eksenel Oran (dB)	40	2,1234121

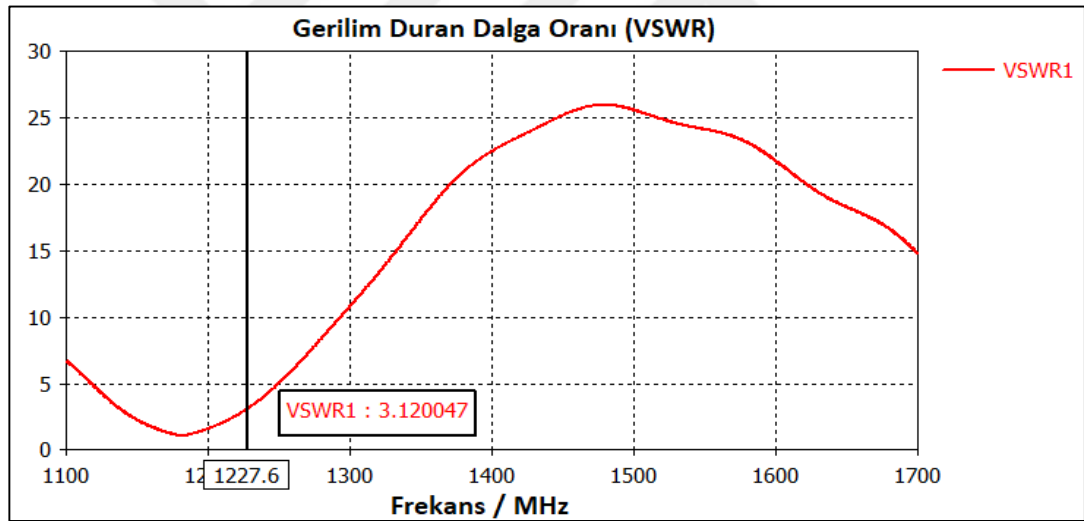
Optimizasyon sonucunda S_{11} , VSWR ve eksenel oran değerlerinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değerinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmektedir.

5.2.3. GPS L2 Teorik

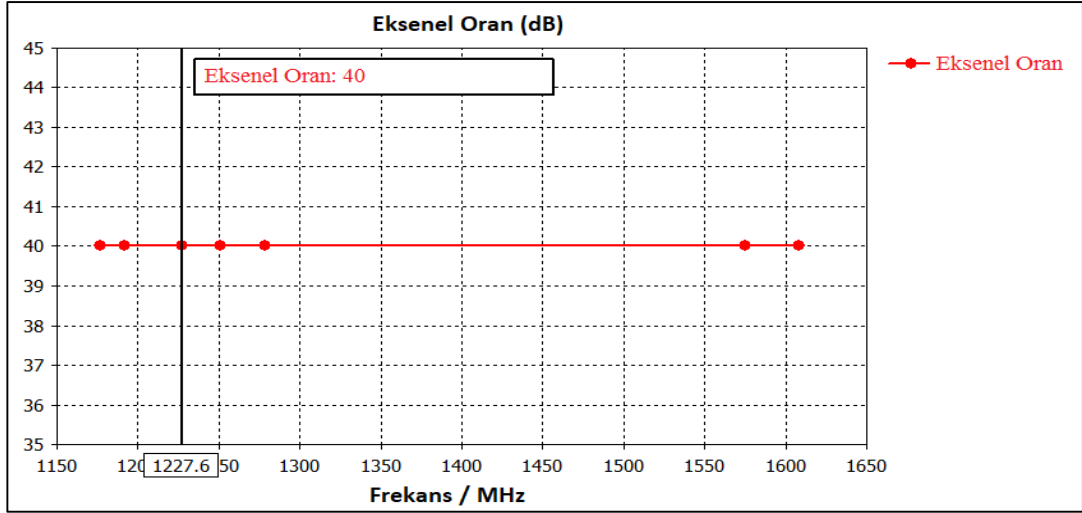
Tablo 5.3 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.15-5.17 arasında yer almaktadır.



Şekil 5.15: GPS L2 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.16: GPS L2 Teorik Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.17: GPS L2 Eksenel Oran.

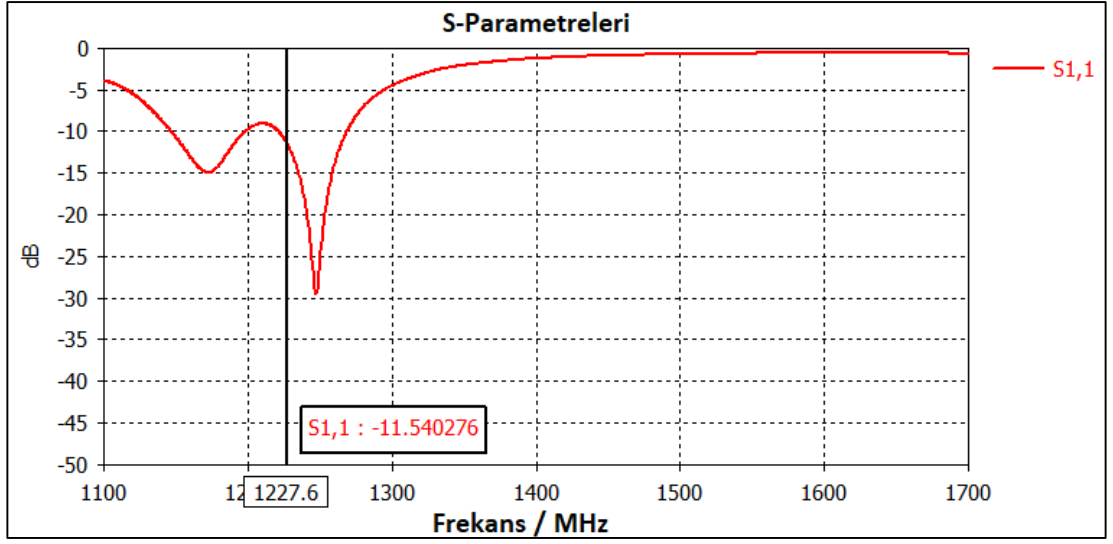
GPS L2 bandında teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1181 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-28,35693 dB) sağlandığı, 1227,6 MHz’de ise -5,7714 dB sağlandığı, -10 dB üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

VSWR’nin ise 3,120047 olduğu ve 2’nin üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

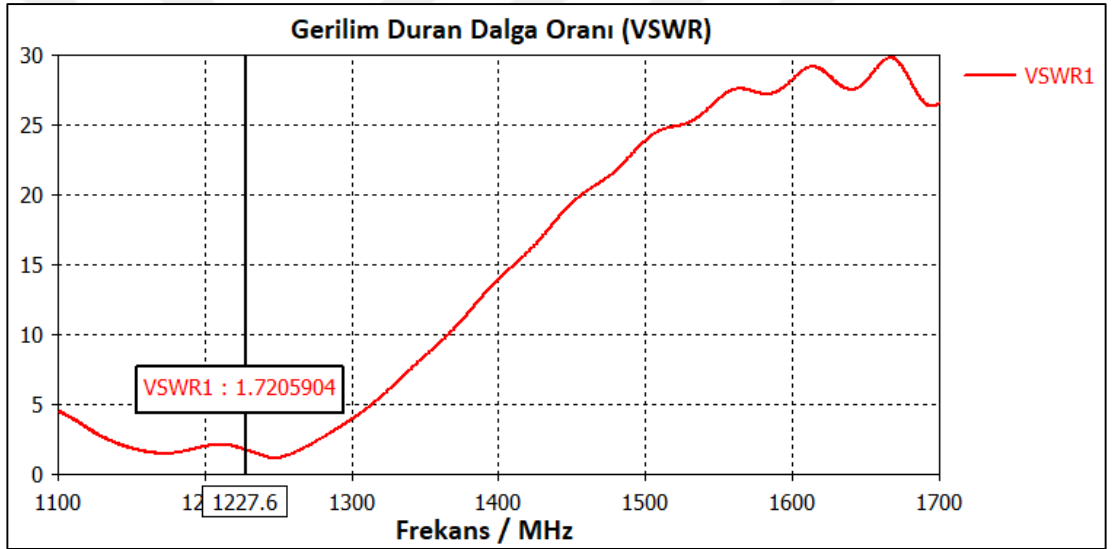
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.4. GPS L2 Optimize Edilmiş

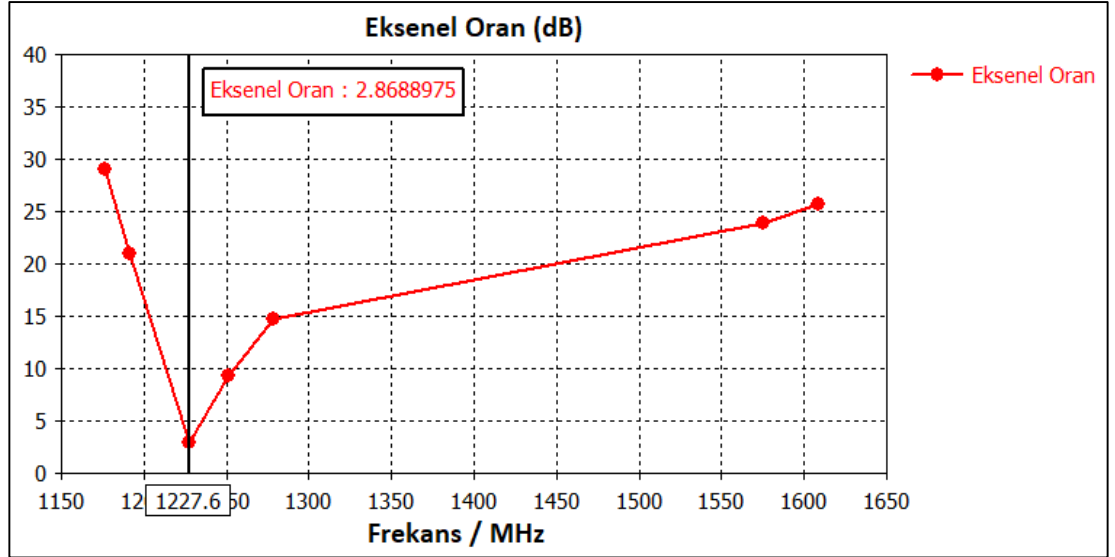
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°’lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.18-5.20 arasında, elde edilen değerler Tablo 5.5’de yer almaktadır.



Şekil 5.18: Optimize Edilmiş GPS L2 S-Parametreleri.



Şekil 5.19: Optimize Edilmiş GPS L2 Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.20: Optimize Edilmiş GPS L2 Eksenel Oran.

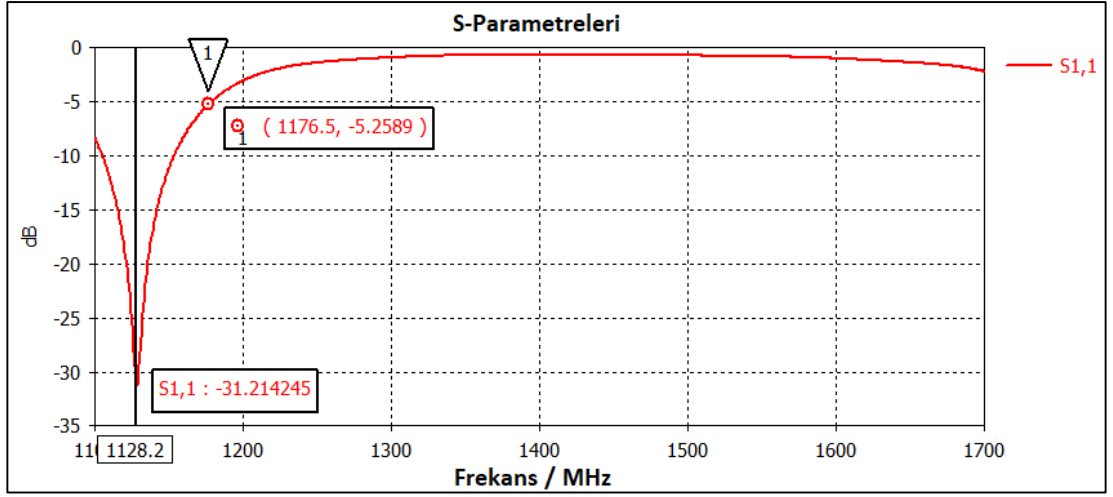
Tablo 5.5: GPS L2 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	75,0605	50
L (mm)	58,1918	61,2865
y_0 (mm)	21,5364	19,5447
g_0 (mm)	0,40217	0,341729
k (mm)	0	10,6375
S_{11} (dB)	-5,7714	-11,540276
VSWR	3,120047	1,7205904
Eksenel Oran (dB)	40	2,8688975

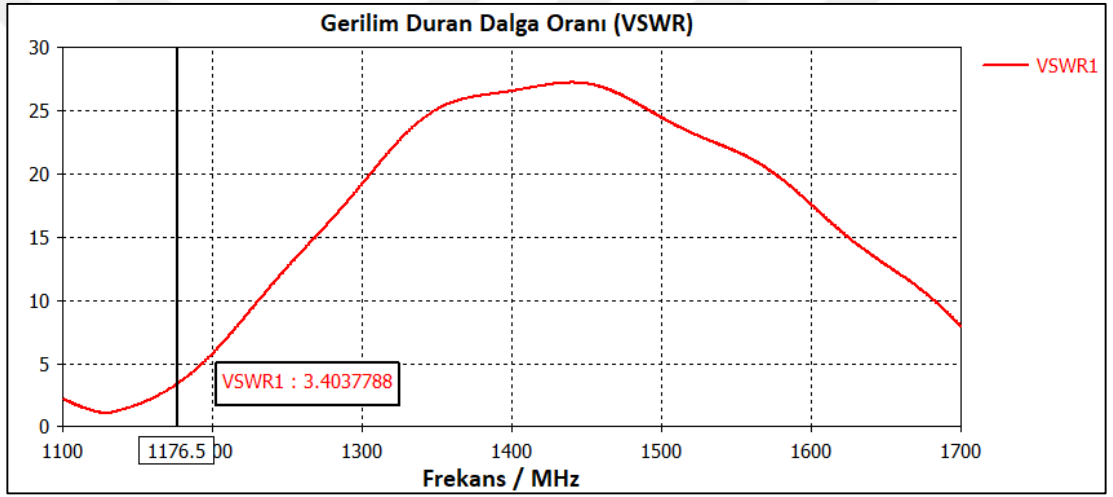
Optimizasyon sonucunda S_{11} , VSWR ve eksenel oran değerlerinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değerinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmiştir.

5.2.5. GPS L5 Teorik

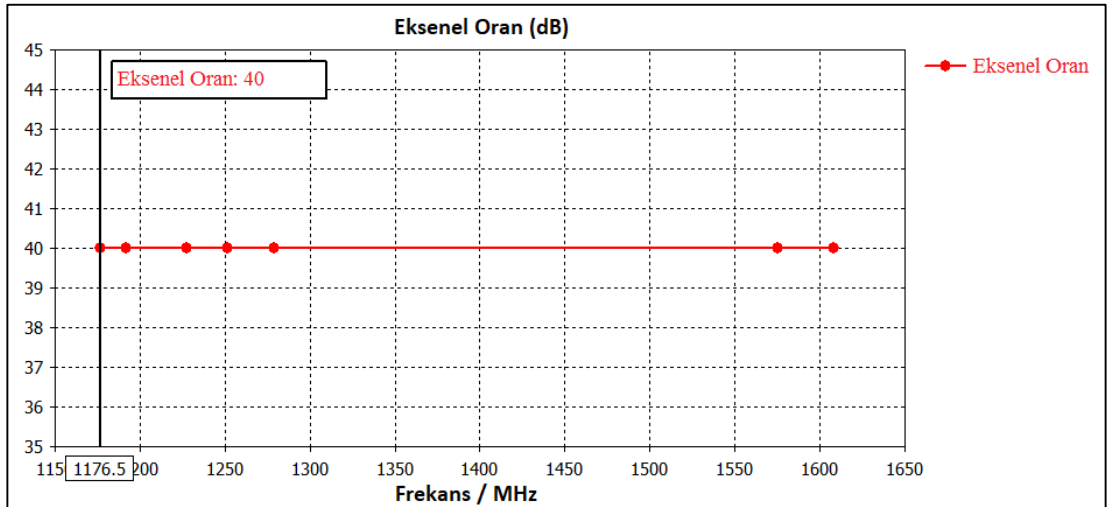
Tablo 5.3 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.21-5.23 arasında yer almaktadır.



Şekil 5.21: GPS L5 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.22: GPS L5 Teorik Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.23: GPS L5 Teorik Eksenel Oran.

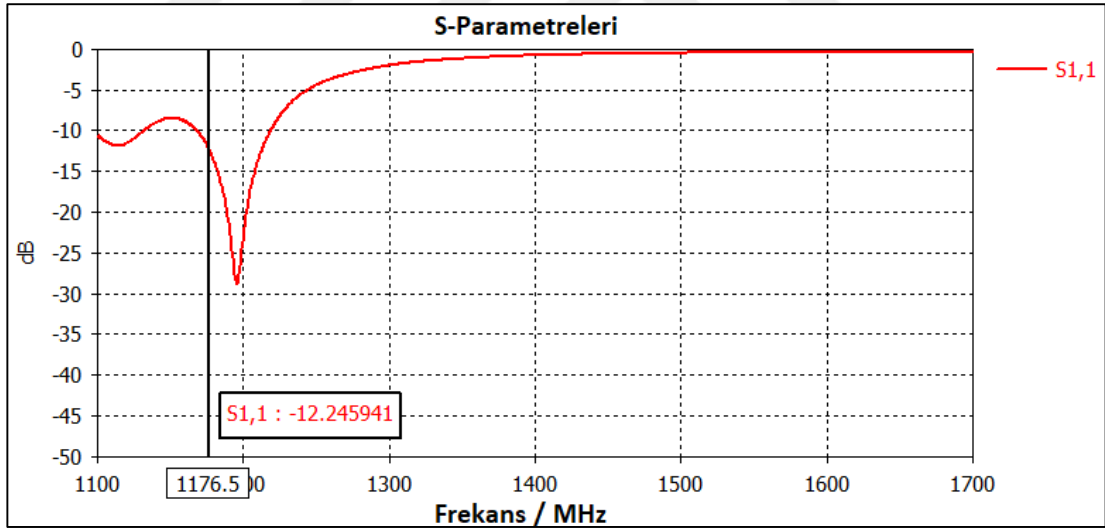
GPS L5 bandında teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1128,2 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-31,214245 dB) sağlandığı, 1176,45 MHz’de ise -5,2589 dB sağlandığı, -10 dB üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

VSWR’nin ise 3,403778 olduğu ve 2’nin üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

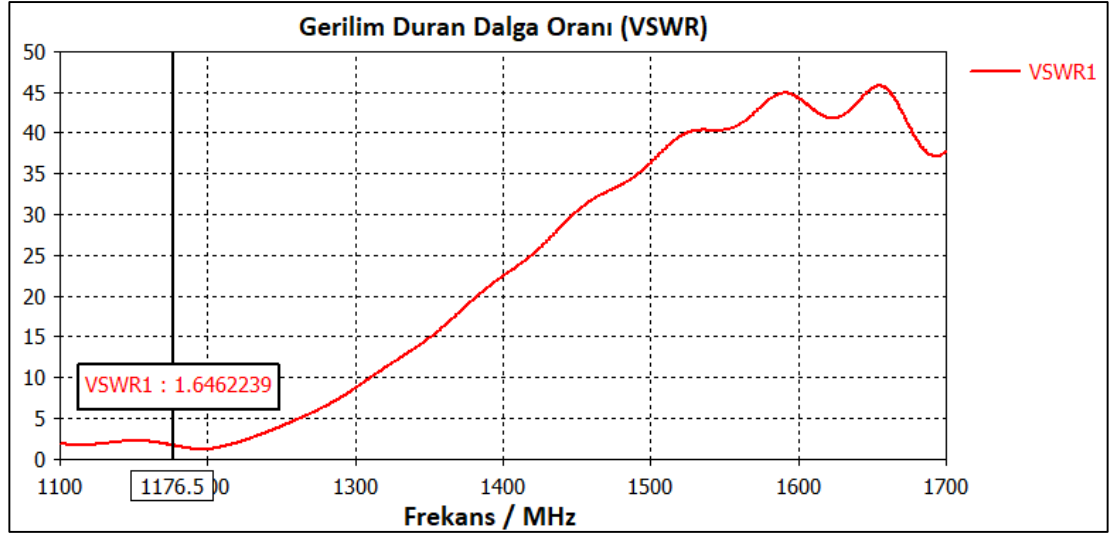
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.6. GPS L5 Optimize Edilmiş

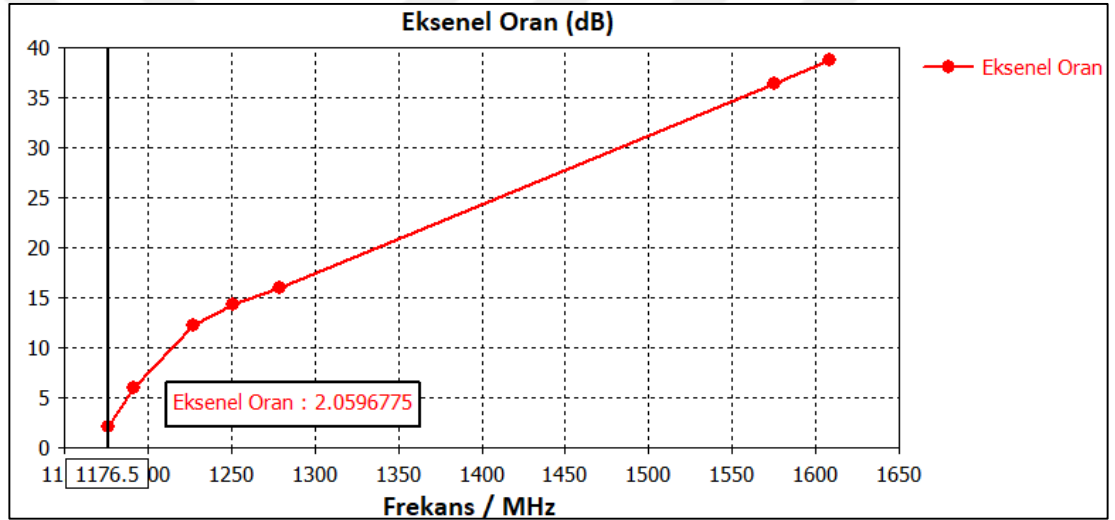
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.24-5.26 arasında, elde edilen değerler Tablo 5.6’da yer almaktadır.



Şekil 5.24: Optimize Edilmiş GPS L5 S-Parametreleri.



Şekil 5.25: Optimize Edilmiş GPS L5 Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.26: Optimize Edilmiş GPS L5 Eksenel Oran.

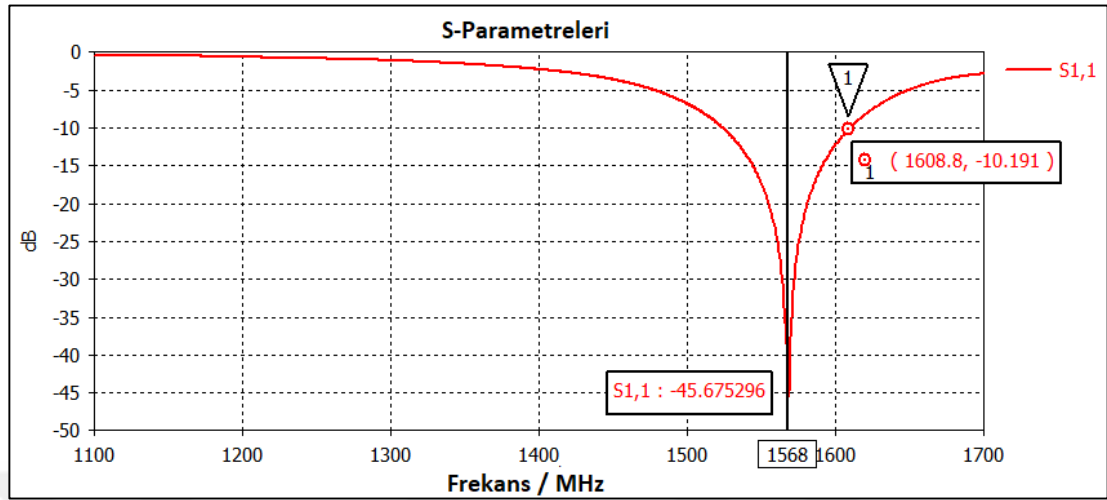
Tablo 5.6: GPS L5 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	78,324	60,5249
L (mm)	60,7727	62,7769
y ₀ (mm)	22,4931	17,3716
g ₀ (mm)	0,41915	0,251112
k (mm)	0	13,1117
S ₁₁ (dB)	-5.2589	-12,245941
VSWR	3,4037788	1,6462239
Eksenel Oran (dB)	40	2,0596775

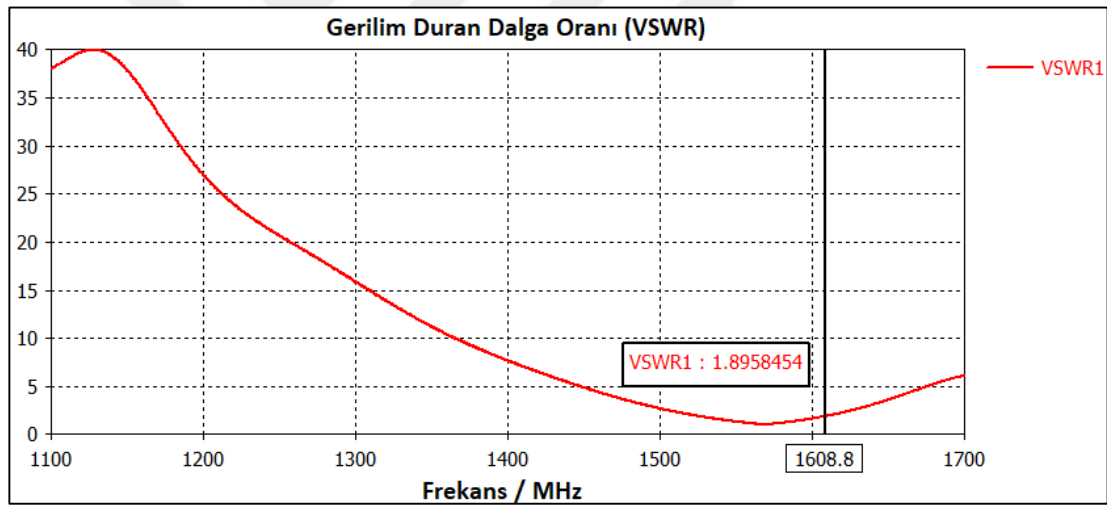
Optimizasyon sonucunda S_{11} , VSWR ve eksenel oran değeriinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değeriinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmiştir.

5.2.7. GLONASS G1 Teorik

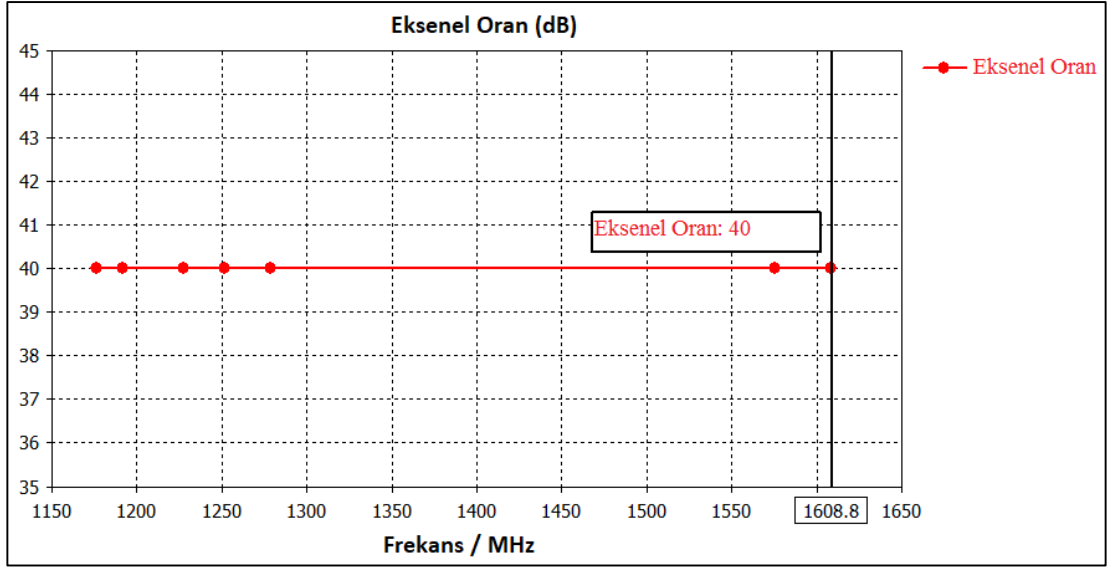
Tablo 5.3 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.27-5.29 arasında yer almaktadır.



Şekil 5.27: GLONASS G1 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.28: GLONASS G1 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.29: GLONASS G1 Teorik Eksenel Oran.

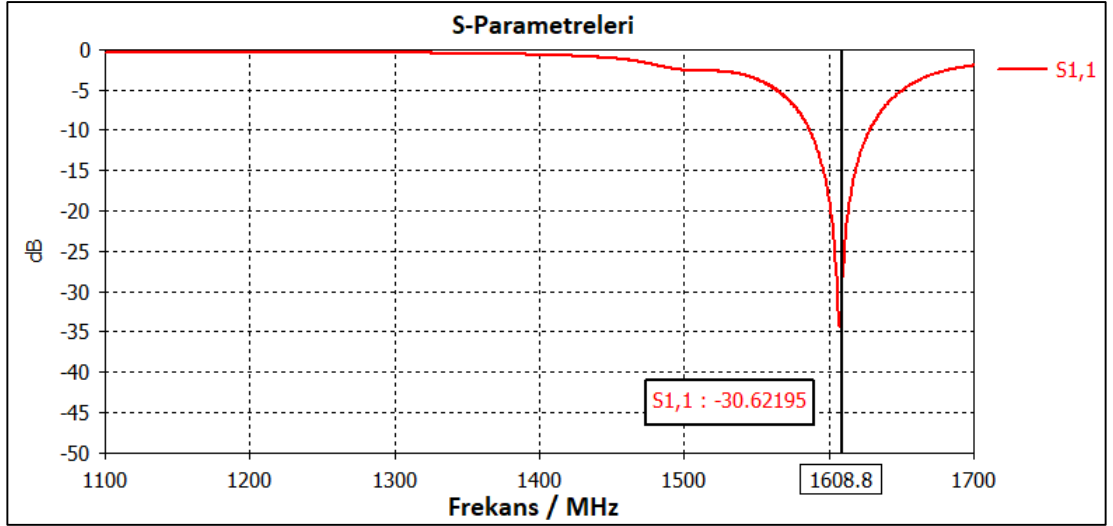
GLONASS G1 bandında teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1568 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-45,675296 dB) sağlandığı, 1608,75 MHz’de ise -10,191 dB sağlandığı, -10 dB altında olması sebebiyle anten isterlerini sağladığı,

VSWR’nin ise 1,8958454 olduğu ve 2’nin altında olması sebebiyle anten isterlerini sağladığı,

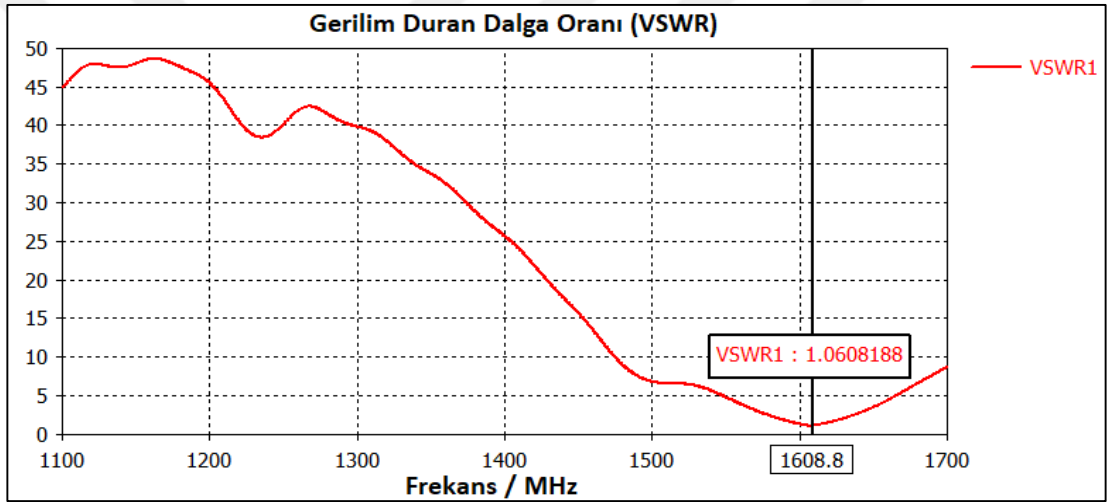
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.8. GLONASS G1 Optimize Edilmiş

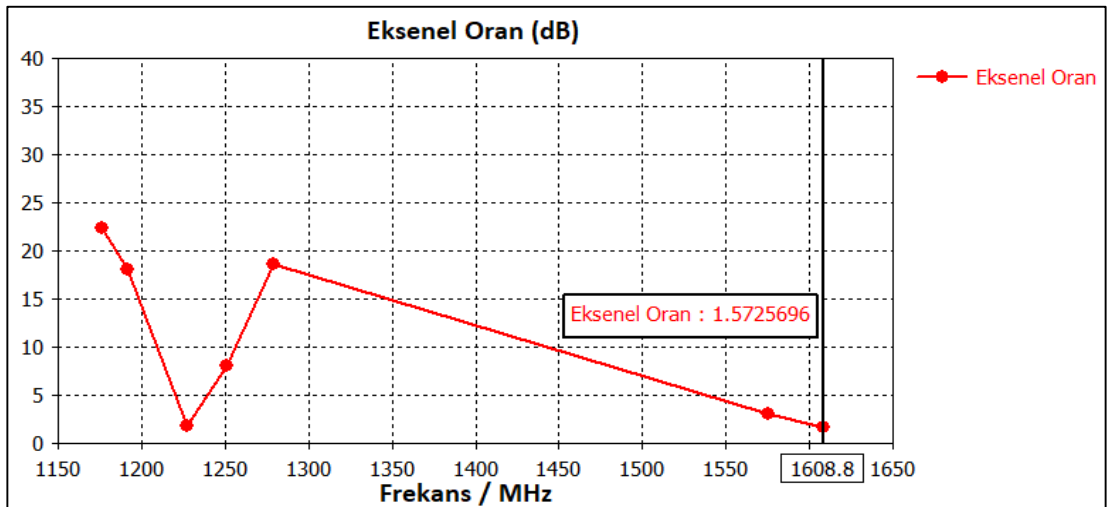
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°’lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.30-5.32 arasında, elde edilen değerler Tablo 5.7’de yer almaktadır.



Şekil 5.30: Optimize Edilmiş GLONASS G1 S-Parametreleri.



Şekil 5.31: Optimize Edilmiş GLONASS G1 Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.32: Optimize Edilmiş GLONASS G1 Eksenel Oran.

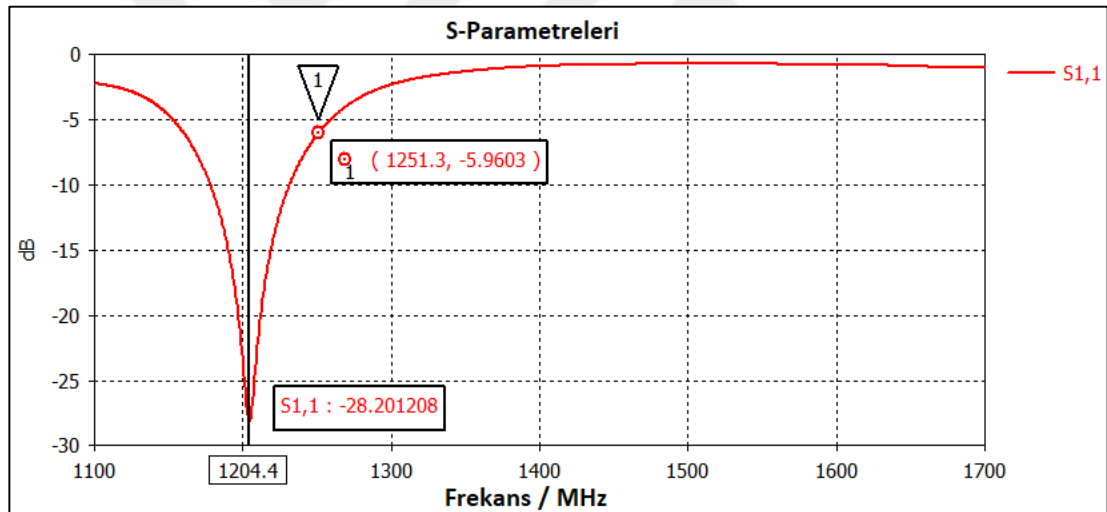
Tablo 5.7: GLONASS G1 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	57,2769	50
L (mm)	44,1027	89,7365
y ₀ (mm)	16,313	18,8458
g ₀ (mm)	0,30943	0,370624
k (mm)	0	8,44258
S ₁₁ (dB)	-10,191	-30,62195
VSWR	1,895454	1,0608188
Eksenel Oran (dB)	40	1,5725696

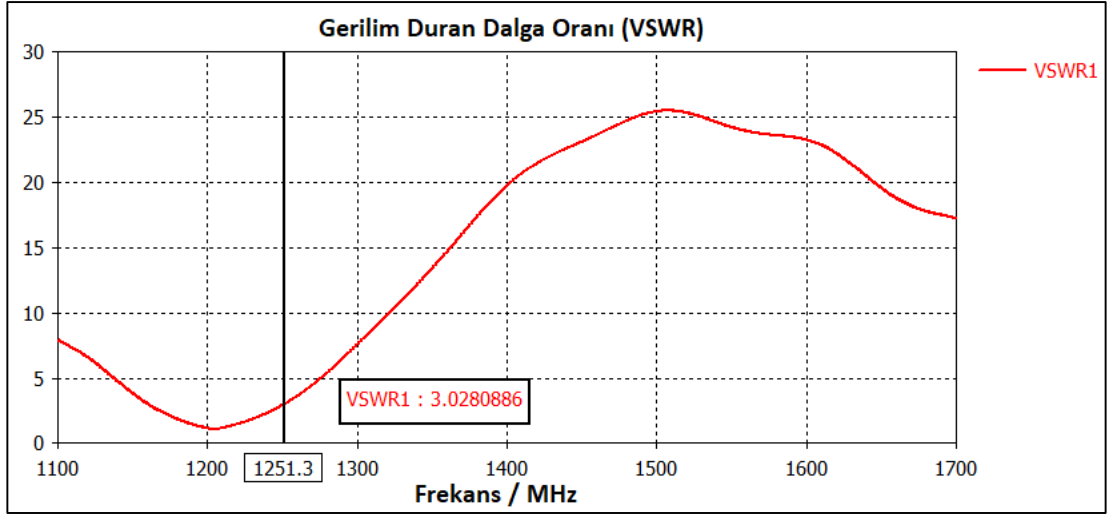
Optimizasyon sonucunda S₁₁, VSWR ve eksenel oran değerlerinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değerinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmiştir.

5.2.9. GLONASS G2 Teorik

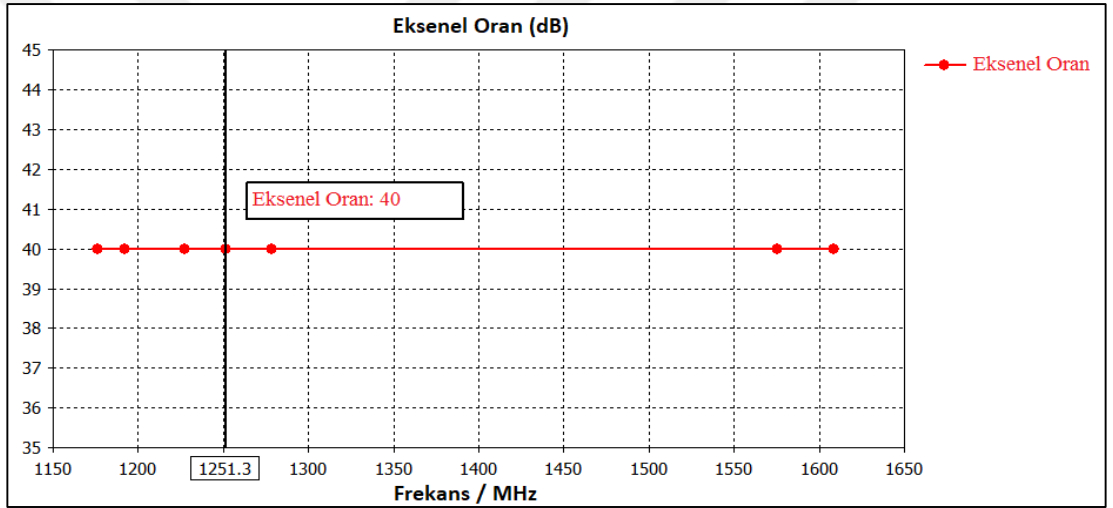
Tablo 5.3 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.33-5.35 arasında yer almaktadır.



Şekil 5.33: GLONASS G2 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.34: GLONASS G2 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.35: GLONASS G2 Teorik Eksenel Oran.

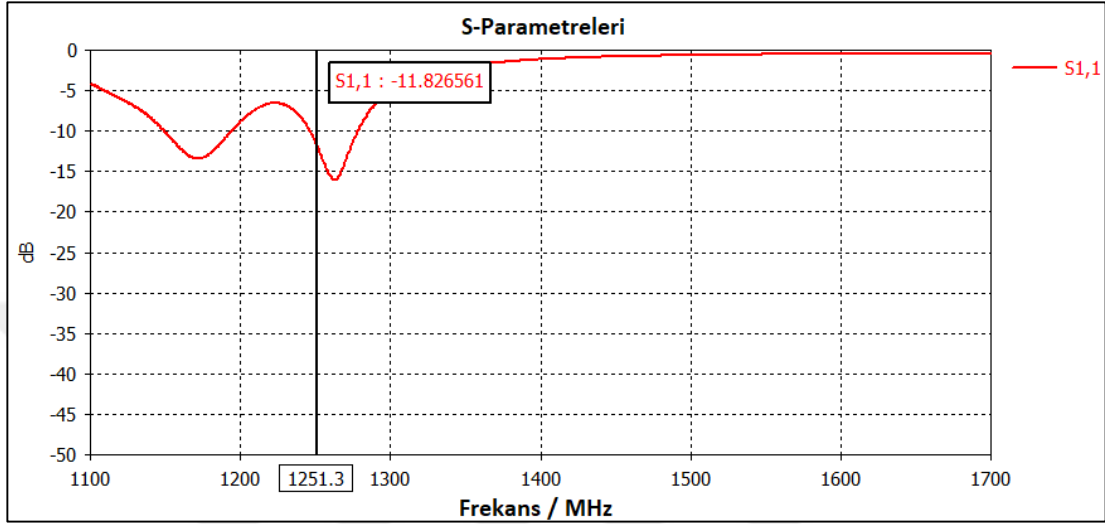
GLONASS G2 bandında teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1204,4 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-28,201208 dB) sağlandığı, 1251,25 MHz’de ise -5,9603 dB sağlandığı, -10 dB üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

VSWR’nin (Gerilim Duran Dalga Oranı) ise 3,0280886 olduğu ve 2’nin üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

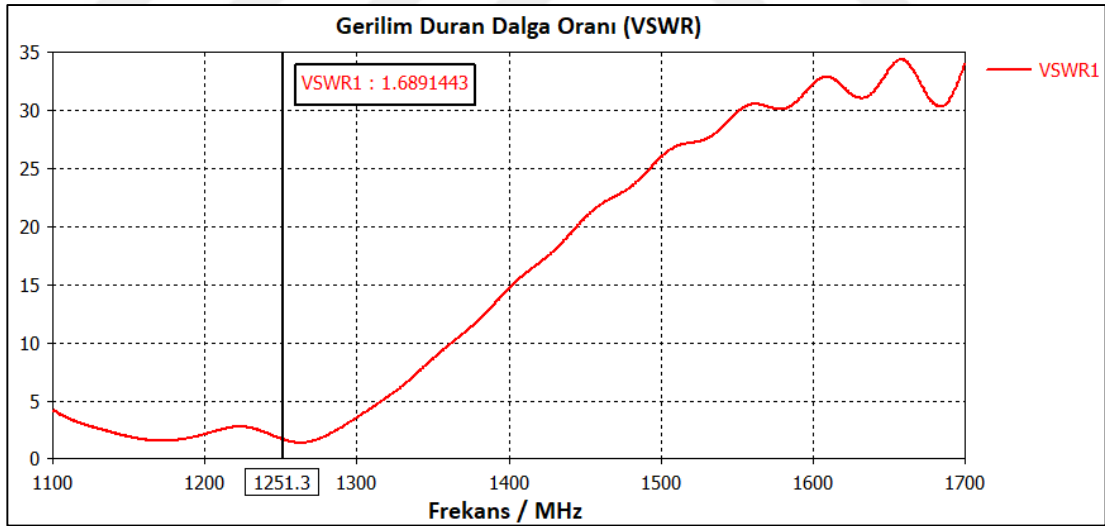
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.10. GLONASS G2 Optimize Edilmiş

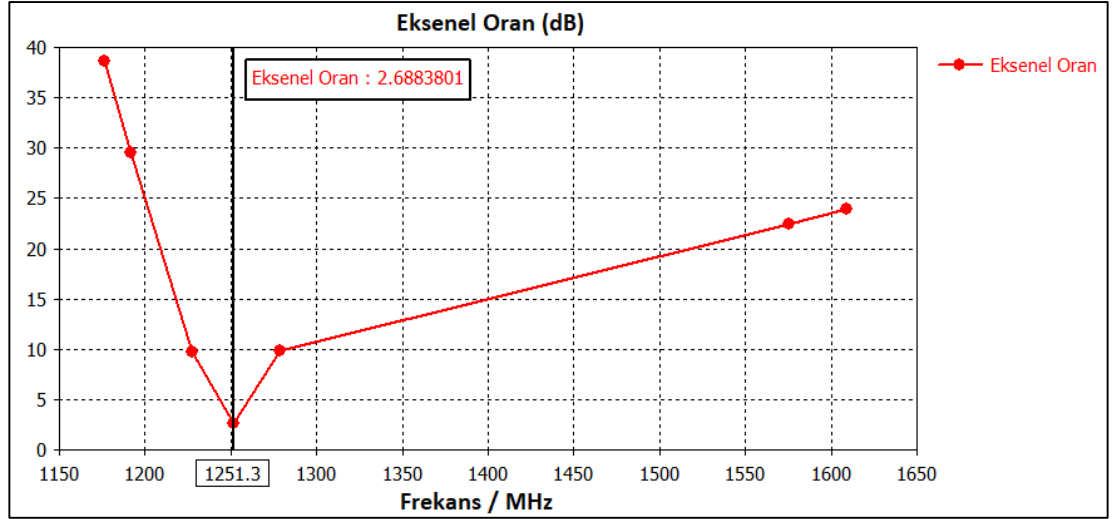
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°'lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.36-5.38 arasında, elde edilen değerler Tablo 5.8'de yer almaktadır.



Şekil 5.36: Optimize Edilmiş GLONASS G2 S-Parametreleri.



Şekil 5.37: Optimize Edilmiş GLONASS G2 Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.38: Optimize Edilmiş GLONASS G2 Eksenel Oran.

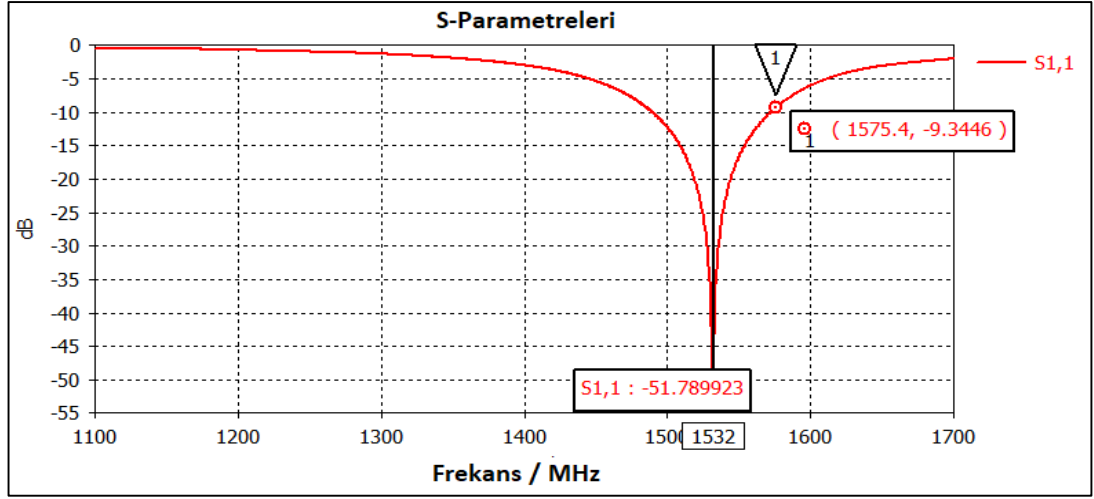
Tablo 5.8: GLONASS G2 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	73,6418	50
L (mm)	57,0694	61,5839
y ₀ (mm)	21,1203	17,9906
g ₀ (mm)	0,39478	0,406807
k (mm)	0	10,7334
S ₁₁ (dB)	-5,9603	-11,826561
VSWR	3,0280886	1,6891443
Eksenel Oran (dB)	40	2,6883801

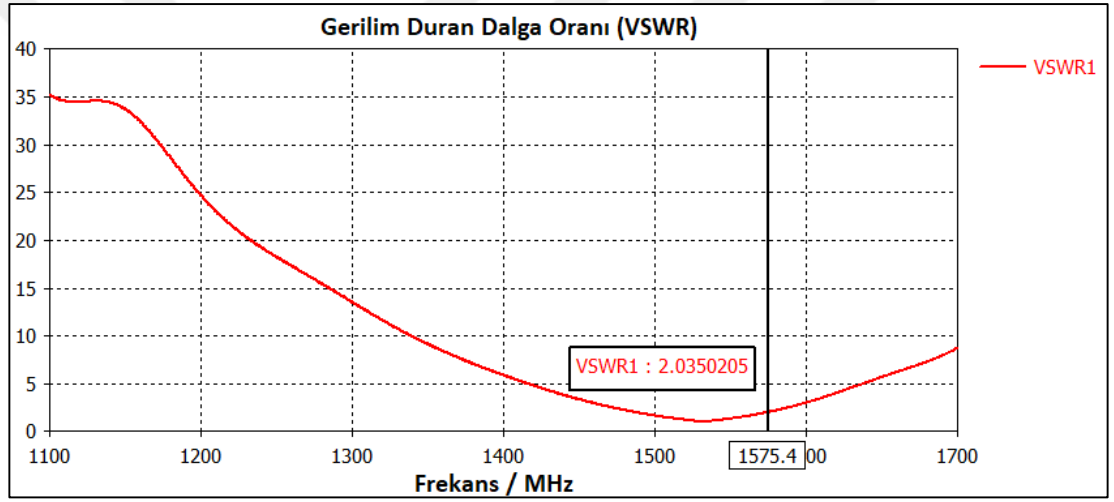
Optimizasyon sonucunda S_{11} , VSWR ve eksenel oran değerlerinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değerinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmiştir.

5.2.11. Galileo E1 Teorik

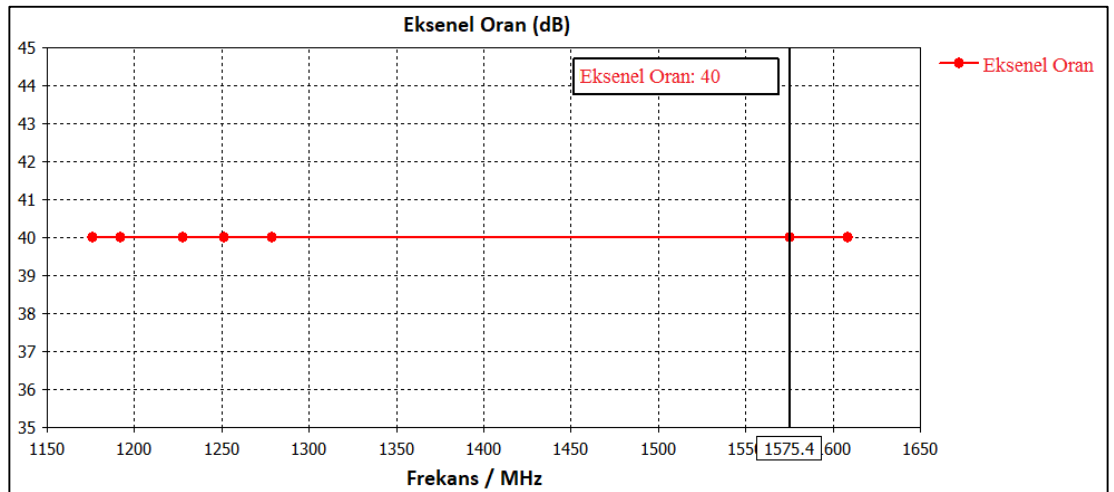
Tablo 5.3 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.39 – 5.41 arasında yer almaktadır.



Şekil 5.39: Galileo E1 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.40: Galileo E1 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.41: Galileo E1 Teorik Eksenel Oran.

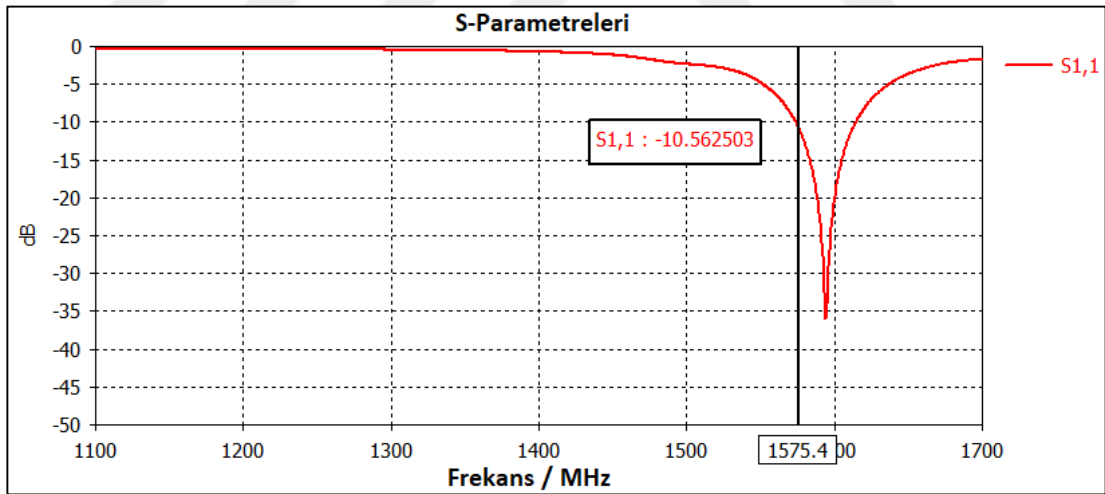
Galileo E1 bandında teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1532 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-51,789923 dB) sağlandığı, 1575,42 MHz’de ise -9,3446 dB sağlandığı, -10 dB üzerinde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı, fakat yakın bir değer elde edildiği,

VSWR’nin ise 2,0350205 olduğu, 2’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı, fakat yakın bir değer elde edildiği,

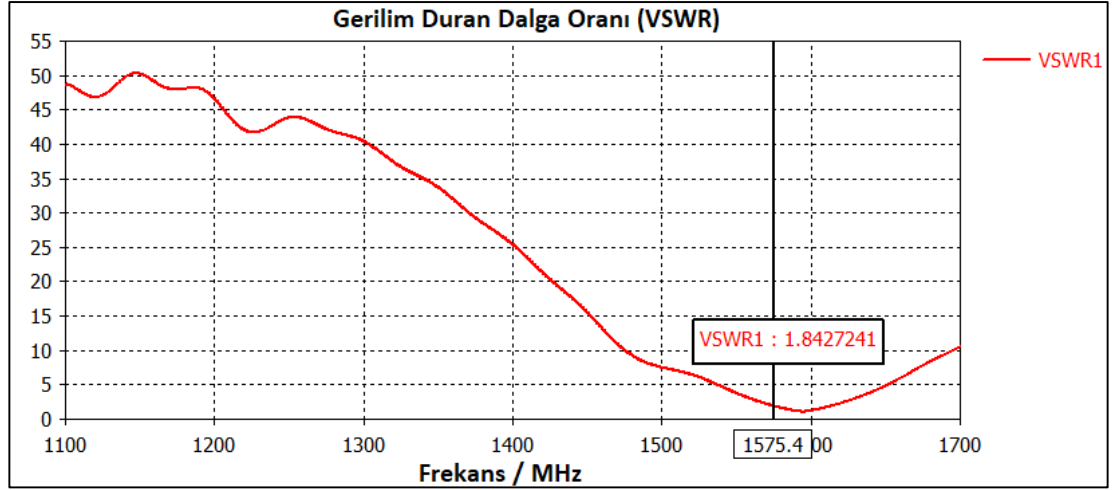
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.12. Galileo E1 Optimize Edilmiş

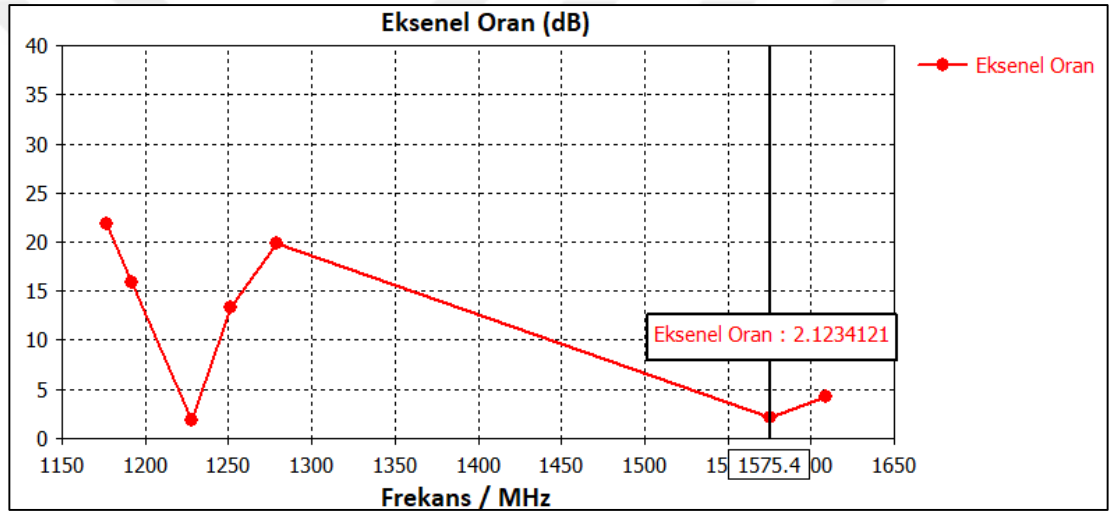
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°’lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.42-5.44 arasında, elde edilen değerler Tablo 5.9’da yer almaktadır.



Şekil 5.42: Optimize Edilmiş Galileo E1 S-Parametreleri.



Şekil 5.43: Optimize Edilmiş Galileo E1 Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.44: Optimize Edilmiş Galileo E1 Eksenel Oran.

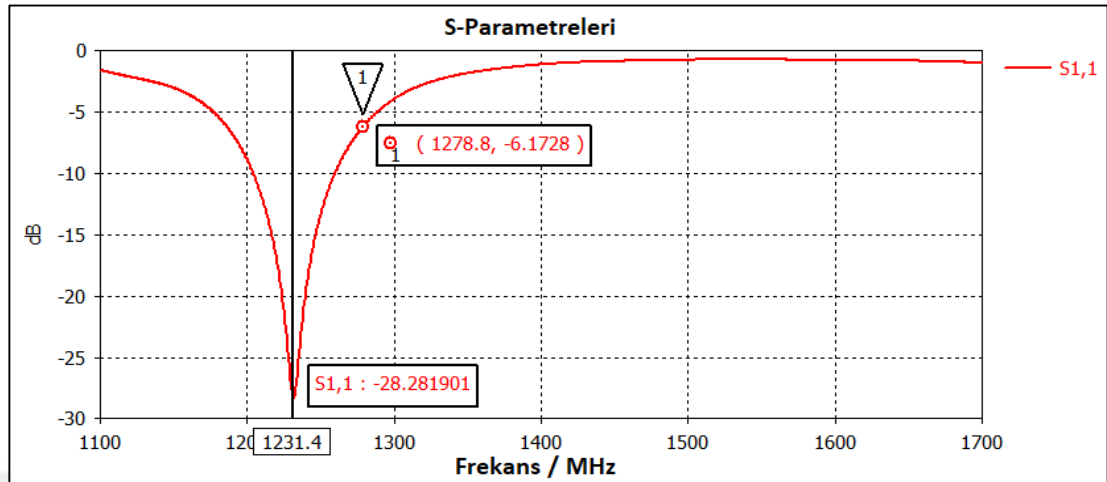
Tablo 5.9: Galileo E1 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	58,4887	50
L (mm)	45,0644	90
y ₀ (mm)	16,6695	19
g ₀ (mm)	0,31576	0,375
k (mm)	0	7,56
S ₁₁ (dB)	-9,3446	-10,562503
VSWR	2,0350205	1,8427241
Eksenel Oran (dB)	40	2,1234121

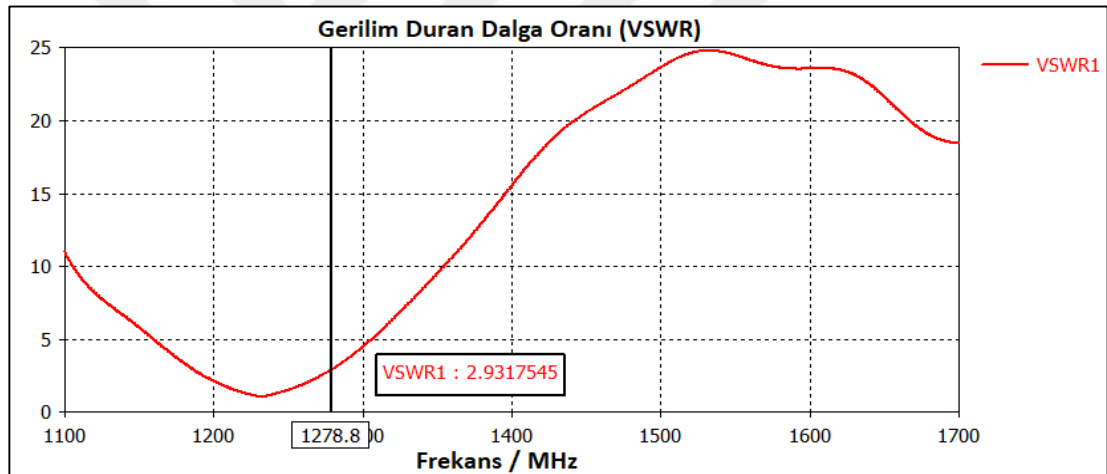
Optimizasyon sonucunda S₁₁, VSWR ve eksenel oran değerlerinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değerinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmiştir.

5.2.13. Galileo E6 Teorik

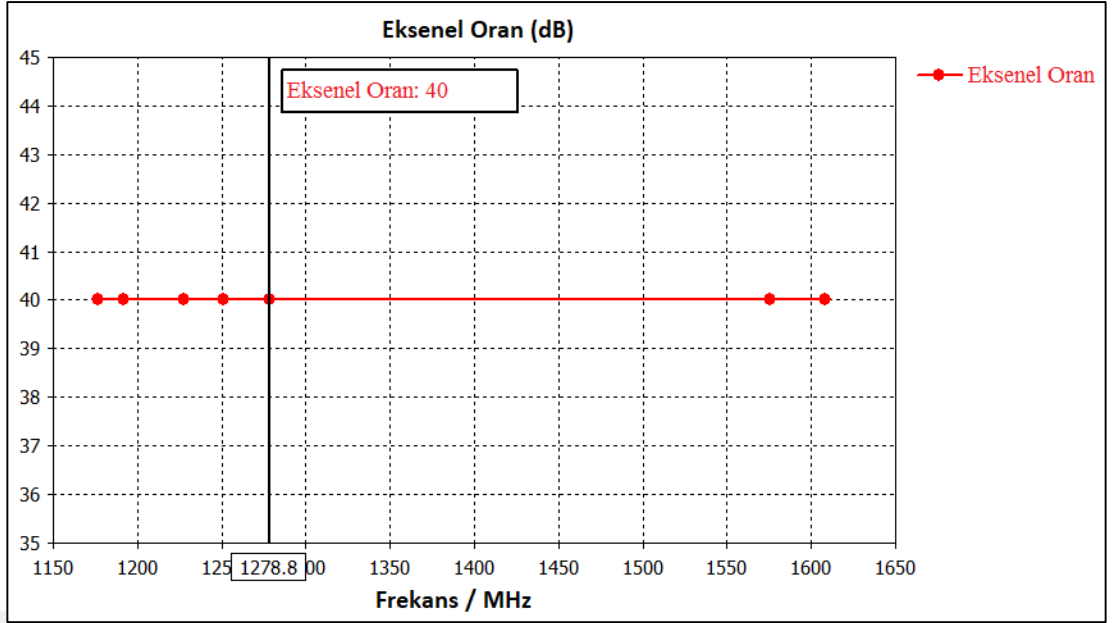
Tablo 5.3 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.45–5.47 arasında yer almaktadır.



Şekil 5.45: Galileo E6 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.46: Galileo E6 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.47: Galileo E6 Teorik Eksenel Oran.

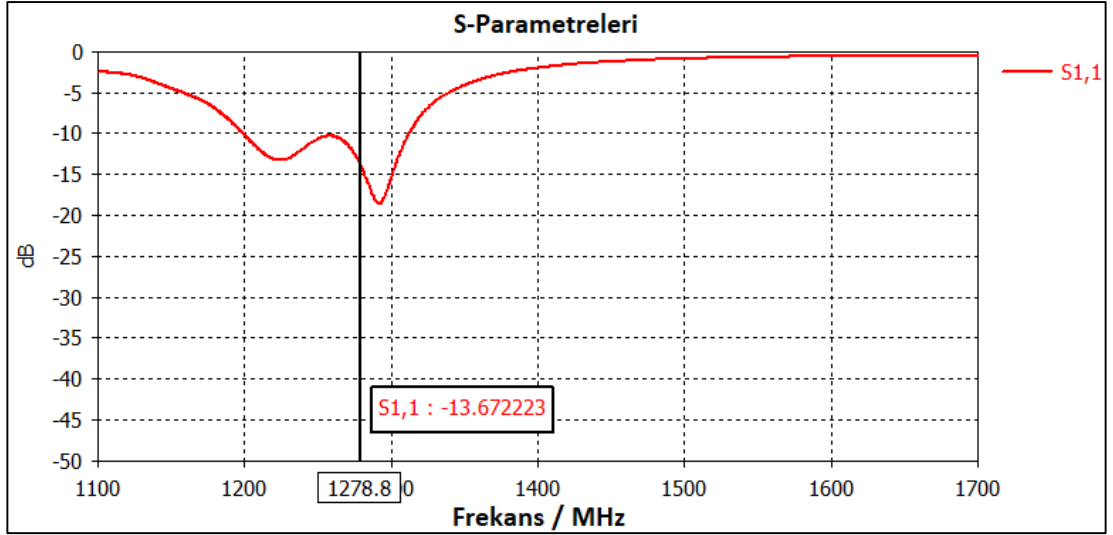
Galileo E6 teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1231,4 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-28,281901 dB) sağlandığı, 1278,75 MHz’de ise -6,1728 dB sağlandığı, -10 dB üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

VSWR’nin ise 2,9317545 olduğu ve 2’nin üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

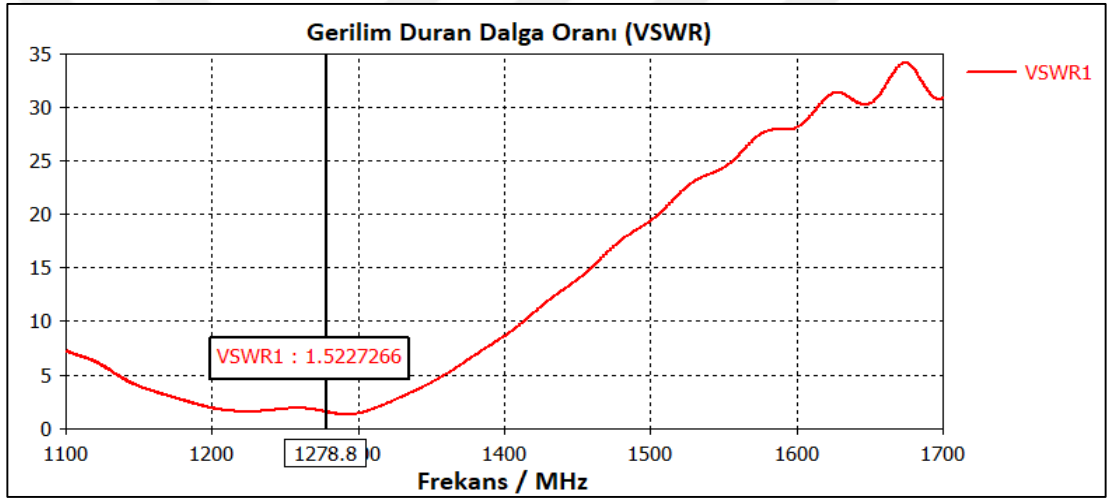
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB’nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.14. Galileo E6 Optimize Edilmiş

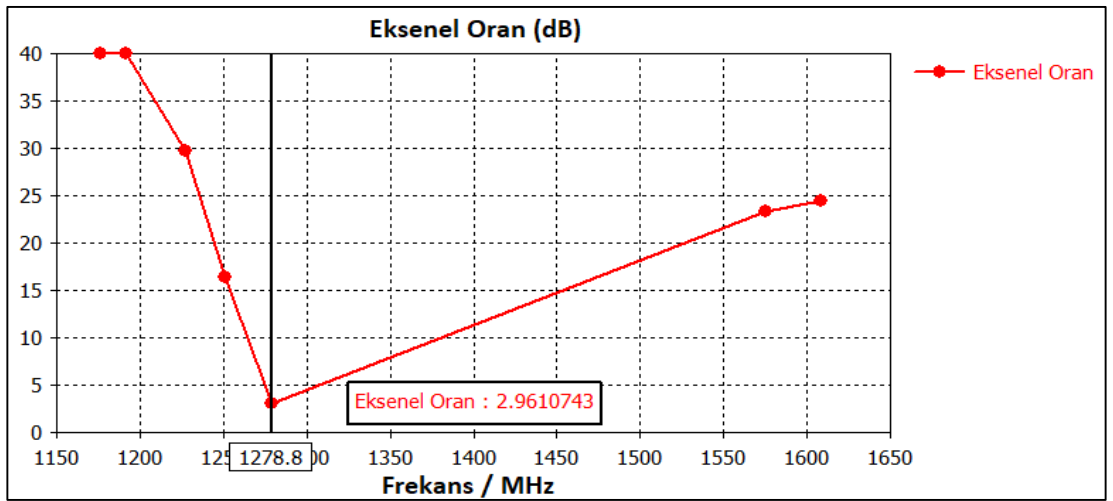
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°’lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.48-5.50 arasında, elde edilen değerler Tablo 5.10’da yer almaktadır.



Şekil 5.48: Optimize Edilmiş Galileo E6 S-Parametreleri.



Şekil 5.49: Optimize Edilmiş Galileo E6 Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.50: Optimize Edilmiş Galileo E6 Eksenel Oran.

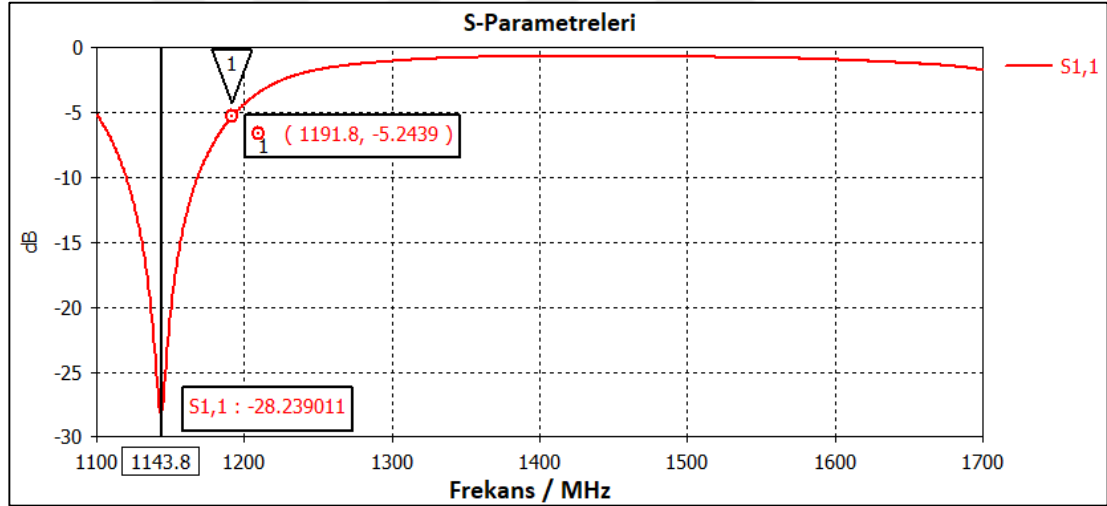
Tablo 5.10: Galileo E6 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	72,0581	50
L (mm)	55,8163	58,5586
y ₀ (mm)	20,6558	16,0227
g ₀ (mm)	0,38653	0,344755
k (mm)	0	9,51783
S ₁₁ (dB)	-6.1728	-13,672223
VSWR	2.9317545	1,5227266
Eksenel Oran (dB)	40	2,9610743

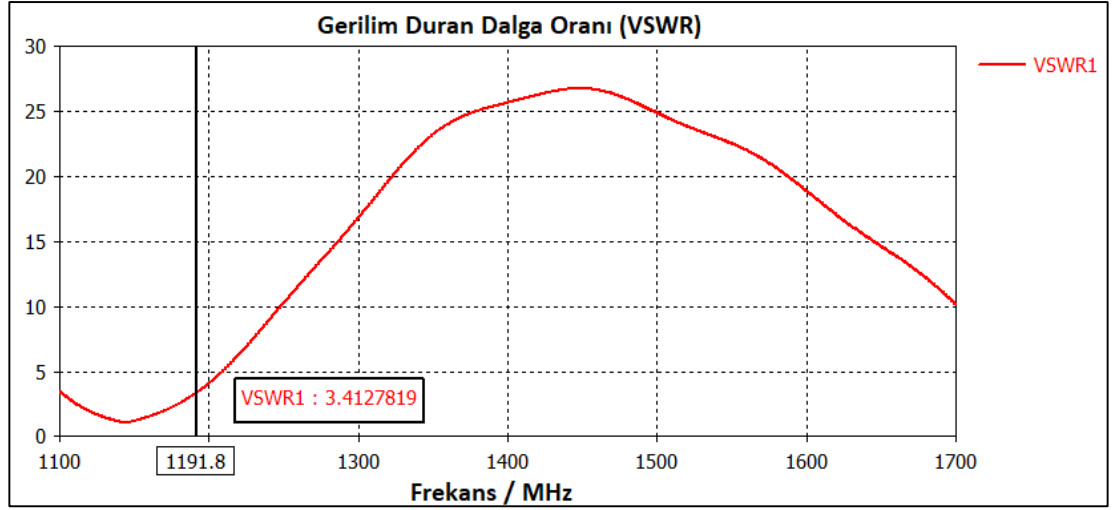
Optimizasyon sonucunda S₁₁, VSWR ve eksenel oran değerlerinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değerinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmiştir.

5.2.15. Galileo E5 Teorik

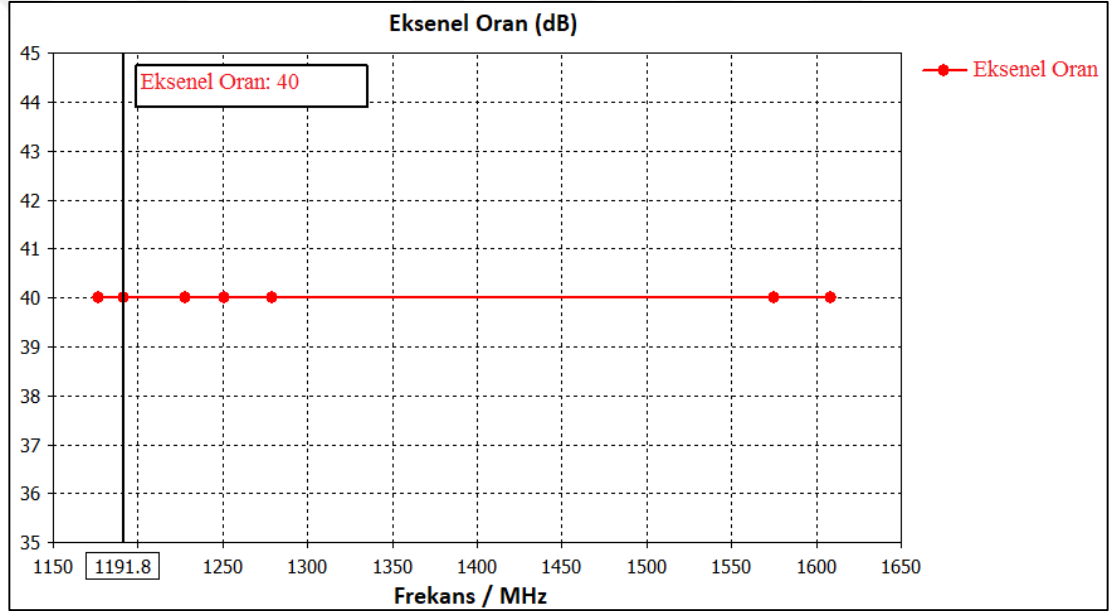
Tablo 5.3 kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.51-5.53 arasında yer almaktadır.



Şekil 5.51: Galileo E5 Teorik S-Parametreleri.



Şekil 5.52: Galileo E5 Teorik Gerilim Duran Dalga Oranı.



Şekil 5.53: Galileo E5 Teorik Eksenel Oran.

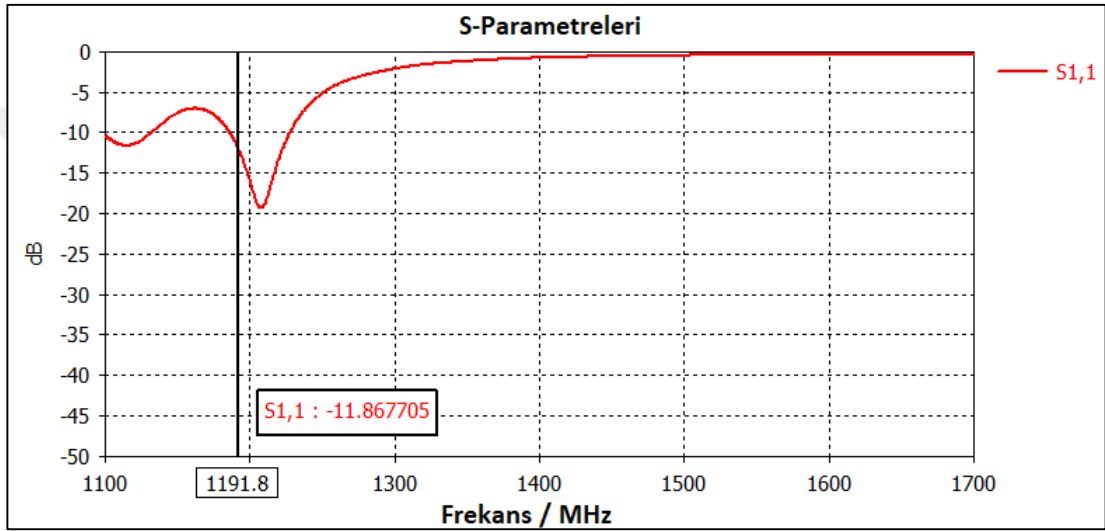
Galileo E5 teorik olarak hesaplanan değerler ile geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin 1143,8 MHz’de söz konusu rezonans frekansa göre daha iyi (-28,239011 dB) sağlandığı, 1191,795 MHz’de ise -5,2439 dB sağlandığı, -10 dB üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

VSWR’nin ise 3,4127819 olduğu ve 2’nin üstünde olması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı,

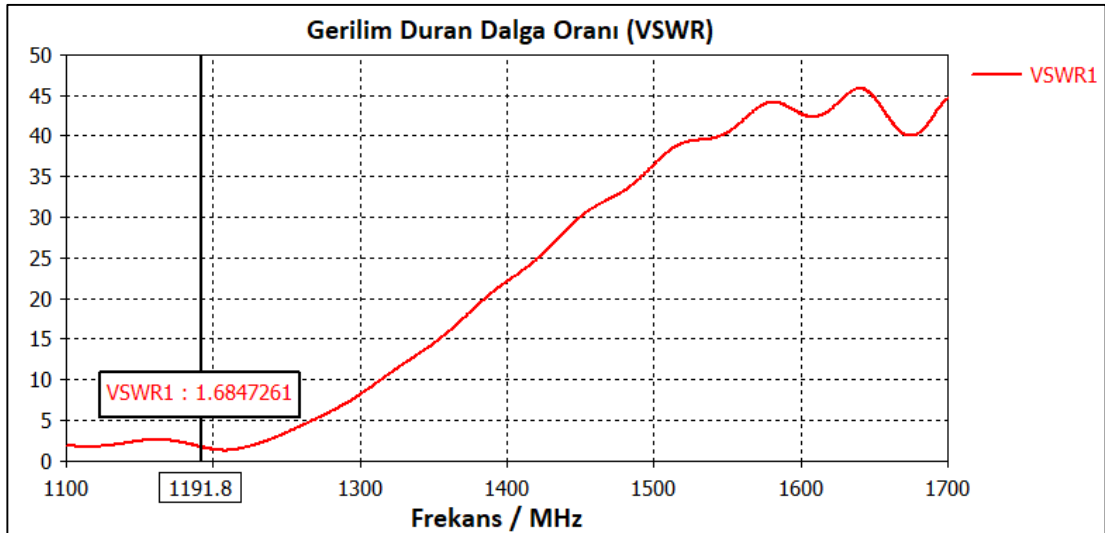
Uygulamadaki tavan değeri 40 dB olan eksenel oranın, söz konusu frekans için de 40 dB olduğu ve 3 dB'nin altında olmaması sebebiyle anten isterlerini sağlayamayacağı görülmektedir.

5.2.16. Galileo E5 Optimize Edilmiş

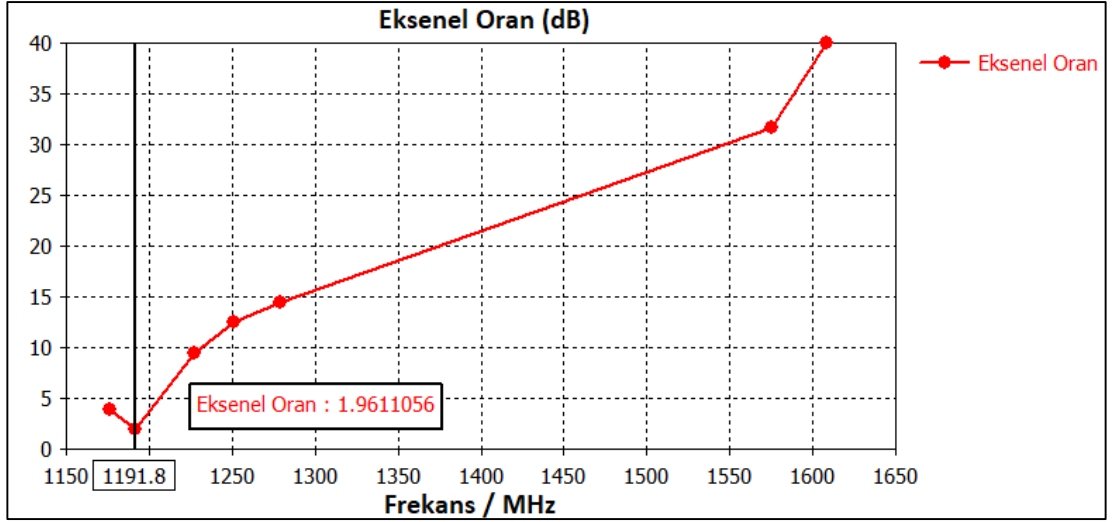
Eksenel oranda iyileştirme yapılabilmesi için antenin alt ve üst çapraz köşelerinden 45°'lik açıyla birbirinin aynı ölçüde iki üçgen kesilmiş ve CST Studio Suite ile optimizasyon sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.54-5.56 arasında, elde edilen değerler Tablo 5.11'de yer almaktadır.



Şekil 5.54: Optimize Edilmiş Galileo E5 S-Parametreleri.



Şekil 5.55: Optimize Edilmiş Galileo E5 Gerilim Duran Dalgı Oranı.



Şekil 5.56: Optimize Edilmiş Galileo E5 Eksenel Oran.

Tablo 5.11: Galileo E5 Optimizasyonu.

	Teorik	Optimizasyon
W (mm)	77,3155	59,6616
L (mm)	59,9753	62,8475
y ₀ (mm)	22,1975	18,0514
g ₀ (mm)	0,4139	0,258965
k (mm)	0	13,0536
S ₁₁ (dB)	-5,2439	-11,867705
VSWR	3,4127819	1,6847261
Eksenel Oran (dB)	40	1,9611056

Optimizasyon sonucunda S_{11} , VSWR ve eksenel oran değerlerinde iyileştirme sağlanmış, özellikle de eksenel oran değerinin 3 dB'nin altına düşmesi ile dairesel polarizasyon elde edilebilmiş ve anten için isterler sağlanabilmiştir.

5.2.17. KSUS Bantları Optimizasyon Özeti

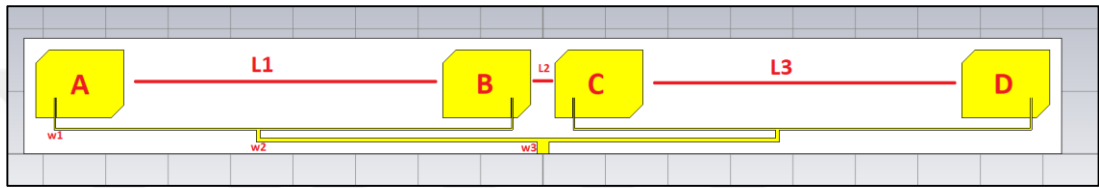
Yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen değerlerin farklı maddelerde yer alması sonuçların görüntülenmesini zorlaştırdığından, optimizasyon ile ilgili özet Tablo 5.12'de yer almaktadır.

Tablo 5.12: Optimizasyon Özeti.

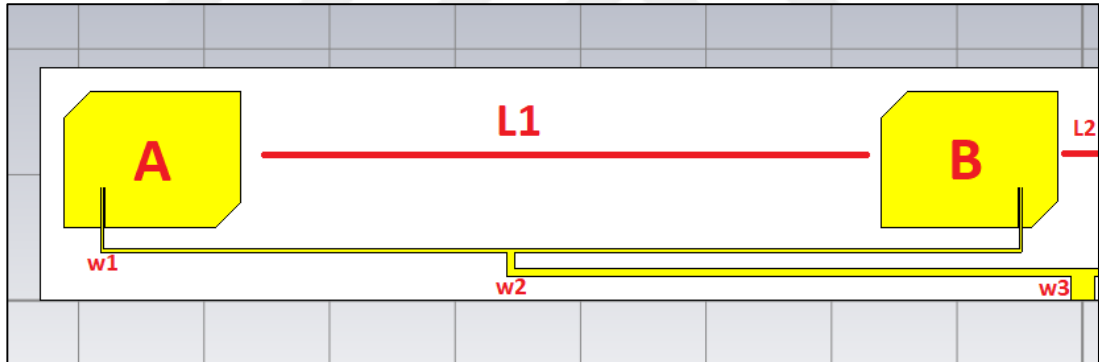
Bant	f_r (MHz)	W (mm)	L (mm)	k (mm)	y_0 (mm)	g_0 (mm)	S_{11} (dB)	VSWR	Eksenel Oran (dB)
GPS	1575,42	50	90	7,56	19	0,375	-10,562503	1,8427241	2,1234121
	1227,6	50	61,2865	10,6375	19,5447	0,341729	-11,540276	1,7205904	2,8688975
	1176,45	60,5249	62,7769	13,1117	17,3716	0,251112	-12,245941	1,6462239	2,0596775
GLONASS	1608,75	50	89,7365	8,44258	18,8458	0,370624	-30,62195	1,0608188	1,5725696
	1251,25	50	61,5839	10,7334	17,9906	0,406807	-11,826561	1,6891443	2,6883801
GALILEO	1575,42	50	90	7,56	19	0,375	-10,562503	1,8427241	2,1234121
	1278,75	50	58,5586	9,51783	16,0227	0,344755	-13,672223	1,5227266	2,9610743
	1191,795	59,6616	62,8475	13,0536	18,0514	0,258965	-11,867705	1,6847261	1,9611056

5.3. Mikroşerit Yama Anten Dizisi Analizi ve Tasarımı

CST Studio Suite ile dört dizili bir anten tasarımı yapılmıştır. Yapılan dizi anten tasarımında Şekil 5.3'teki anten parametrelerine ilave olarak antenler arası mesafe ve antenler arası bağlantıyı sağlayan ilave şerit kavramları da ortaya çıkmaktadır. A, B, C, D antenleri boyut olarak aynı olmasına rağmen mikroşerit anten beslemeleri merkeze göre kaydırılmıştır. A anteni, B anteninin, C anteni ise D anteninin beslemelerinin merkeze göre aynalanmış hali şeklindedir. Dizi anten tasarımına ait uzak ve yakın gösterim Şekil 5.57 ve Şekil 5.58'de, parametreler Tablo 5.13'de yer almaktadır.



Şekil 5.57: Dizi Anten Uzak Gösterim.

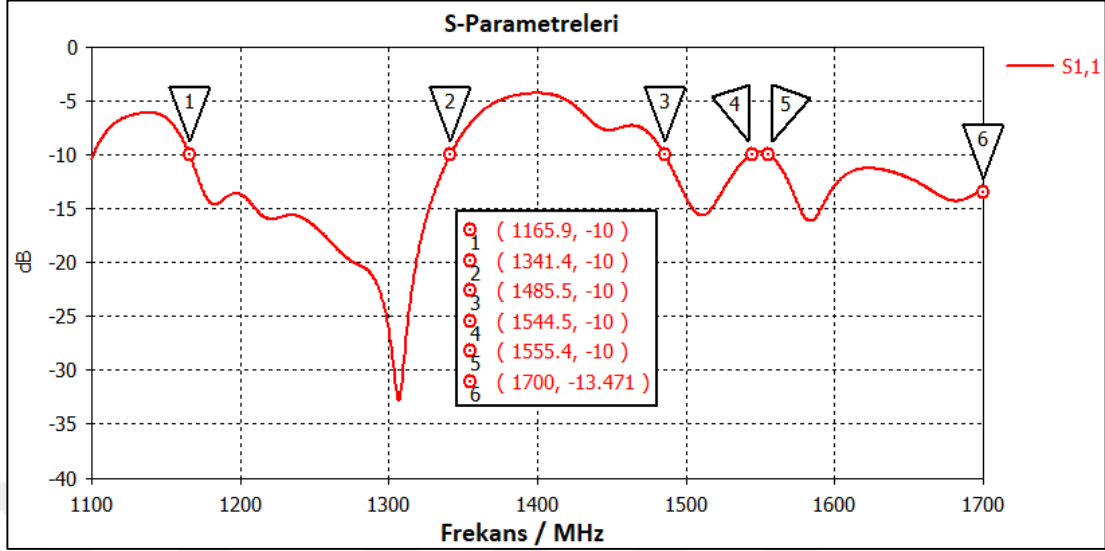


Şekil 5.58: Dizi Anten Yakın Gösterim.

Tablo 5.13: Anten Parametreleri.

Parametre	Açıklama	Birimi	Değer
f	Frekans Aralığı	MHz	1100-1700
ϵ_r	Dielektrik Sabiti	-	4,3
h	Yalıtkan Malzeme Yüksekliği	mm	3,2
t	İletken Malzeme Yüksekliği	mm	0,035
W	Anten Genişliği	mm	70,4107
L	Anten Uzunluğu	mm	54,3308
a	Tüm Yalıtkan Malzeme/Taban Genişliği	mm	830,2468
b	Tüm Yalıtkan Malzeme/Taban Uzunluğu	mm	92,7308
y_0	Boşluk Uzunluğu	mm	16
g_0	Boşluk Genişliği	mm	0,2
x	Antenin Yanlardan Olan Mesafesi	mm	9,6
y	Antenin Yukarıdan Olan Mesafesi	mm	9,6
k	Kesim Uzunluğu	mm	10,6304
L1 ve L3	A-B ve C-D Antenleri Arası Mesafe	mm	255,102
L2	B-C Antenleri Arası Mesafe	mm	19,2
w1	Şerit-1 Genişlik	mm	1,1494
w2	Şerit-3 Genişlik	mm	3,1168
w3	Şerit-5 Genişlik	mm	9,6
	Anten Merkezine Göre Kaydırma	mm	$\pm 20,146$

Söz konusu parametreler kullanıldığında S_{11} , VSWR ve eksenel oranı yorumlamak üzere Şekil 5.59-5.62 arası sonuç grafikler yer almaktadır.



Şekil 5.59: Dizi Anten S-Parametreleri.

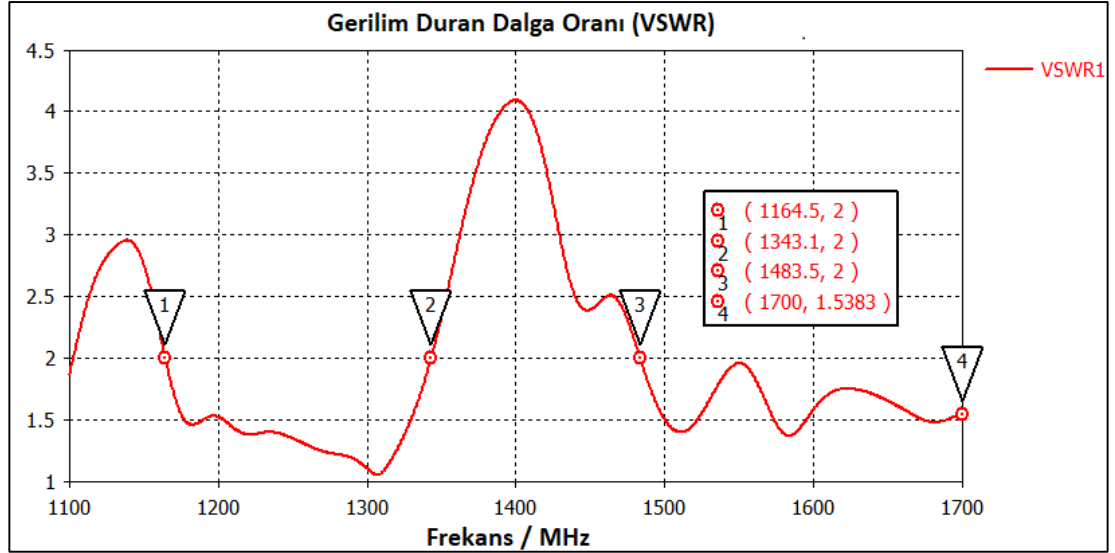
S_{11} parametreleri kapsamında -10 dB altı referans olarak kabul edilmek üzere;

1165,9-1341,4 MHz frekans aralığında 175,5 MHz,

1485,5-1544,5 MHz frekans aralığında 59 MHz,

1555,4-1700 MHz frekans aralığında 145,6 MHz,

Toplamda ise 379,1 MHz'lik bant aralığı, bütün bandın yaklaşık %63'ü için isterleri sağlamakla beraber, GPS (L1, L2, L5), GLONASS (G1, G2) ve Galileo (E1, E6, E5) bantlarının %100'ünde isterler sağlanmaktadır. Söz konusu değerler, Tablo 5.14'de yer almaktadır.



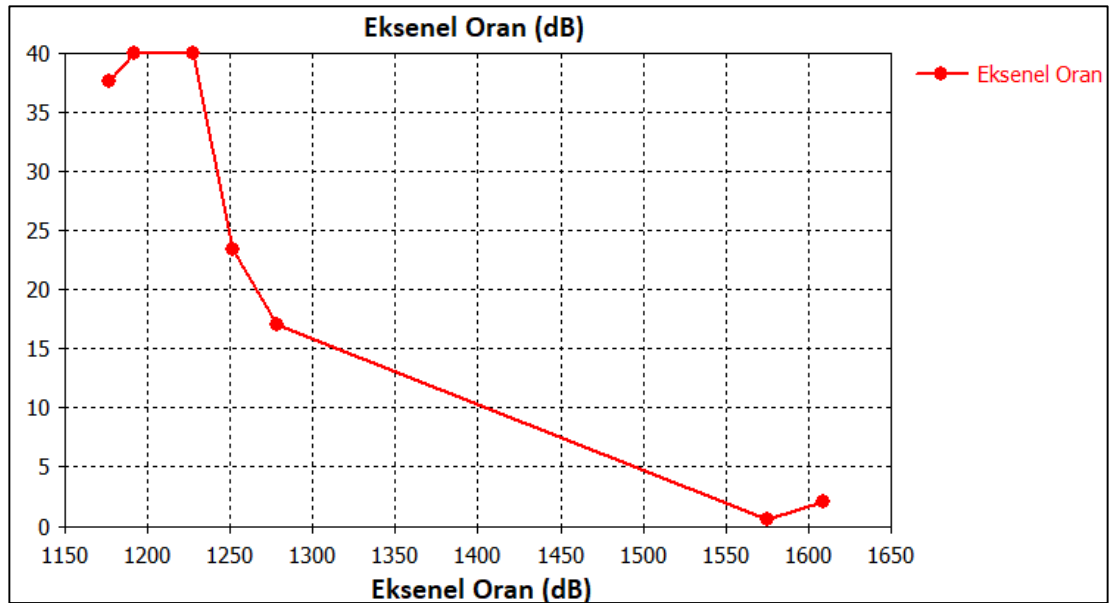
Şekil 5.60: Dizi Anten Gerilim Duran Dalgı Oranı.

VSWR kapsamında 2 altı referans kabul edilmek üzere;

1164,5-1343,1 MHz frekans aralığında 181,6 MHz

1483,5-1700 MHz frekans aralığında 216,5 MHz,

Toplamda 395,1 MHz'lik bant aralığı bütün bandın yaklaşık %66'sı için isterleri sağlamakla beraber, GPS (L1, L2, L5), GLONASS (G1, G2) ve Galileo (E1, E6, E5) bantlarının %100'ünde isterler sağlanmaktadır. Söz konusu değerler, Tablo 5.14'de yer almaktadır.

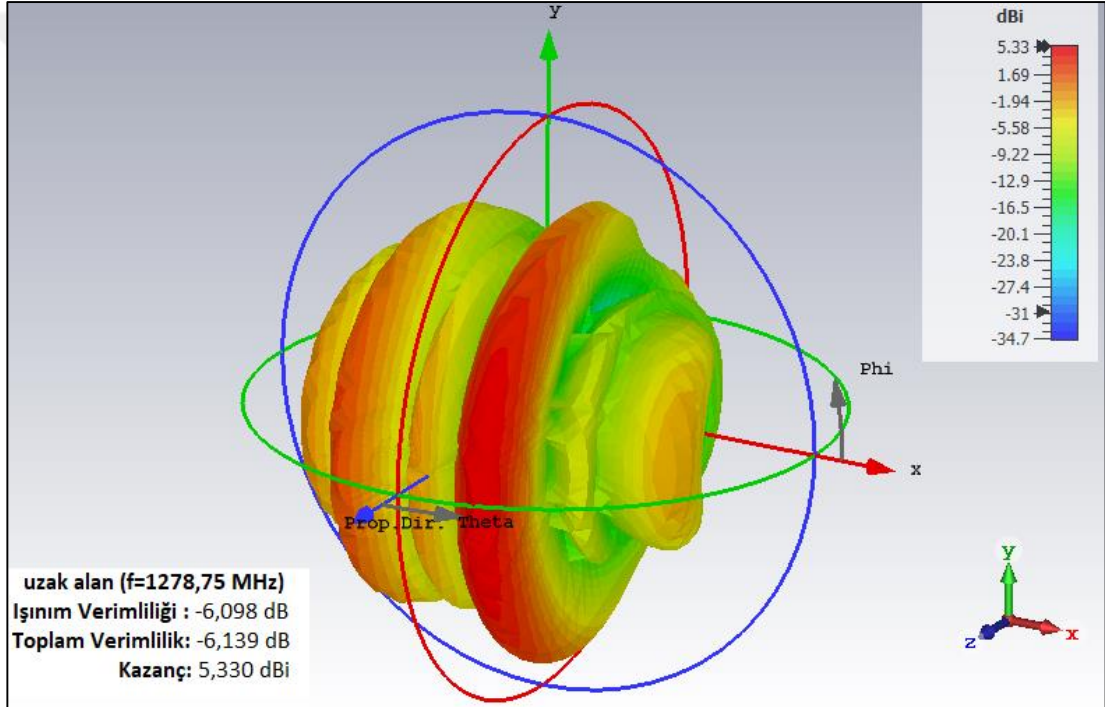


Şekil 5.61: Dizi Anten Eksenel Oranı.

Eksenel oran kapsamında dairesel polarizasyon için 3 dB altı referans kabul edilmek üzere;

GPS L1, Galileo E1 ve GLONASS G1 frekanslarında tam anlamıyla isterlerin sağlanabildiği,

Diğer rezonans frekans değerleri için her ne kadar gerekli isterler sağlanamasa da frekans artışıyla genel olarak artan bir performans sergilendiği görülmektedir. Yama antene yarıklar açma, ilave besleme yöntemleri gibi farklı çalışmalarla eksenel oranın mümkün olduğunca 3 dB altına getirilebileceği değerlendirilmektedir. Söz konusu değerler, Tablo 5.14’de yer almaktadır.



Şekil 5.62: 1278,75 MHz Kazanç Grafiği.

Söz konusu dizi antenin farklı frekanslarda farklı kazanç değerleri olsa da örnek olarak 1278,75 MHz’deki anten kazanç grafiği Şekil 5.62’de gösterilmektedir.

Tablo 5.14: Dizi Anten Sonuçları.

Bant	f_r (MHz)	S_{11} (dB)	VSWR	Eksenel Oran (dB)
GPS	1575,42	-14,628923	1,455811	0,57397006
	1227,6	-15,811468	1,3865416	40
	1176,45	-13,77116	1,5153017	37,641347
GLONASS	1608,75	-11,767361	1,6954463	2,120041
	1251,25	-16,823354	1,3368755	23,379212
GALILEO	1575,42	-14,628923	1,455811	0,57397006
	1278,75	-20,203091	1,2165308	17,029837
	1191,795	-13,832494	1,5107065	39,999232

Tablo 5.14 incelendiğinde Mikroşerit Yama Anten Dizisi isterlerinin büyük ölçüde sağlanabildiği görülmektedir.

6. SONUÇ

Ülkelerin savaş alanındaki EM spektrumu kontrol etme arzusu, özellikle seyrüsefer bandında çalışan sistemleri derinden etkilemektedir. Bundan dolayı tekli KSUS antenleri yerine dizi şeklinde tasarlanan anten yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tezde bunu ortaya koyabilmek için öncelikle KSUS'un çalışma prensibi anlatılmış ve karşılaştırmalı olarak GPS, GLONASS ve Galileo KSUS'larına yönelik bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise Temel Anten Parametrelerinin özellikleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, Mikroşerit Yama Anteni ile ilgili teorik bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, analiz için kullanılan CST Studio Suite programı temel hatları ile tanıtılmış, KSUS'ların farklı rezonans frekanslarına yönelik hesaplamaları kolaylaştırabilecek bir arayüze sahip MATLAB uygulaması ortaya konmuştur. Bu uygulama sayesinde farklı değişkenlerdeki değişimlerin sonuçları anlık olarak hesaplamalarda gözlemlenebilmiştir. MATLAB uygulamasının diğer bilim insanları tarafından da geliştirilmesi için kodları açık bir şekilde ortaya konmuştur. Elde edilen bu teorik değerler ile anten tasarımında belirleyici olan S_{11} , VSWR ve eksenel oran değerlerinin her zaman istenilen düzeyde olmadığı görülmüştür. Özellikle eksenel oranda dairesel polarizasyonu sağlayabilmek veya daha da yaklaşabilmek için mikroşerit yama antenin alt ve üst çapraz kısımlarından 45°'lik açıyla birbirinin aynısı olan iki üçgen antenden çıkarılmıştır. Böylelikle eksenel oranda iyileştirme açık bir şekilde görülmüştür. Son olarak ise CST Studio Suite yazılımında dört elemanlı bir anten dizisinin analizi ve tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımda S_{11} ve VSWR'nin istenilen düzeyde olduğu, eksenel oranın ise daha da geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı yama antene yarıklar açma, ilave besleme yöntemleri gibi farklı çalışmalarla eksenel oranın mümkün olduğunca 3 dB altına getirilebileceği değerlendirilmektedir.

Analizi ve tasarımı yapılan tüm antenler değerlendirildiğinde;

Genel kullanımda olan FR-4 malzemesi kullanımının istenilen sonuçları kısıtlayabileceği, bundan dolayı farklı dielektrik özellikteki malzemenin projelere uygun olarak üretilmesi gerektiği,

Simülasyon yazılımlarının gerçek hayattaki performansı tam anlamıyla gösteremeyeceği, gerçek hayatta ürünün üretilerek nihai sonuçların alınabileceği hususları tezden faydalanacak diğer bilim insanları için tavsiye niteliğinde olacaktır.

Görünmez savaşların en büyük elemanı olan EH unsurlarının etkileri gün geçtikçe daha da hissedilmektedir. Bunu görünür hale getirmek ise ancak bilim insanlarının sayesinde olacaktır.



KAYNAKÇA

- About GLONASS. (2021). Alındığı yer: https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/
- Adamy, D. (2001). *EW 101: A First Course in Electronic Warfare*. Artech House.
- Bakar, R. A. (2006). *High Precision Global Positioning System Data Processing-Velocity Vector Determination For Geodynamic Application*. (Yüksek Lisans Tezi). Faculty of Engineering and Science Geoinformation Universiti Teknologi Malaysia
- Balanis, C. A. (2013). *Anten Teorisi: Analiz ve Tasarım* (E. Aydın, M. F. Çağlar, ve A. Kara, Çev.; 3.). Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim ve Danışmanlık.
- Bisht, S., Saini, Shweta, Prakash, Ved, ve Nautiyal, B. (2014). Study The Various Feeding Techniques of Microstrip Antenna Using Design and Simulation Using CST Microwave Studio. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Volume 4(Issue 9), 318-324.
- Control Segment. (2021). Alındığı yer: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- CST Studio Suite Electromagnetic Field Simulation Software Brochure. (2019). Alındığı yer: <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/SIMULIA/PRODUCTS/CST/SIMULIA-CST-Studio-Suite-Brochure.pdf>
- Galileo Applications. (2021). Alındığı yer: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/applications>
- Galileo General Introduction. (2021). Alındığı yer: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction
- Galileo remote sites. (2015). Alındığı yer: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2015/01/Galileo_remote_sites
- Galileo Services. (2021). Alındığı yer: <https://www.euspa.europa.eu/galileo/services>
- Galileo Signal Plan. (2022). Alındığı yer: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Signal_Plan
- Galileo Space Segment. (2021). Alındığı yer: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Space_Segment
- GLONASS General Introduction. (2018). Alındığı yer: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_General_Introduction
- GLONASS Ground Segment. (2014). Alındığı yer: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Ground_Segment

- GLONASS Space Segment. (2018). Alındığı yer: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Space_Segment
- GPS Applications. (2014). Alındığı yer: <https://www.gps.gov/applications/>
- GPS Essentials of Satellite Navigation Compendium. (2009). Alındığı yer: https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/GPSCompendium_Book_%28GPS-X-02007%29.pdf
- GPS Overview. (2021). Alındığı yer: <https://www.gps.gov/systems/gps/>
- IEEE Std 145-1993 (Revision of IEEE Std 145-1983) IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. (1993). Alındığı yer: <https://ieeexplore.ieee.org/document/286098>
- Im, S. B., Hurlebaus, S., ve Kang, Y. J. (2013). Summary Review of GPS Technology for Structural Health Monitoring. *Journal of Structural Engineering*, 139(10), 1653-1664.
- Market understands value of dual frequency. (2020). Alındığı yer: <https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/market-understands-value-dual-frequency>
- Microstrip Patch Antenna Calculator. (2011). Alındığı yer: <https://www.emtalk.com/mpacalc.php>
- Moernaut, G. J. K., ve Orban, D. (2009). *GNSS Antennas: An Introduction to Bandwidth, Gain Pattern, Polarization, and All That*.
- Nave, R. (2005). Classification of Polarization. Alındığı yer: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polclas.html>
- Raithatha, U., ve Kashyap, S. S. (2015). Microstrip Patch Antenna Parameters, Feeding Techniques and Shape of the Patch—A Survey. Alındığı yer: <https://www.ijser.org/paper/Microstrip-Patch-Antenna-Parameters-Feeding-Techniques-and-Shape-of-the-Patch-A-Survey.html>
- Revnivkykh, S. (2008). GLONASS Status and Progress. Alındığı yer: <https://www.gps.gov/cgsic/meetings/2008/revnivkykh.pdf>
- Schmandt, M. (2020). Ch. 2: Input. Alındığı yer: <https://giscommons.org/chapter-2-input/>
- Space Segment. (2021). Alındığı yer: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>
- System. (2021). Alındığı yer: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/system>
- Xu, G., ve Xu, Y. (2016). *GPS Theory, Algorithms and Applications (Third Edition)*. Springer Berlin Heidelberg.