

**T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

AKILLI CİHAZLAR İÇİN ANTEN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Eyüp KIRIK**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS**

İstanbul – 2017

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği A.B.D. Yüksek Lisans öğrencisi Eyüp KIRIK tarafından hazırlanan " Akıllı Cihazlar İçin Anten Tasarımı " konulu çalışması jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi : 03.03.2017

(Jüri Üyesinin Ünvanı, Adı, Soyadı ve Kurumu):

İmzası

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Aktül KAVAS
Yıldız Teknik Üniv. (Danışman)



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Soner ÖZGÜNEL
Haliç Üniv.



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Figen ÖZEN
Haliç Üniv.



Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunun kararıyla kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Oya Oğuz
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

ÖNSÖZ

Bu çalışma 2012 – 2017 yılları arasında T.C. Haliç Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nün bilimsel araştırma ve uygulama çalışmalarına verdiği destek ile hazırlanmıştır.

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca benden bilgisini ve desteğini esirgemeyen çok değerli, saygıdeğer hocam, Sayın Yrd.Doç.Dr. Aktül KAVAS'a çok teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca bana destek olan ve verdiğim her kararın arkasında durarak beni bu günlere getiren sevgili anne ve babama, bu günlere gelmemize vesile olan ve varlığını hiç esirgemeyen rahmetli babaannem Fatma KIRIK'a, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Elif Can ÖZER'e çok teşekkür ederim.

İstanbul, 2017

Eyüp KIRIK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

KISALTMALAR	III
ŞEKİLLER.....	IV
TABLolar	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Mobil Haberleşmenin Tarihçesi	1
2. MOBİL HABERLEŞME CİHAZLARINDA KULLANILAN ANTENLER.....	3
2.1. Mobil Telefonlarda İlk Antenler Ve Gelişimi	3
2.2. Günümüzde Cep Telefonu Antenleri	4
3. MİKROŞERİT ANTENLER.....	6
3.1. Genel Olarak Mikroşerit Antenler.....	6
3.2. Mikroşerit Antenler	9
3.2.1. Mikroşerit Yama Antenler	9
3.2.2. Mikroşerit Yürüten Dalgalı Antenler	10
3.2.3. Mikroşerit Yarık Antenler.....	11
3.3. Besleme Yöntemleri	12
3.3.1. Mikroşerit Hat İle Besleme	12
3.3.2. Koaksiyel Prob Besleme	14
3.3.3. Açıklık Bağlaşımli Besleme.....	14
3.3.4. Yakınlık Bağlaşımli Besleme.....	15
4. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI	16
4.1. Mikroşerit Anten Tasarımı	16
4.2. CST Studio Suite Programı İle Antenin Modellenmesi Ve Simülasyonu... 20	
5. CST STUDIO SUITE İLE ANTEN TASARIMI	25
5.1. Anten Parametrelerinin Yazımı.....	25
5.2. FR4 Dielektrik Malzemesinin Oluşturulması.....	25
5.3. Ground Düzleminin Oluşturulması	27
5.4. Mikroşerit Line Ve Microstrip Pacth Düzleminin Oluşturulması	28
5.5. Mikroşerit Antenin Waveguide Port İle Beslenmesi.....	30
6. ANTEN ANALİZ VE SONUÇLARI.....	33

6.1.	REZONANS FREKANSI & BANT GENİŞLİĞİ İYİLEŞTİRİLMESİ.....	35
6.1.1.	Slot Tasarım Teorisi.....	35
6.1.2.	Ground' a Slot Atılması	56
6.1.2.1.	Frekansların -10 dB Seviyesine Çekilmesi.....	83
6.1.2.2.	Ground Düzlemine Uygulanmış Olan Slotların Sağa ve Sola Kaydırılarak Analiz Yapılması	83
6.1.2.3.	Ground Düzlemine Uygulanmış Olan Slotun Boyunun Attırılması Azaltılması	89
6.1.2.4.	Dielektrik Malzemenin Değerinin Azaltılması ve Arttırılması ...	94
7.	SONUÇLAR.....	105
8.	KAYNAKLAR	116
9.	EKLER.....	119
	ÖZGEÇMİŞ	122

KISALTMALAR

RFID	: Radio frequency identification
GSM	: Global System for Mobile Communications
CDMA	: Code Division Multiple Access
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
WIMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
LTE	: Long-Term Evolution
GPS	: Global Positioning System
MHZ	: Megahertz
GHZ	: Gigahertz
CST	: Computer Simulation Technology

ŞEKİLLER

Sayfa No.

Şekil 2.1 İlk Cep Telefonu Motorola DynaTAC 8000X(1983).	3
Şekil 2.2 Motorola StarTac (1996).....	4
Şekil 2.3 Samsung Galaxy S (2010) Model Cep Telefonu Ve Anten Yapısı.	5
Şekil 3.1 Temel mikroşerit yapı.	8
Şekil 3.2 Mikroşerit anten yapısı (David K. Cheng., 2009).....	9
Şekil 3.3 Mikroşerit yama anten tipleri (Amin, 2011).	10
Şekil 3.4 Mikroşerit yürüyen dalga anten tipleri (Amin, 2011).....	10
Şekil 3.5 Bir mikroşerit antende ışımaya (K. Cihan, 2013).....	11
Şekil 3.6 Genel mikroşerit antenin ışımaya karakteristiği (Avşar A., 2008).....	12
Şekil 3.7 Mikroşerit hat beslemeli antenler (Nesem K., 2012).....	13
Şekil 3.8 Prob besleme (SEVGI, 2005).	14
Şekil 3.9 Açık bağlaşımlı besleme (Balanis C.A., 2005).....	14
Şekil 3.10 Yakınlık bağlaşımlı besleme (Balanis C.A., 2005).....	15
Şekil 3.11 Besleme tiplerinin eşdeğer devre tipleri (Balanis C.A., 2005).	15
Şekil 4.1 Bir dikdörtgen mikroşerit antenin üstten görünüşü.	16
Şekil 4.2 Antenin son hali ve parametre değerleri.	19
Şekil 4.3 CST Studio Suite açılış ekranı.	20
Şekil 4.4 Anten modelleme ekranı.	20
Şekil 4.5 Anten seçim ekranı.	21
Şekil 4.6 Zaman domeyni analiz ekranı.	21
Şekil 4.7 Anten parametre ekranı.	22
Şekil 4.8 Frekans aralığı ve monitör analiz ekranı.	23
Şekil 4.9 Yapılan işlemleri kontrol ekranı.	24
Şekil 4.10 Anten tasarım ekranı.	24
Şekil 5.1 Anten parametre listesi.	25
Şekil 5.2 FR4 malzeme parametreleri giriş ekranı.	26
Şekil 5.3 Materyal seçim ekranı.	26
Şekil 5.4 FR4 materyalinin görünümü.	27
Şekil 5.5 Toprak düzlemin görünümü.	27
Şekil 5.6 Mikroşerit beslemenin görünümü.	28
Şekil 5.7 Mikroşerit antenin üstten görünümü.	28
Şekil 5.8 Tek parça haline getirilmiş antenin üstten görünümü.	29
Şekil 5.9 Tek parça haline getirilmiş antenin alttan görünümü.	29
Şekil 5.10 Anten beslemesinin 50 ohm empedans uyumu hesaplama ekranı.	30
Şekil 5.11 Antenimizin pick face yapılmış hali.	31
Şekil 5.12 Mikroşerit anten port ayarlaması.	31
Şekil 5.13 Waveguide port beslemeli mikroşerit anten.	32
Şekil 6.1 Antenin ilk tasarımı.	33
Şekil 6.2 S11 Frekansa bağlı değişim grafiği.	33
Şekil 6.3 Akım yoğunluğu.	34
Şekil 6.4 Yarık atılmış antenler (Wong, 2004).	35
Şekil 6.5 Yedinci analiz antenin üstten görünümü.	37

Şekil 6.6 Yedinci analiz S11 frekansa bağlı değişim grafiği.	37
Şekil 6.7 Sekizinci analiz antenin üstten görünümü.	38
Şekil 6.8 Sekizinci analiz S11 frekansa bağlı değişim grafiği.	38
Şekil 6.9 Dokuzuncu analiz eşit slot atılmış antenin üstten görünümü.....	39
Şekil 6.10 Dokuzuncu analiz eşit slot atılmış antenin S11 frekansa bağlı değişim grafiği.	39
Şekil 6.11 Optimizasyon yapılmış dört bantlı antenin S11 frekanslara bağlı değişim grafiği.	40
Şekil 6.12 2.1 GHz için polar kazanç grafiği.	41
Şekil 6.13 2.1 GHz için akım yoğunluğu.	42
Şekil 6.14 2.4 GHz için polar kazanç grafiği.	42
Şekil 6.15 2.4 GHz için ışımaya yoğunluğu.	43
Şekil 6.16 3.5 GHz için polar kazanç grafiği.	43
Şekil 6.17 3.5 GHz için ışımaya yoğunluğu.	44
Şekil 6.18 Beslemesi sağa kaydırılan antenin üstten görünümü.	44
Şekil 6.19 Beslemesi sağa kaydırılan antenin S11 grafiği.	45
Şekil 6.20 Beslemesi sola kaydırılan antenin üstten görünümü.	45
Şekil 6.21 Beslemesi sola kaydırılan antenin S11 frekanslara bağlı değişim grafiği.	46
Şekil 6.22 Sol üst köşeye slot atılmış antenin üstten görünümü.	46
Şekil 6.23 Sol üst köşeye slot atılmış antenin S11 grafiği.	47
Şekil 6.24 Optimizasyon ve yarıkları tamamlanan antenin son halinin üstten görünümü.	49
Şekil 6.25 Optimizasyon ve slotları tamamlanan antenin S11 frekanslara bağlı değişim grafiği.	49
Şekil 6.26 2.4 GHz için polar kazanç grafiği.	50
Şekil 6.27 2.4 GHz için ışımaya yoğunluğu.	50
Şekil 6.28 2.4 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.	51
Şekil 6.29 2.6 GHz polar kazanç grafiği.	51
Şekil 6.30 2.6 GHz için ışımaya yoğunluğu.	52
Şekil 6.31 2.6 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.	52
Şekil 6.32 3.5 GHz için polar kazanç grafiği.	53
Şekil 6.33 3.5 GHz için ışımaya yoğunluğu.	53
Şekil 6.34 3.5 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.	54
Şekil 6.35 5.0 GHz için polar kazanç grafiği.	54
Şekil 6.36 5.0 GHz için ışımaya yoğunluğu.	55
Şekil 6.37 5.0 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.	55
Şekil 6.38 Antenin son halinin üstten görünümü.	56
Şekil 6.39 Antenin son halinin alttan görünümü.	56
Şekil 6.40 S11 frekansa bağlı değişimi.	57
Şekil 6.41 Genişlikleri eşitlenen antenin üstten görünümü (a).	58
Şekil 6.42 Genişlikleri eşitlenen antenin alttan görünümü (b).	59
Şekil 6.43 Genişlikleri eşitlenen antenin S11 frekanslarına bağlı değişim grafiği. ...	59
Şekil 6.44 Anten boyunun ve genişliğinin eşitlenmiş halinin üstten görünümü.	60
Şekil 6.45 Anten boyunun ve genişliğinin eşitlenmiş halinin alttan görünümü.	61
Şekil 6.46 S11 Frekansa bağlı değişim grafiği.	61
Şekil 6.47 Optimizasyon yapılmış antenin üstten görünümü (a).	62
Şekil 6.48 Slot atılmış antenin alttan görünümü (b).	63

Şekil 6.49 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).	63
Şekil 6.50 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2mm).	64
Şekil 6.51 Mikroşerit hattı sola kaydırılmış antenin üstten görünümü (h=1.5).	66
Şekil 6.52 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5).	66
Şekil 6.53 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2).	67
Şekil 6.54 Mikroşerit hattı sağa kaydırılmış antenin üstten görünümü (h=2).	67
Şekil 6.55 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5).	68
Şekil 6.56 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5).	68
Şekil 6.57 1.8 GHz için polar kazanç grafiği.	69
Şekil 6.58 1.8 GHz için ışıma yoğunluğu	70
Şekil 6.59 1.8 GHz için akım yoğunluğu.	70
Şekil 6.60 1.9 GHz için polar kazanç grafiği.	71
Şekil 6.61 1.9 GHz için ışıma yoğunluğu.	71
Şekil 6.62 1.9 GHz için akım yoğunluğu.	72
Şekil 6.63 2.0 GHz için polar kazanç grafiği.	72
Şekil 6.64 2.0 GHz için ışıma yoğunluğu.	73
Şekil 6.65 2.0 GHz için akım yoğunluğu.	73
Şekil 6.66 2.1 GHz için polar kazanç grafiği.	74
Şekil 6.67 2.1 GHz için ışıma yoğunluğu.	74
Şekil 6.68 2.1 GHz için akım yoğunluğu.	75
Şekil 6.69 2.4 GHz için polar kazanç grafiği.	75
Şekil 6.70 2.4 GHz için ışıma yoğunluğu.	76
Şekil 6.71 2.4 GHz için akım yoğunluğu.	76
Şekil 6.72 2.6 GHz için polar kazanç grafiği.	77
Şekil 6.73 2.6 GHz için ışıma yoğunluğu.	77
Şekil 6.74 2.6 GHz için akım yoğunluğu.	78
Şekil 6.75 3.5 GHz için polar kazanç grafiği.	78
Şekil 6.76 3.5 GHz için ışıma yoğunluğu.	79
Şekil 6.77 3.5 GHz için akım yoğunluğu.	79
Şekil 6.78 3.969 GHz için polar kazanç grafiği.	80
Şekil 6.79 3.969 GHz için ışıma yoğunluğu.	80
Şekil 6.80 3.969 GHz için akım yoğunluk grafiği.	81
Şekil 6.81 4.158 GHz için polar kazaç grafiği.	81
Şekil 6.82 4.158 GHz için ışıma yoğunluğu.	82
Şekil 6.83 4.158 GHz için akım yoğunluğu.	82
Şekil 6.84 Referans antenin üstten ve alttan görünümü.	83
Şekil 6.85 Toprak düzlem üzerindeki yarığın sağa kaydırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.	84
Şekil 6.86 Toprak düzlemin yarıklarının sağa kaydırılmış S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).	84
Şekil 6.87 Ground slotunun sağa kaydırılmış S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).	85
Şekil 6.88 Toprak Düzlem üzerindeki yarığın sola kaydırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.	86
Şekil 6.89 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).	87
Şekil 6.90 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).	88
Şekil 6.91 Antenin alttan ve üstten görünümü.	89

Şekil 6.92 Ground slot genişliği 2 mm olan antenin üstten ve alttan görünümü.	89
Şekil 6.93 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).	90
Şekil 6.94 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).	91
Şekil 6.95 Ground slot genişliği 6 mm olan antenin üstten ve alttan görünümü.	92
Şekil 6.96 S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).	92
Şekil 6.97 S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).	93
Şekil 6.98 Referans antenin alttan ve üstten görünümü.	94
Şekil 6.99 Boyu büyütülmüş olan antenin alttan ve üstten görünümü.	95
Şekil 6.100 S11 frekansa bağlı değişim grafiği.	96
Şekil 6.101 Slot boyu arttırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.	96
Şekil 6.102 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği.	97
Şekil 6.103 Slotlarının boyları arttırılmış antenin alttan ve üstten görünümü.	97
Şekil 6.104 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).	98
Şekil 6.105 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).	99
Şekil 6.106 Boyu kısaltılmış olan antenin alttan ve üstten görünümü.	100
Şekil 6.107 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği.	100
Şekil 6.108 Slot boyu arttırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.	101
Şekil 6.109 S11 Frekanslara bağlı değişim grafikleri (h=2).	101
Şekil 6.110 Yarı boyları arttırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.	102
Şekil 6.111 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).	103
Şekil 6.112 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).	104

TABLolar

Sayfa No.

Tablo 6.1 Mikroşerit yama üzerine atılmış olan yarıkların analiz sonuçları.....	36
Tablo 6.2 Dielektrik yüksekliği 1.5 mm olan anten.....	40
Tablo 6.3 Dielektrik yüksekliği 2 mm olan anten.....	41
Tablo 6.4 Dört bantlı dielektrik yüksekliği 1.5 mm olan anten.	48
Tablo 6.5 Dört bantlı dielektrik yüksekliği 2 mm olan anten.	48
Tablo 6.6 Referans alınan antenin analiz tablosu.....	57
Tablo 6.7 Dielektrik yüksekliği h= 1.5 mm anten.	64
Tablo 6.8 Dielektrik yüksekliği h=2 mm anten.	65
Tablo 6.9 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	85
Tablo 6.10 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	86
Tablo 6.11 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	87
Tablo 6.12 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	88
Tablo 6.13 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	90
Tablo 6.14 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	91
Tablo 6.15 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	93
Tablo 6.16 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.....	94
Tablo 6.17 Dielektrik malzemeye göre hesaplamalar.....	95
Tablo 6.18 Dielektrik ($\epsilon_r = 3.6$) malzemeye göre boyu artmış anten.	98
Tablo 6.19 Dielektrik ($\epsilon_r = 3.6$) malzemeye göre boyu artmış anten..	99
Tablo 6.20 Dielektrik ($\epsilon_r = 5$) malzemeye göre boyu azalmış anten.	102
Tablo 6.21 Dielektrik ($\epsilon_r = 5$) malzemeye göre boyu azalmış anten.	103
Tablo 6.22 Dielektrik ($\epsilon_r = 5$) malzemeye göre boyu azalmış anten.	104
Tablo 7.1 Analiz sonuçları.	105
Tablo 7.2 Analiz sonuçları.	106
Tablo 7.3 Analiz sonuçları.	107
Tablo 7.4 Analiz sonuçları.	108
Tablo 7.5 Analiz sonuçları.	109
Tablo 7.6 Analiz sonuçları.	110
Tablo 7.7 Analiz sonuçları.	111
Tablo 7.8 En iyi performanslı anten ($\epsilon_r = 3.6$).	115
Tablo 7.9 En iyi performanslı anten ($\epsilon_r = 5$).	115

GENEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Eyüp KIRIK
Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Programı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Aktül Kavas
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans 2017

ÖZET

Akıllı cihazların kullanımı gün geçtikçe artmakta ve bu cihazlar günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası olmaktadır. 2G ile başlayan haberleşme sistemi 3G, 4G ülkemizde 4.5G ve ileriki zamanlarda da 5G ile sağlanacaktır. Bu gereksinimleri karşılamak için bu frekansları kapsayacak antenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaç doğrultusunda farklı teknoloji uygulamalarında kullanılabilecek 1.8, 1.9, 2.1, 2.4, 2.6 ve 3.5 GHz rezonans frekanslarını kapsayacak şekilde bir mikroşerit yama anten tasarlanmış ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Anten modellemesinin ve simülasyonunun gerçekleşmesinde CST (Computer Simulation Technology) v.2014 programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit, GSM, Bant genişliği, Anten Simülasyonu

GENERAL INFORMATION

Name and Surname : Eyup KIRIK
Field : Electronics and Communications Engineering
Program : Electronics and Communications Engineering
Supervisor : Yrd. Doç. Dr. Aktül Kavas
Degree Awarded and Date : Masters – 2017

ABSTRACT

The use of smart devices increases day by day and becomes an integral part of our daily lives. Communications system started by 2G technology has evolved into 3G, 4G, now we use 4,5G in our country and in the near future will be provided by 5G communications technology. Mentioned systems need appropriate antennas which can meet required frequencies. Therefore, microstrip patch antenna has been designed and simulated with 1.8, 1.9, 2.1, 2.4, 2.6, and 3.5 resonance frequencies for being used in various technological applications. The realization of antenna modeling and simulation CST (Computer Simulation Technology) program is used v.2014 .

Keywords: Microstrip, GSM, WCDMA, LTE, WiMAX, Bantwidth, Antenna Simulation.

1. GİRİŞ

1.1. Mobil Haberleşmenin Tarihçesi

1864 yılında James Clerk Maxwell'in elektromanyetik dalgaların varlığını teorik olarak kanıtlamasından sonra 1886 yılında Heinrich Rudolf Hertz, elektromanyetik dalgaların varlığını pratik olarak ispatladı. Verici olarak değişken bir voltaj kaynağına bağlı bir dipol anten kullandı. Voltaj belli bir seviyeye yükseldiği zaman verici antenin uçları arasında bir kıvılcım meydana geldi. Vericide oluşan kıvılcım ile eş zamanlı olarak, alıcı olarak kullanıldığında loop antenin uçları arasında da kıvılcım oluştuğunu gözlemledi. Böylece vericide oluşan enerji kablosuz olarak alıcıya ulaştırılmış oldu.

Hertz, deneyi sayesinde elektromanyetik dalgalar aracılığı ile kablosuz enerji aktarımını gerçeklemesine rağmen, vericiden alıcıya gönderdiği bilginin pratik bir anlamı yoktu. Marconi 1897 yılında kısa mesafeli de olsa pratik anlam içeren bilgiyi vericiden alıcıya kablosuz olarak göndermeyi başardı. Kıtalar arası kablosuz bilgi aktarımının deneyini ise 1901 yılında gerçekleştirdi. İngiltere'nin Cornwall şehrinden yaklaşık 3500 km uzaklıkta olan Kanada'nın Newfoundland eyaletine Mors Kodu'nda S harfini göndermeyi başardı. Verici anten olarak, toprağa bağlı dikey birkaç uzun tel kullandı. Alıcı anten ise yaklaşık 200 m uzunluğunda bir teli hava ile yer arasında gerdi. Hertz ve Marconi'nin gerçekleştirdikleri, kablosuz haberleşme için milat sayılan bu deneylerinden dolayı, şimdiki adıyla dipol olarak bilinen anten aynı zamanda Hertz dipolü, yine şimdiki adıyla monopol anten olarak isimlendirilen anten ise Marconi anteni olarak literatüre girmiş oldu.

Kablosuz haberleşmenin en önemli noktası olan, vericiden gelen elektriksel sinyali elektromanyetik dalgaya çevirip iletim ortamı boyunca dalgayı istenen şekilde yayan ve alıcıda, gelen elektromanyetik dalgayı yine elektrik sinyallerine çevirme işlemi yapan bileşenler olan antenler üzerindeki araştırma ve geliştirme çalışmaları da Marconi'nin çalışmalarından sonra başlamış oldu. 1900'lü yılların başından ikinci Dünya Savaşı'na kadar geçen süre içerisinde radyo ve televizyon yayınları sayesinde,

insanlar anten kavramıyla tanışmış oldu. İkinci Dünya savaşında savaşa katılan ülkeler tarafından gizli olarak gerçekleştirilen araştırma ve geliştirme çalışmaları bugünkü adıyla radar olarak kullanılan ve cisimlerin vericiye göre konumunu ve hızını belirleyen sistemin ortaya çıkmasını sağladı. İkinci Dünya savaşı ile 21. yy. arasında geçen sürede antenler üzerinde birçok teorik ve pratik çalışmalar gerçekleştirildi. 20.yy'ın sonlarından günümüze kadar gelen sürede ise haberleşme sistemlerinde gerçekleşen büyük gelişmeler antenler üzerinde yapılan araştırmaların hız kesmeden devam etmesine neden oldu. Cep telefonlarının icat edilmesi ve ulaşılabilir fiyatlara düşmesi, RFID sistemlerin ve giyilebilir antenlerin pratik olarak kullanılmaya başlamasıyla artık sıradan bir insan bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde üzerinde birden çok anten taşıyor.

Piyasaya sürülen ilk cep telefonu Dynatac, 1983 yılında Motorola tarafından üretildi ve 3.995 dolardan satışa çıkarıldı. Yaklaşık 1 kilo gram ağırlığındaki ilk cep telefonu ile 20 dakikalık görüşme yapılıbiliyordu ve 17 cm anten boyu vardı. Boyutları, ağırlığı, kısa süreli batarya ömrü ile çok fazla kullanışlı olmayan ilk cep telefonu yüksek satış fiyatına rağmen kısa sürede binlerce sipariş almış ve hızla gelişecek olan cep telefonu piyasası ortaya çıkmıştır.

Cep telefonlarına olan bu yüksek talep büyük şirketlerin iştahlarını kabartmış ve Nokia, IBM gibi büyük şirketler de çalışmalarını bu alana yönelterek kısa sürede kendi cep telefonlarını üretip yeni oluşan pazarda pay sahibi olmak istemişlerdir ve cep telefonu üreticileri arasında oluşan rekabet mobil telefonların gelişimini hızlandırmıştır.

İlk üretilen cep telefonunun en büyük sorunu batarya ömrü olmuştur. Dynatac'in ağırlığının büyük bir kısmı bataryadan oluşmasına rağmen kullanıcıya sadece 20dk'lık bir görüşme süresi verebiliyordu. Mobil telefonun harcadığı gücü azaltmak kullanışlı olmasını sağlamak için mecbur hale gelmiştir ve bunu sağlamak için alıcı ile verici arasındaki mesafe azaltılması gerekiyordu. Uydu haberleşmesi insan yoğunluğunun az olduğu alanlarda kapsama açısından hücresele göre daha verimli olmasına rağmen mobil telefonun sinyalleşme mesafesinin hücresele nazaran çok daha uzak olması harcanan gücü arttırıp mobil telefonun görüşme süresini kısaltır. Bunun dışında günümüz dünyasında neredeyse her insanın bir cep telefonuna sahip olması haberleşmeyi sağlayacak sistemin kapasitesinin yüksek olmasını gerektirmiştir. Ayrıca hücresele haberleşme uydu haberleşmesine göre bina içi kapsama açısından daha verimlidir. Daha yüksek kapasite, daha iyi kapsama ve daha az güç

harcadığı için hücresele ağ haberleşmesi sistemi kuruldu ve dünya ülkeleri birbirleri ile uyumlu iletişim sistemi oluşturmak için GSM protokolü 1990'lı yılların başında birçok dünya ülkesine yayıldı ve GSM sistemini kullanmaya başladı. Hücresele ağ haberleşmesinde insan yoğunluğu ve çevresel koşullar gibi haberleşmede etkisi olan etkenlere göre hücreler belirlendi ve her hücreye baz istasyonları atandı. Günümüzde baz istasyonları sayesinde mobil telefon kullanıcıların GSM, CDMA, 3G, 4G şebekelerine erişimi sağlanmıştır.

2. MOBİL HABERLEŞME CİHAZLARINDA KULLANILAN ANTENLER

2.1. Mobil Telefonlarda İlk Antenler Ve Gelişimi

Cep telefonu üzerine yapılan çalışmaların 1940'lı yıllara dayandığı iddia edilse de bu çalışmaların ilk somut örneği 1983 yılında ortaya çıkmıştı. Yapımı yaklaşık olarak 15 yıl süren İlk cep telefonunun, büyük telefon boyutlarının yanında çok fazla göze batmayan dipol antenler kullanılmıştır. 1983 yılında Motorola tarafından piyasaya sürülen Dynatac 8000X model mobil telefonda 17.6 cm boyunda bir dipol bir anten kullanılmış ve yapımı yaklaşık olarak 15 yıl sürmüştür. Bu şekildeki bir mobil cihaz hem taşınabilirliği açısından hem de estetik açıdan çok da iyi bir seviyede değildi ve cihaz boyutlarıyla birlikte anten boyutlarının da küçültülmesi kaçınılmaz bir gerekliliktir.



Şekil 2.1 İlk Cep Telefonu Motorola DynaTAC 8000X(1983).

1990'lı yıllarda daha kolay bir şekilde cebe sığabilecek cep telefonları piyasaya sürülmeye başlandı. Boyutları çok fazla büyük olmayan bu telefonlarda da yine dipol antenler kullanılıyordu ve anten telefonun boyunu %20 ye yakın bir şekilde uzatıyordu. Yine uzayıp kısalabilen dipol antenler cep telefonlarında bu dönemde ortaya çıkmaya başladı. 1996 yılında bir cep telefonu denilebilecek cihaz Motorola StarTac modeli piyasaya sürüldü.

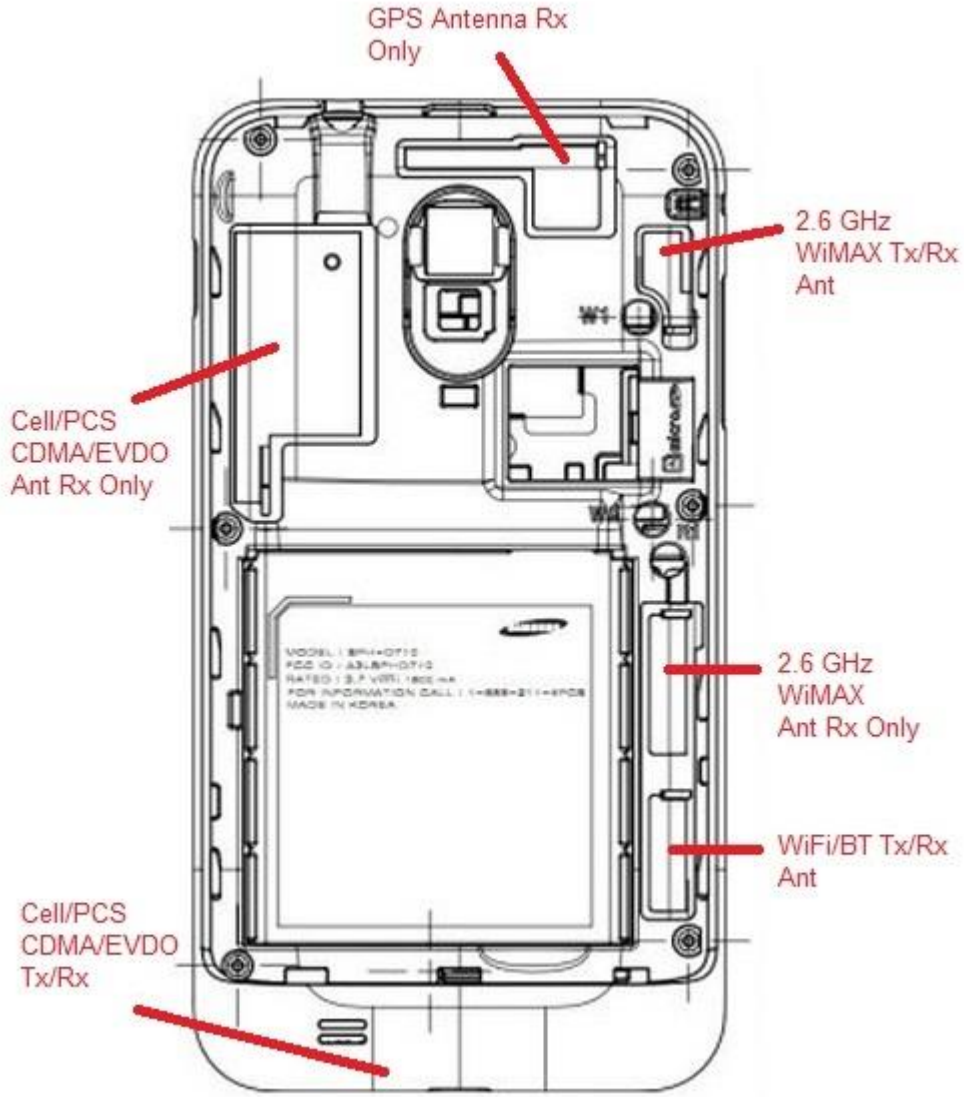


Şekil 2.2 Motorola StarTac (1996).

2000'li yıllarla birlikte artık cep telefonları antenleri tamamen telefonların içine gömülmesi ve antenin telefonun boyutunu büyütmesi engellenebilmeye başlanmıştır (wikipedia).

2.2. Günümüzde Cep Telefonu Antenleri

Günümüzde mobil haberleşmenin geldiği noktada, akıllı telefonların da gelişmesi ile cep telefonları çok çeşitli hizmetleri ve çeşitli haberleşme tiplerini kullanıcılarına sunmaktadır. Bu hizmetlerin her biri ayrı bir frekans üzerinden gerçekleştirildiğinden, mobil cihazların antenleri bu frekansların tamamını kapsamak zorundadır ve bu sorun cep telefonlarına birden fazla, çok küçük boyutlu mikroşerit antenler yerleştirilerek çözülmüştür.



Şekil 2.3 Samsung Galaxy S (2010) Model Cep Telefonu Ve Anten Yapısı.

3. MİKROŞERİT ANTENLER

3.1. Genel Olarak Mikroşerit Antenler

Mikroşerit anten fikri 1953 yılında ortaya çıkmış 1955 yılında patent alınmasına rağmen 1970'lerde ilgi görmeye başlamıştır. Günümüzde gezgin radyo ve kablosuz haberleşme gibi birçok ticari ve devlet için yapılmış olan uygulamalarda mikroşerit antenler kullanılabilir. Günümüzde geliştirilen mikroşerit antenlerin bazı uygulamaları;

- Uydu haberleşmesi,
- Gezgin haberleşme,
- Doppler ve diğer radarlar,
- Biyomedikal ölçümler,
- Güdümlü füzeler, v.b.

Boyut, ağırlık, performans kurulum kolaylığı, düşük maliyet ve elektronik devre üzerinde işlenebilecek kadar küçük boyutlara sahip olması nedeniyle birçok kablosuz haberleşme sistemlerinde tercih edilmektedir. Mikroşerit antenler bir iletken malzeme, bu malzemenin üzerinde dielektrik katman ve bu katmana kimyasal olarak yapıştırılmış bir ışınma yüzeyi bulunmaktadır. Kullanılan malzemenin yapısal özelliklerine bağlı olarak her şekilde özellikle düzlemin üzerinde uygulanması mümkün olup birçok alanda kullanım imkânı sağlamaktadır. Yama toprak düzlemi arasında pinler ve varaktör diyotlar gibi yükler eklenerek değişken rezonans frekansı, empedans, kutuplanma ve örüntüye sahip uyarlanabilir elemanlar tasarlanabilir (Balanis C.A., 2005).

Antenler, osilatör, yükseltme elemanı, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, modülatörler, karıştırıcılar, faz değiştiriciler gibi katı hal devre düzenekleri ile aynı taban malzemesi üzerine üretilebilirler. Üretim maliyetleri oldukça düşüktür. Besleme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışınma yapabilirler. Besleyici hatları ve empedans uygunlaştırma devreleri antenin üretilme süresinde üretilebilirler. Bu da üretimi kolaylaştıran faktörlerden biridir (Sainati, R.A., 1996).

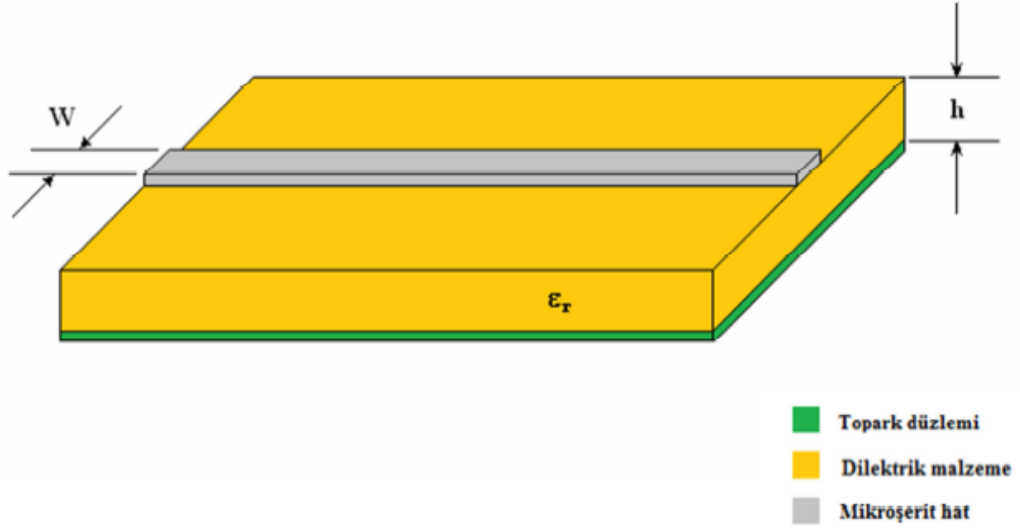
Mikroşerit antenlerin dezavantajları;

- Düşük verimlilik.
- Düşük güç.
- Çeşitli kayıplar sebebiyle, düşük kazançlı olmaları.
- Bant genişliğinin dar olması.
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışırılar.
- -20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde pratik güçlükler olması.
- Düşük uç noktalardan ışıma performansı.

Yaklaşık olarak 100 MHz' den 50 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin bilinen mikrodalga antenlerine göre üstünlüklerini aşağıdaki biçimde sıralayabiliriz;

- Hafifliği, küçük hacimli olması.
- Düşük üretim maliyeti
- Çok ince biçimli yapılabilmesi nedeniyle uzay araçlarının aerodinamik yapısını bozmazlar.
- Düşük saçılma ara kesitine sahiptirler.
- Mikroşerit antenlerin üretiminin kolay olması gibi besleyici hatları ve uyumlandırma devrelerinin de üretimi kolaydır.
- Düzlemsel şekli nedeniyle kullanışlı olması.
- İnce olması sebebiyle aerodinamik yapının büyük önem taşıdığı uzay araçları, uçaklar, güdümlü mermiler, roketler, uydular gibi araçlarda önemli değişikliklere neden olmadan monte edilip, aerodinamik yapının bozulmasına sebep olmaz.

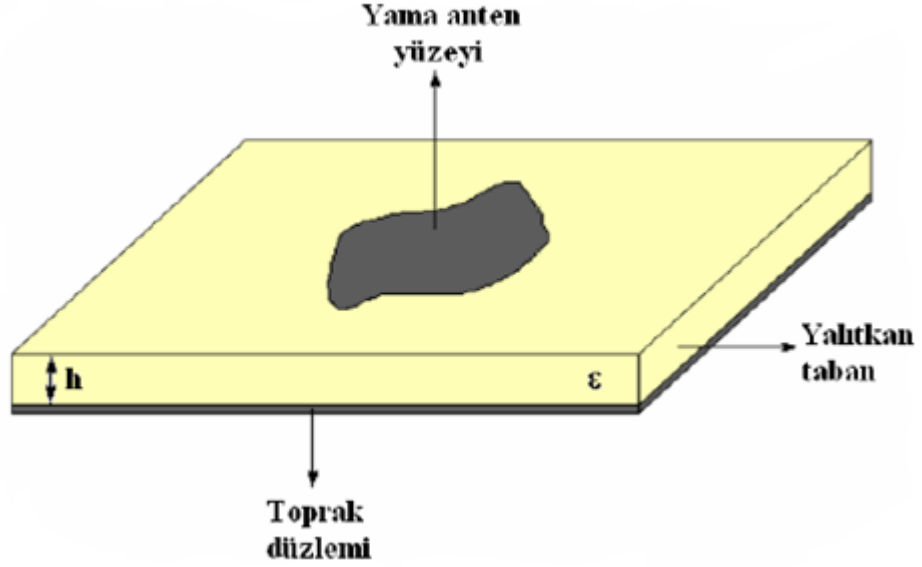
Bununla birlikte, taban malzemesinin yüksekliğinin arttırılması gibi çeşitli yöntemler, verimliliği (% 90) ve bant genişliğini (%35) oranında arttırmakta kullanılabilir. Ayrıca, mikroşerit elemanlar dizisi de bant genişliğini arttırmak için kullanılabilir (G. Derneryd., 1976).



Şekil 3.1 Temel mikroşerit yapı.

İyi bir anten performansı için dielektrik malzeme $2.2 \leq \epsilon_0 \leq 12$ arasında seçilmelidir. Çünkü daha iyi verimlilik, yüksek bant genişliği, daha büyük eleman boyutlarına karşın ışıyan alanları daha az sınırlayan yapılar sağlar (Pozar, D. M., 1992).

Kalın bir dielektrik tabaka daha fazla güç sağlar, ışıma gücünü artırır ve empedans bant genişliğini artırır fakat ağırlık, dielektrik kaybı ve yüzey dalga kayıplarından ötürü kullanışlı olmamaktadır. Düşük dielektrik geçirgenlik ϵ_r ise, kalın tabaka ile aynı etkileri göstermektedir. Mikroşerit antenler mikrodalga elemanları için baskılı devre üzerine yapılan şerit hatlar olarak ortaya çıkmıştır. Mikroşerit, mikrodalga transistörlerin bulunması ve diğer aktif elemanların keşfi ile sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Mikroşeritler sayesinde yükselticiler, antenler, kuplörler, faz kaydırıcılar ve mikserler gibi devreler hibrit formda üretilebilmektedirler. Temel mikroşerit yapı Şekil 3.2’de görülmektedir. Basit bir mikroşerit yapı incelendiğinde tabanda iletken bir malzemedan oluşan toprak düzlemi, toprak düzleminin hemen üstünde dielektrik malzemedan oluşan bir katman ve bu katmanın üzerinde de ince bir mikroşerit hattın bulunduğu görülmektedir. Baskılı-devre tekniklerinin gelişmesiyle birlikte mikroşerit hatlar diğer devre elemanları ile birlikte üretilip entegre edilebilmektedir (David K. Cheng., 2009).



Şekil 3.2 Mikroşerit anten yapısı (David K. Cheng., 2009).

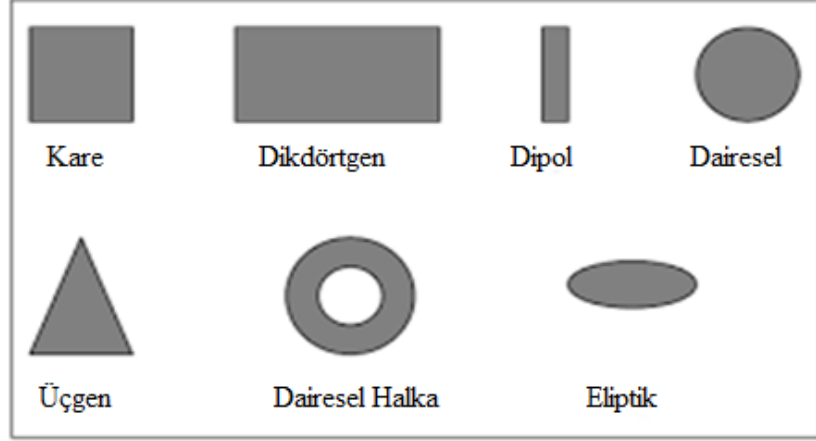
3.2. Mikroşerit Antenler

Mikroşerit antenler genel olarak, mikroşerit yama antenler, mikroşerit yürüyen dalga antenler ve mikroşerit yarık antenler olmak üzere üç grup altında toplanmaktadır (Çakır, G., 2004).

3.2.1. Mikroşerit Yama Antenler

Kare , dikdörtgen , dipol , daire yapılarındakiler, analizlerinin ve üretimlerinin kolay olmasından dolayı oldukça yaygındır. Kaliteli bir ışınım performansı, düşük dielektrik sabiti ile sağlanır. Bu durumda bant genişliği ve verimlilik artacak daha yüksek performansla ışınacaktır. Fakat bu özellikteki bir mikroşerit yama antenin boyutları artabilir. Bundan dolayı kompakt mikroşerit yama anten dizaynında daha yüksek dielektrik sabiti seçimi yapılarak, daha düşük verim daha dar bant genişliği elde edilebilir. Sonuç olarak anten boyutları ile performans arasında optimum nokta yakalanmaya çalışılmalıdır (Nesem, 2012).

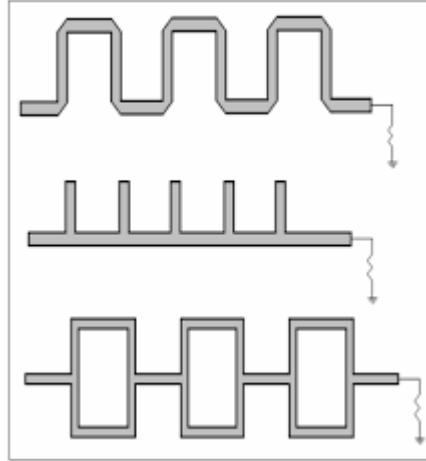
Dipoller yüksek bant genişliğine sahip olmaları ve az yer kaplamaları dolayısıyla tercih edilmektedir. Bundan dolayı da dizilerde dipoller kullanılmaktadır (Katehi ve Alexopoulos, 1984).



Şekil 3.3 Mikroşerit yama anten tipleri (Amin, 2011).

3.2.2. Mikroşerit Yürüyen Dalgalı Antenler

Mikroşerit yürüyen dalga antenlerde ışıma; birbirini tekrar eden iletkenlerden veya hattın açık ucunun bir direnç ile sonlandırılmasından meydana gelir. Şekil 3.4’ de görüldüğü üzere mikroşerit yürüyen dalga antenlerin çeşitli tipleri bulunmaktadır.

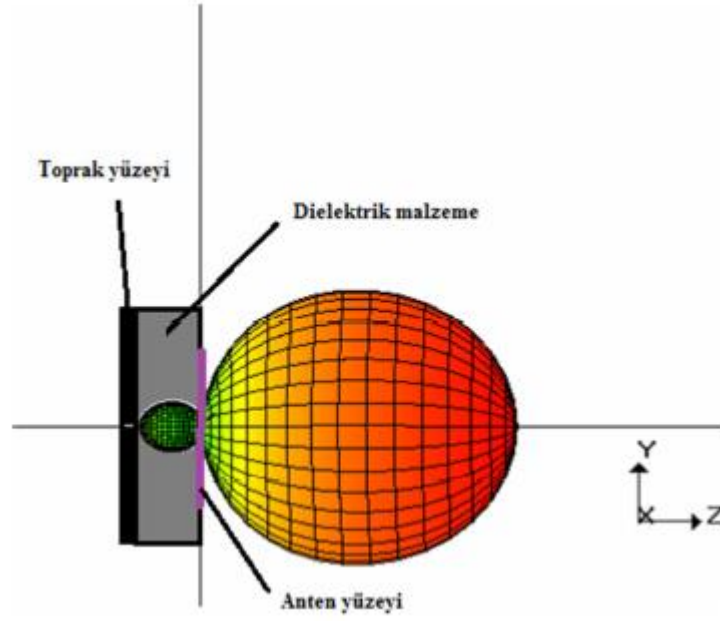


Şekil 3.4 Mikroşerit yürüyen dalga anten tipleri (Amin, 2011).

3.2.3. Mikroşerit Yarık Antenler

Mikroşerit antenlerde ışınım antenin kenarlarında maksimum seviyede gerçekleşir. Dielektrik malzemenin altında bulunan iletken toprak malzeme sebebiyle ışınım üst yarı yüzeyde oluşur, anten yüzeyi ile toprak yüzeyi arasında küçük bir ışınım oluşur ancak bu ışınım göz önünde bulundurulmaz (K. Cihan, 2013).

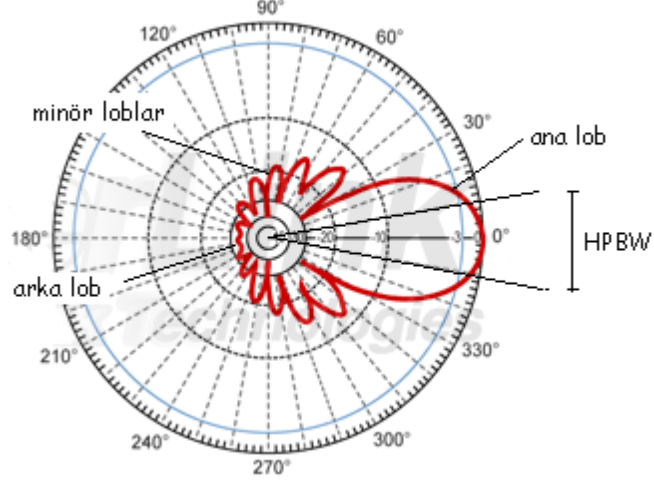
Mikroşerit antenlerde meydana gelen ışınım Şekil 3.5’de açıkça görülmektedir.



Şekil 3.5 Bir mikroşerit antende ışınım (K. Cihan, 2013).

Işınım karakteristiği bir antenin yayması gereken gücün ya da alması gereken gücün bir fonksiyonudur. Karakteristik gücün nasıl yönlendirildiğini ifade eder (Avşar A., 2008).

Şekil 3.6’da yönlendirilebilir bir antenin genel ışınım karakteristiği verilmiştir. Şekilden şu sonuçlar çıkartılabilir; Bir verici anten için ana lob’un diğer loblardan daha büyük ve uzun olması gerekmektedir. Arka ve minör loblar istenmeyen durumlardır. Verici antenler açısından, ana loba aktarılmayıp fakat harcanan enerjiyi temsil etmektedirler. Alıcı antenler açısından ise transmisyon ortamından gelen gürültüyü temsil etmektedirler. Günlük hayatta kullanılması öngörülen anten projelerinin arka ve minör lobları minimize etmesi beklenmektedir.



Şekil 3.6 Genel mikroşerit antenin ışınım karakteristiği (Avşar A., 2008).

3.3. Besleme Yöntemleri

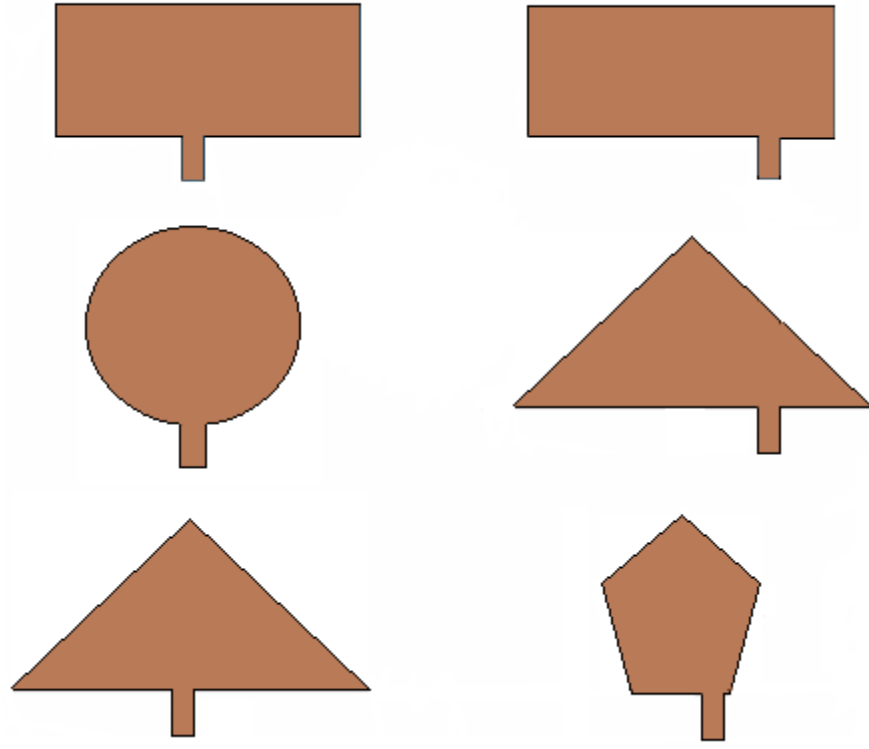
Mikroşerit antenler bir mikroşerit hat ile veya eş eksenli hatlarla beslenebilir. Besleme yapılırken empedans uyumunun sağlanmasına çok dikkat edilmelidir. Bunun sağlanması için antenin giriş empedansının 50 Ω 'luk hat empedansından farklı olduğu durumda, besleme hattı ile anten arasında uyumlandırıcı konması gerekir (Chen, diğ., 2000).

Mikroşerit antenleri beslemek için birçok yapı vardır en popüler olan dört tanesi mikroşerit hat, koaksiyel prob, açıklık bağlaşım ve yakınlık bağlaşımıdır (Garg, 2001).

3.3.1. Mikroşerit Hat İle Besleme

Bu besleme tipinde besleme hattı anten ile aynı yüzeydedir ve baskı devre şeklinde oluşturulur. Anten empedansı ve besleyici hat empedansı arasında uyumlandırma yapmak için araya uyumlandırıcı dönüştürge konulabildiği gibi, antende yalnızca ana mod yayımlanmakta ise besleyici hattı bir köşeye kaydırılarak da iyi bir uyumlama elde edilebilir. Besleyicinin konumunun değişmesiyle rezonans frekansında hafif bir kayma gözlenirse de, ışınım örüntüsü bu değişiklikten etkilenmez. Rezonans frekansındaki kayma da antenin ya da üstteki iletken parçanın boyutlarını hafifçe değiştirerek önlenir (Bahl ve Bhartia, 1980).

Şekil 3.7'de merkezi (solda) ve merkez dışı (sağda) beslemeye ait temsili örnekler görülmektedir.



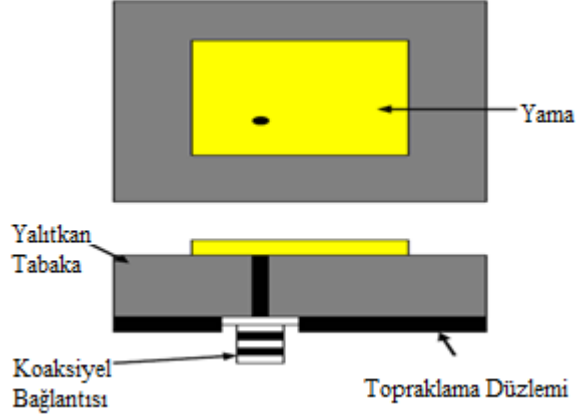
Merkezi Besleme

Merkez Dışı Besleme

Şekil 3.7 Mikroşerit hat beslemeli antenler (Neşem K., 2012).

3.3.2. Koaksiyel Prob Besleme

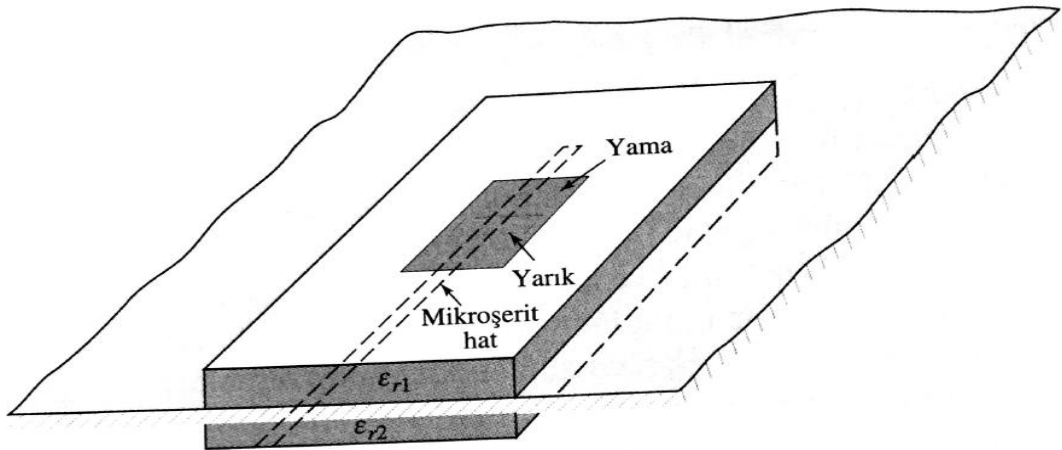
Koaksiyel hat beslemelerinin kullanımı da oldukça yaygındır. Koaksiyelin iç iletkeni ışılan yamaya eklenirken dış iletkeni toprak düzleme bağlanır. Koaksiyel prob beslemenin de üretimi ve uyumlaması basittir ve aynı zamanda parazit ışıma düşüktür (James ve Hall, 1989).



Şekil 3.8 Prob besleme (SEVGI, 2005).

3.3.3. Açıklık Bağlaşımli Besleme

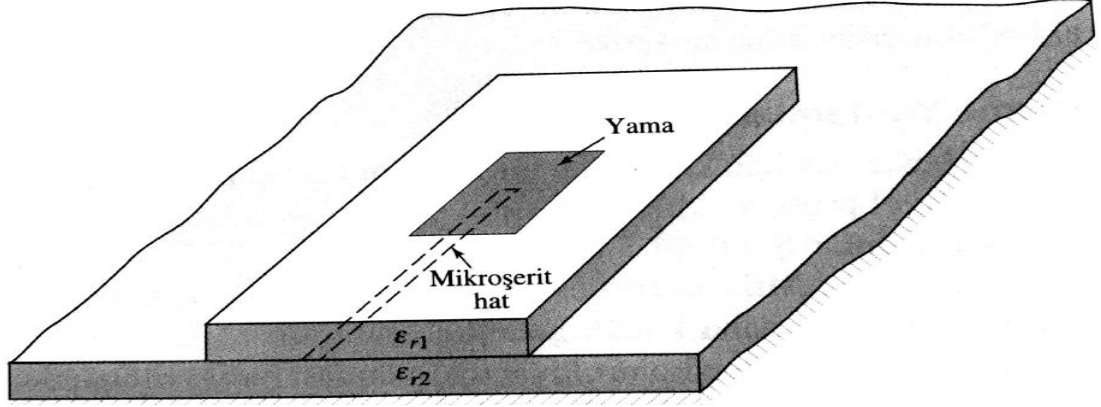
Açık bağlaşımli, toprak düzleme ayrılmış iki tabandan oluşur. En alttaki taban malzemenin alt tarafında mikroşerit hat beslemesi vardır. Bu hat iki tabanı ayıran toprak düzlem üzerindeki bir yarık boyunca yamaya enerjisinin verir. Modellemesi kolay üretimi zordur (Balanis C.A., 2005). Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9 Açık bağlaşımli besleme (Balanis C.A., 2005).

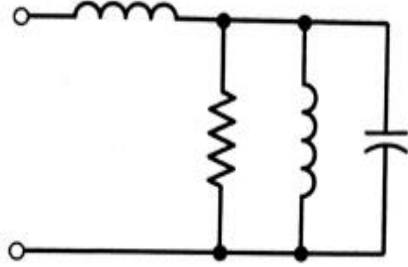
3.3.4. Yakınlık Bağlaşımı Besleme

Yakınlık bağlaşım, en yüksek bant genişliğine sahiptir. Yüzde 13 e kadar daha büyük modellemesi kolay parazit ışımaya daha düşüktür ve üretimi zordur. Besleme saplamasının uzunluğu ve yamanın genişlik-hat oranı uyumlamayı kontrol etmek için kullanılabilir (Balanis C.A., 2005).

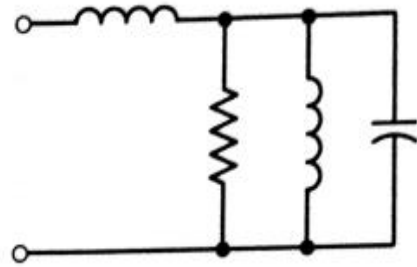


Şekil 3.10 Yakınlık bağlaşımı besleme (Balanis C.A., 2005).

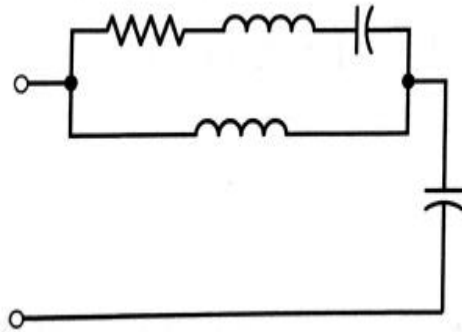
Verilen besleme tiplerinin eşdeğer devreleri Şekil 3.11’ de dir.



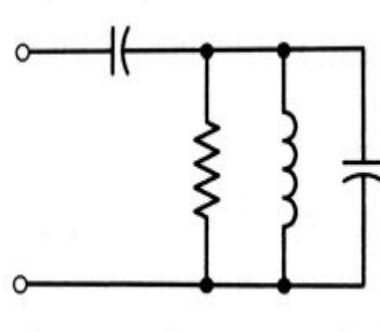
(a) Mikroşerit hat



(b) Prob devresi



(c) Açıklık bağlaşım



(d) Yakınlık bağlaşım

Şekil 3.11 Besleme tiplerinin eşdeğer devre tipleri (Balanis C.A., 2005).

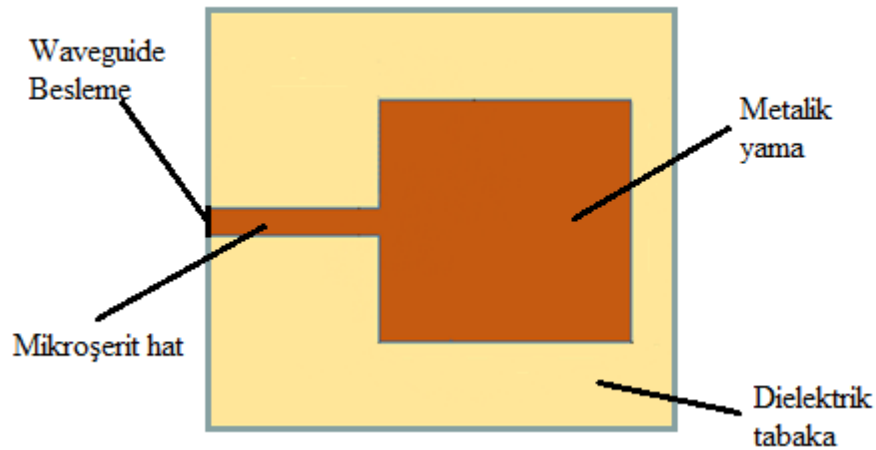
4. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Bu bölümde gündelik hayatımızda kullanacağımız akıllı cihazlar için mikroşerit anten tasarlanmaktadır. Tasarımların benzetimi CST (Computer Simulation Technology) Studio Suite 2014 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Frekans bandı, kazancı, radyasyon pateni istenilen frekanslar için elde edilmiştir (CST, 2014). Bu yazılımla hazırlanmış tasarımlar görülmektedir. Çizim ve benzetim (simülasyon) aşamasında bu programın kullanımı ile ilgili bilgi verilecektir.

4.1. Mikroşerit Anten Tasarımı

Bu tezde mikroşerit hat beslemeli dikdörtgen bir anten tasarımı yapılmıştır. Öncelikle hangi frekansa göre işlem yapılacağı belirlenmelidir. Tasarım hesaplamaları WCDMA (2.1 GHz)'e göre yapılmıştır ve 1.8-1.9 GHz GSM, 2.4 GHz'de Wifi, 2.6 GHz' de LTE ve 3.5 GHz'de WIMAX standartlarında kapsayacak bir anten elde edilmiştir. Anten boyutumuzun küçük ve pratikte gerçekleştirebilir olabilmesi için dielektrik sabitini (ϵ_r) 4.3 gibi bir değere sahip olan FR4 materyali seçilmiştir. Dielektrik malzemenin kalınlığı 1.5 mm alınmıştır. Sırasıyla hesaplamalar da kullanılacak parametreler şunlardır;

- $f_0 = 2.1 \text{ GHz}$
- $\epsilon_r = 4.3$
- $h = 1.5 \text{ mm}$



Şekil 4.1 Bir dikdörtgen mikroşerit antenin üstten görünüşü.

Antenin boyutları için hesaplamalar aşağıda verilmektedir (Sevgi, 2005)

1. Adım: Antenin genişliğinin hesaplanması (W):

$$W = \frac{c}{2f_0\sqrt{(\epsilon_r+1)/2}} \quad (3.1)$$

Alındığında anten genişliği;

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $\epsilon_r = 4.3$ ve $f_0 = 2.1 \text{ GHz}$, Buradan $W = 43.65 \text{ mm}$ olarak elde edilir.

2. Adım: Dielektrik katsayısının etkin değerinin hesaplanması (ϵ_{reff}):

Eğer $\frac{W}{h} < 1$ ise;

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[\left(1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} + 0.04 \left(1 - \left(\frac{W}{h} \right) \right)^2 \right] \quad (3.2)$$

Eğer $\frac{W}{h} \geq 1$ ise;

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(1 + 12 \left(1 - \left(\frac{h}{W} \right) \right) \right)^{-1/2} \quad (3.3)$$

Birinci adımda $W = 43.65 \text{ mm}$ olarak bulunmuştu, $h = 1.5 \text{ mm}$ olarak seçmiştik.

Buna değerlere göre W/h oranı 1' den büyük olarak elde edilmektedir. Bundan dolayı (3.3) eşitliği kullanılması gerekmektedir.

$\epsilon_r = 4.3$, $W = 43.65 \text{ mm}$, $h = 1.5 \text{ mm}$ bu değerlere göre (3.3) eşitliği hesaplanırsa;

$\epsilon_{reff} = 4.085$ olarak elde edilir.

3. Adım :Antenin etkin uzunluğunun hesaplanması (L_{eff}):

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.4)$$

$\epsilon_{reff} = 4.085$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $f_0 = 2.1 \text{ GHz}$ buradan;

$L_{eff} = 35.71 \text{ mm}$ olarak bulunur.

4. Adım: Anten uzunluğunun uzantısının hesaplanması (ΔL): Anten uzunluğunun uzantısını eşitlik (3.5)'i kullanarak bulabiliriz.

$$\Delta L = \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (3.5)$$

$\epsilon_{reff} = 4.085$, $W = 43.65 \text{ mm}$, $h = 1.5 \text{ mm}$ dir. Buna göre;

$\Delta L = 1.125$ olarak elde edilir.

5. Adım: Anten uzunluğunun hesaplanması (L):

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (3.6)$$

$\Delta L = 1.125$ ve $L_{eff} = 35.71 \text{ mm}$ buradan;

$L = 33.46 \text{ mm}$ olarak elde edilir.

6. Adım: Mikroşerit hattın genişliği (Fatthi, 2011) (W_f):

$Z_c = 50 \text{ ohms}$, $\epsilon_r = 4.3$, $W = 43.65 \text{ mm}$

$\epsilon_{reff} = 4.085$ bulunmuştu. Elde edilmiş olan bu değeri

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff} \left[\frac{W_f}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_f}{h} + 1.444 \right) \right]}} \quad (3.7)$$

$$50 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff} \left[\frac{W_f}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_f}{h} + 1.444 \right) \right]}} \quad \text{yerine koyarsak eğer;}$$

$W_f = 3 \text{ mm}$ olarak elde edilir.

7. Adım: Mikroşerit hattın uzunluğu (L_f): Mikroşerit hattın uzunluğu Şekil (3.8)'de görüldüğü gibi hesaplanır;

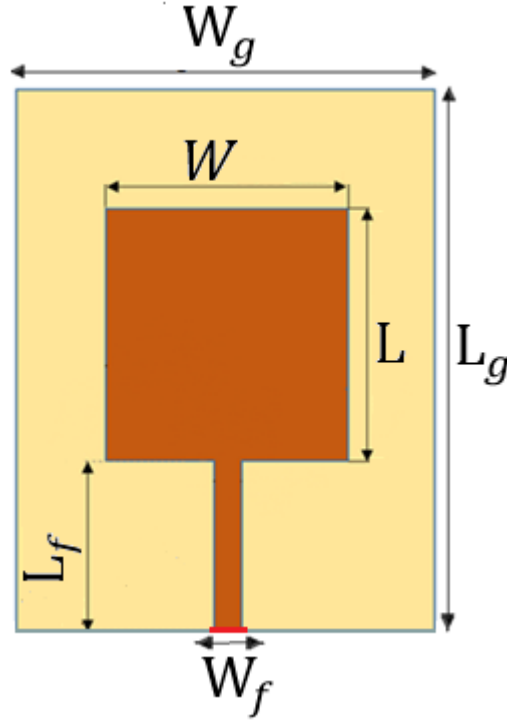
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.8)$$

$c = 3.10^8 \text{ m/s}$, $f_0 = 2.1 \text{ GHz}$ ise ;

$\lambda = 142.86 \text{ mm}$ dir. Burada $\lambda/4 = L_f$ (Munson, 1995)

olduğu için $L_f = 35.7 \text{ mm}$ dir.

Hesaplamaları yapılarak tasarlanan antenin parametre değerleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

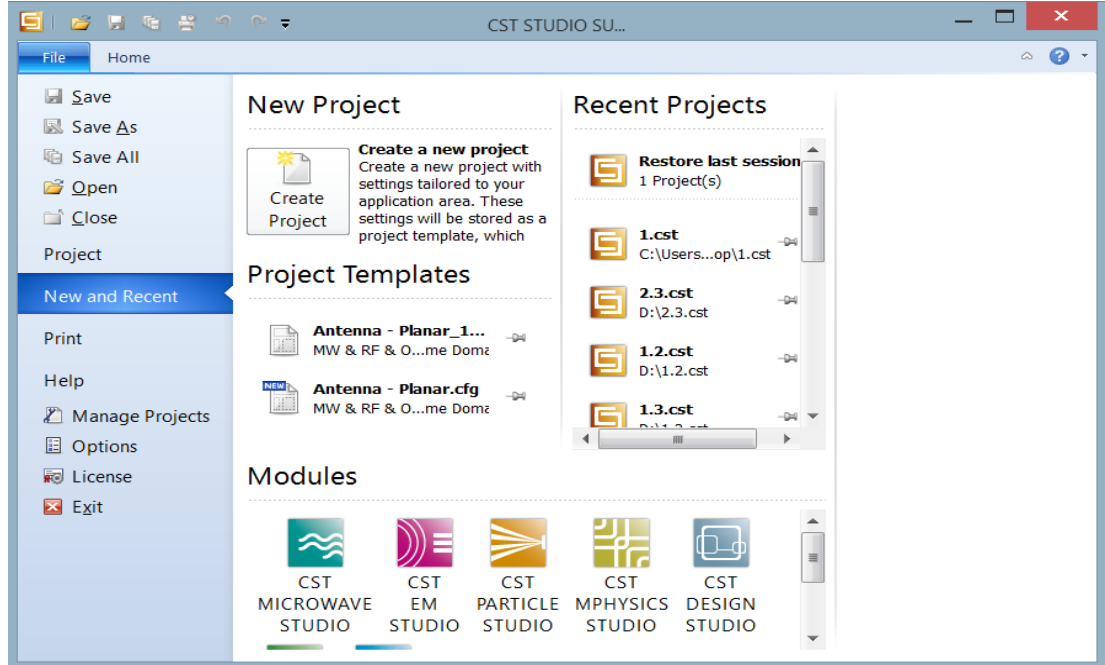


Şekil 4.2 Antenin son hali ve parametre değerleri.

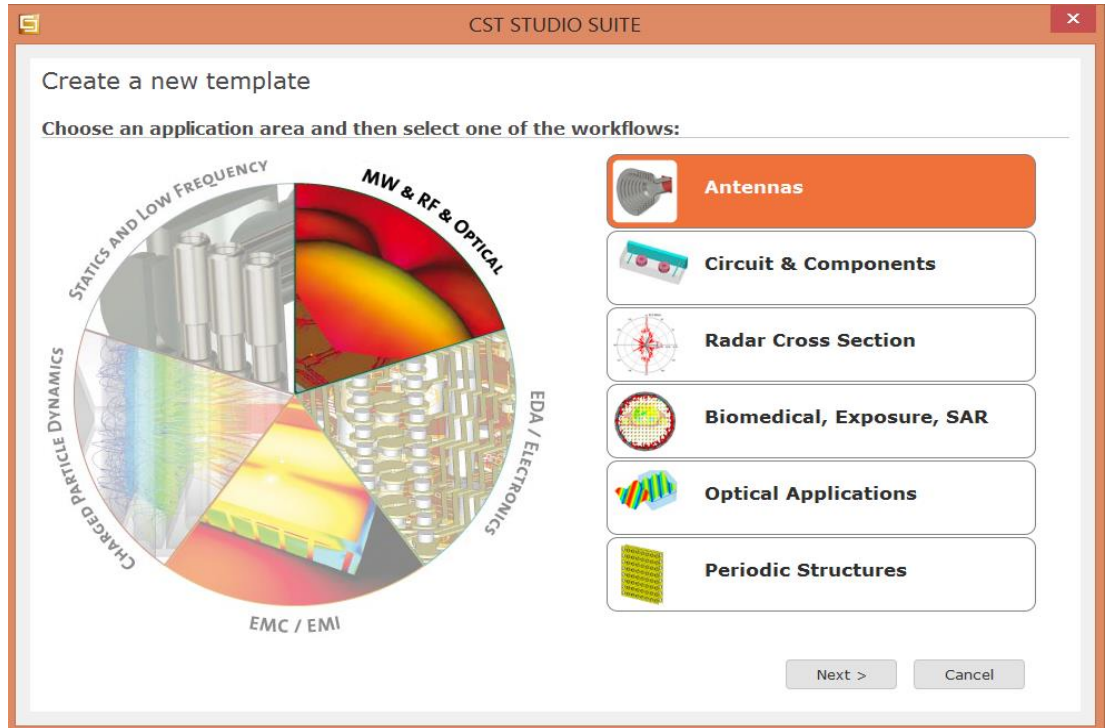
- $f_0 = 2.1 \text{ GHz}$
- $\epsilon_r = 4.3$
- $h = 1.5 \text{ mm}$
- $W = 43.65 \text{ mm}$
- $L = 33.40 \text{ mm}$
- $W_f = 3 \text{ mm}$
- $L_f = 35.7 \text{ mm}$
- $W_g = W * 2$
- $L_g = L * 2.5$

4.2. CST Studio Suite Programı İle Antenin Modellenmesi Ve Simülasyonu

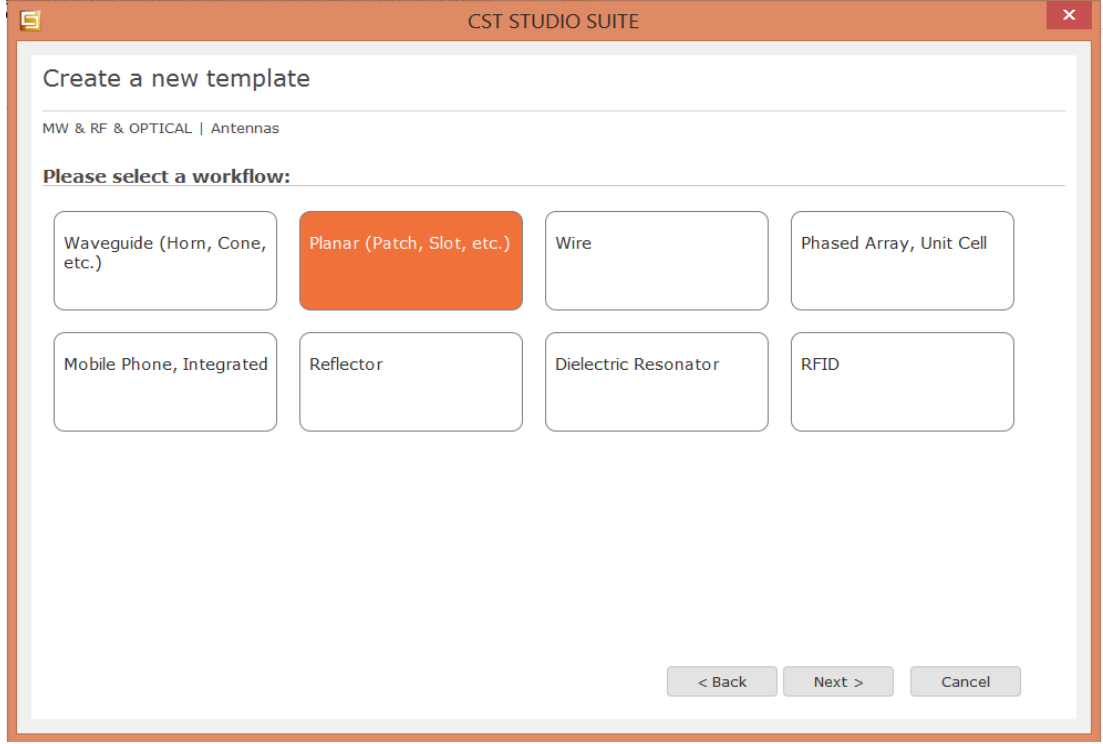
CST Studio Suite Şekil 4.3’de görüleceği gibi bir açılış ekranına sahiptir. Burada sırasıyla Create Project/ Create a new template /MW & RF & OPTICAL/ Antennas a tıklayıp modelleme ekranına ulaşıyoruz.



Şekil 4.3 CST Studio Suite açılış ekranı.

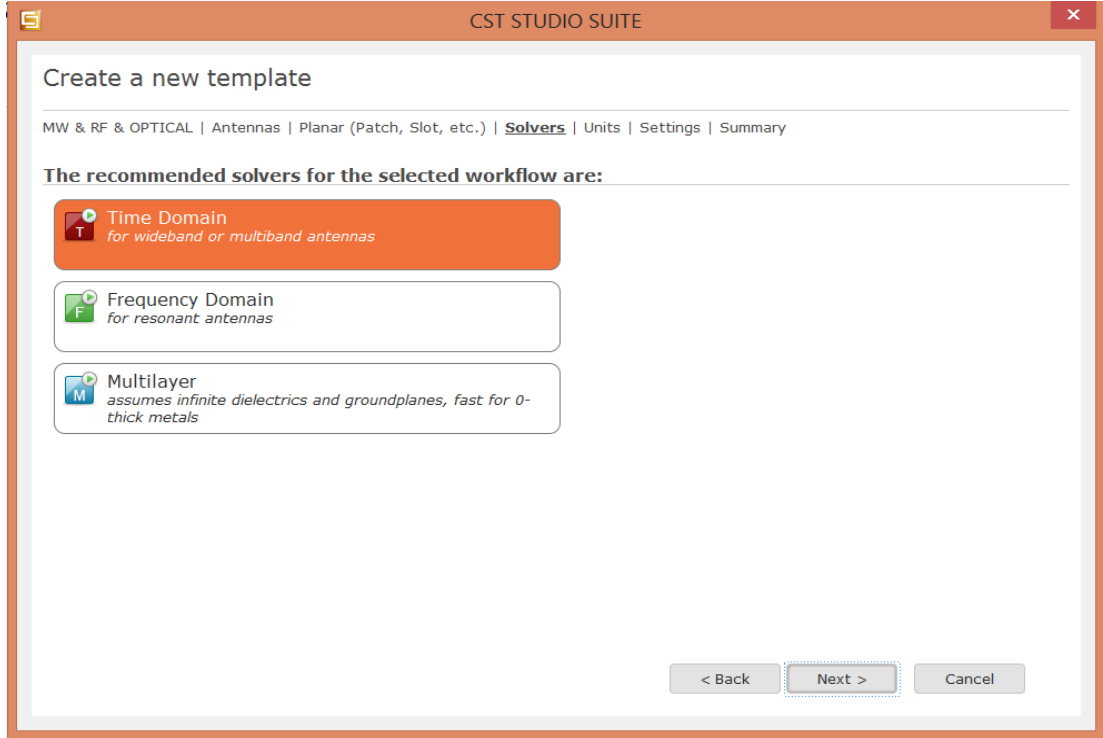


Şekil 4.4 Anten modelleme ekranı.



Şekil 4.5 Anten seçim ekranı.

Şekil 4.6’da kullanacağımız anten çeşidini seçtikten sonra Şekil 4.6’da hangi domain de çalışma yapacağımız ekran gelmektedir. Time domain (Zaman domaini) seçip devam ediyoruz.



Şekil 4.6 Zaman domeyni analiz ekranı.

Şekil 4.7’de parametre değerleri ile ilgili ekran bulunmaktadır. Burada kullanacağımız parametrelerin birimlerini seçiyoruz;

CST STUDIO SUITE

Create a new template

MW & RF & OPTICAL | Antennas | Planar (Patch, Slot, etc.) | Solvers | **Units** | Settings | Summary

Please select the units:

Dimensions: mm

Frequency: GHz

Time: ns

Temperature: Kelvin

Voltage: V

Current: A

Resistance: Ohm

Conductance: S

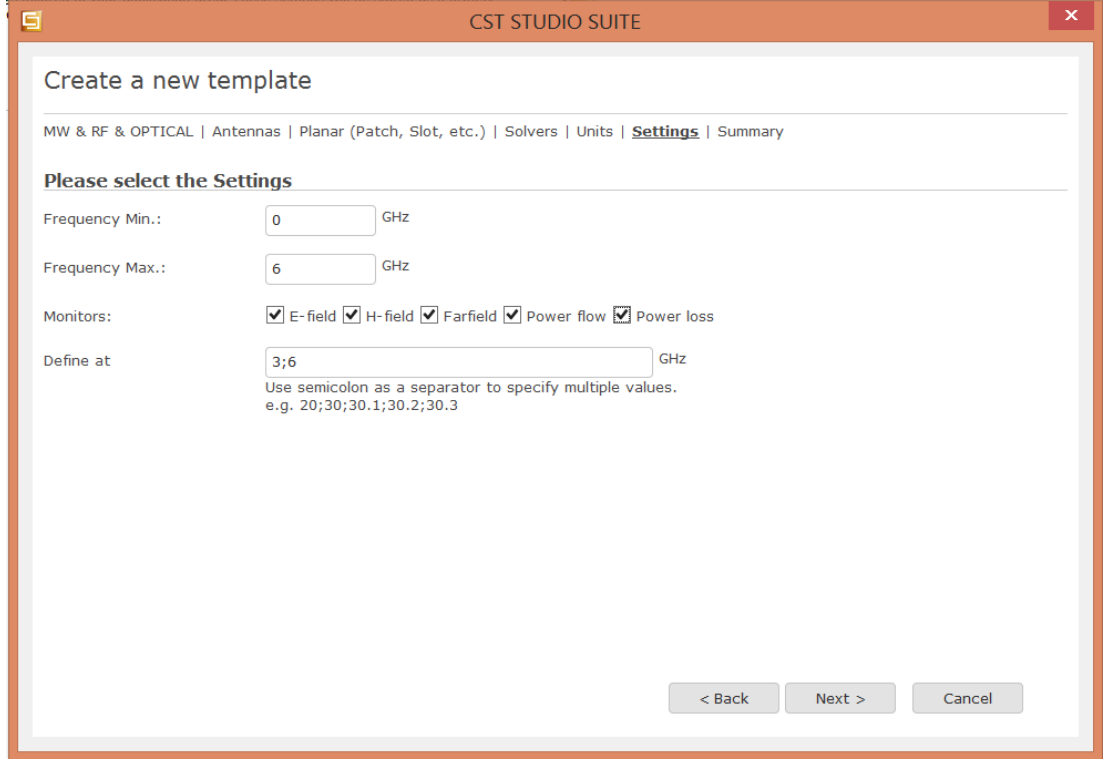
Inductance: nH

Capacitance: pF

< Back Next > Cancel

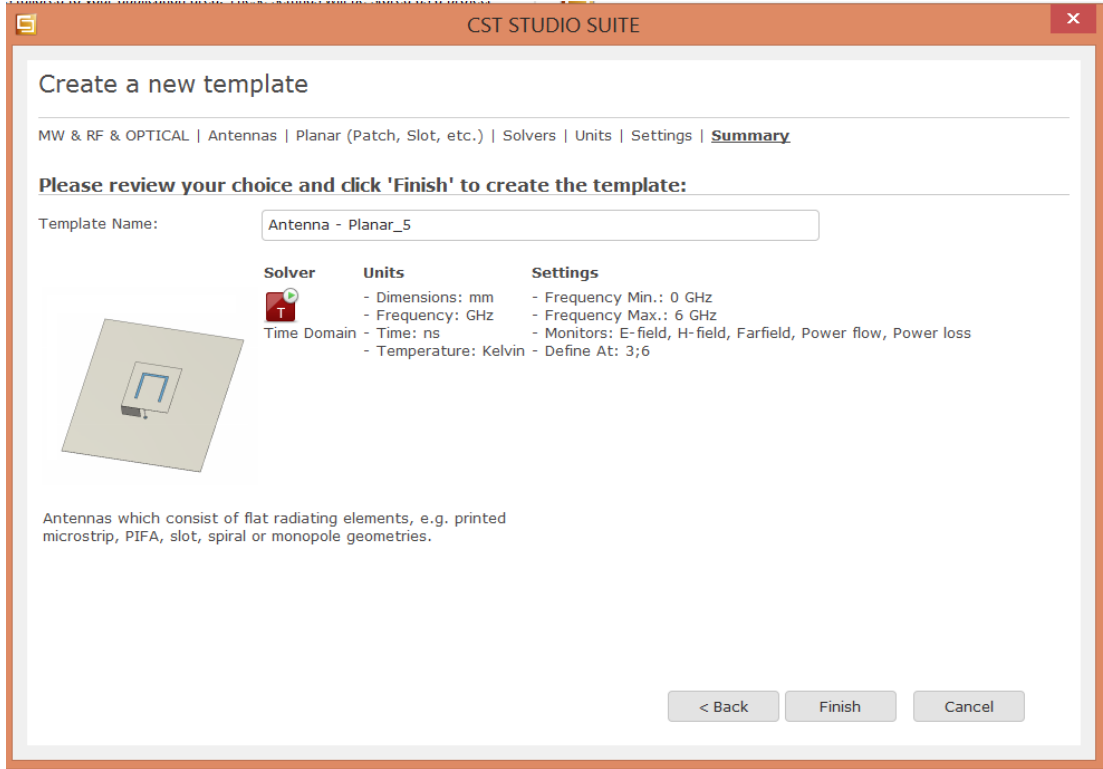
Şekil 4.7 Anten parametre ekranı.

Aşağıdaki Şekil 4.8 ekranında frekans aralığımızı yazıyoruz ve analizi yapmasını istediğimiz monitör çıktılarını işaretleyip Next’e tıklıyoruz.

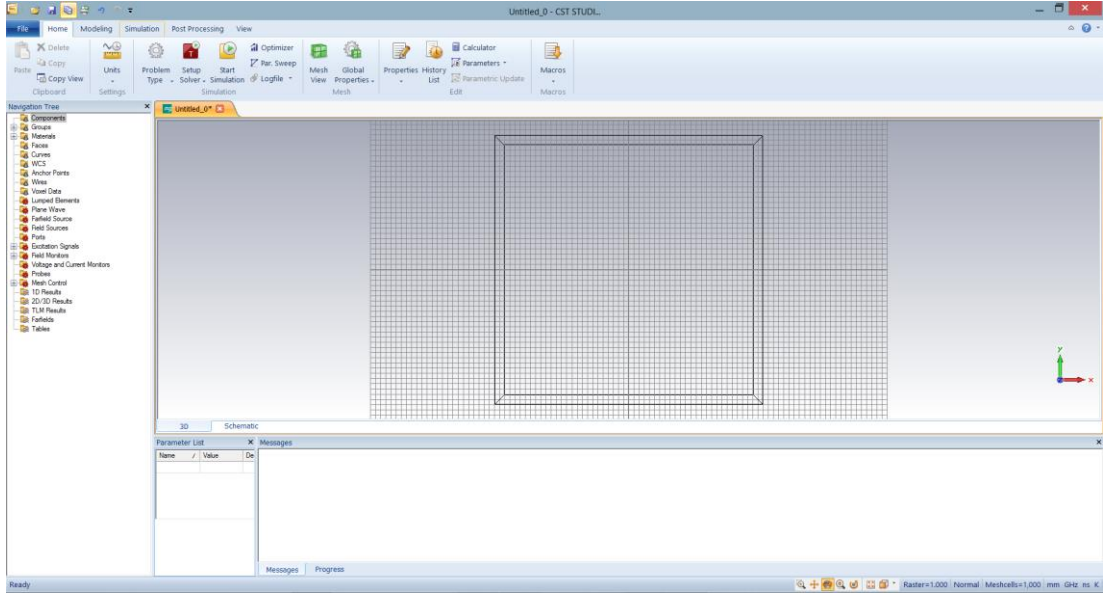


Şekil 4.8 Frekans aralığı ve monitör analiz ekranı.

Aşağıdaki Şekil 4.9’da karşımıza çıkan ekran şimdiye kadar yapmış olduğumuz işlemleri kontrol ediyoruz. Frekans aralığı, analiz yapılacak monitör çıktılarını. Herhangi bir problem yok ise Finish’e tıklayıp karşımıza çıkan ekranda yavaş yavaş tasarımımızı oluşturuyoruz.



Şekil 4.9 Yapılan işlemleri kontrol ekranı.

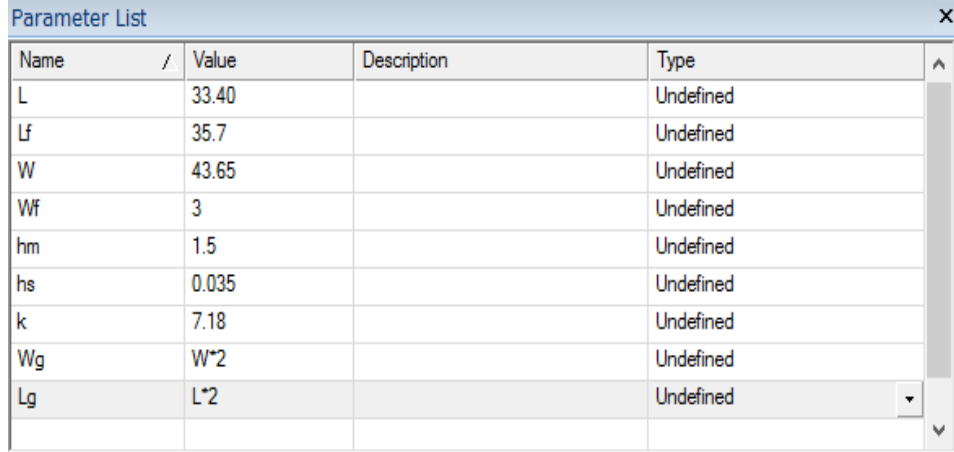


Şekil 4.10 Anten tasarım ekranı.

5. CST STUDIO SUITE İLE ANTEN TASARIMI

5.1. Anten Parametrelerinin Yazımı

İlk başta parametre listesine anten tasarımında kullandığımız değerleri programın sol alt kısmında ki parametre list'e kayıt ediyoruz.



Name	Value	Description	Type
L	33.40		Undefined
Lf	35.7		Undefined
W	43.65		Undefined
Wf	3		Undefined
hm	1.5		Undefined
hs	0.035		Undefined
k	7.18		Undefined
Wg	W*2		Undefined
Lg	L*2		Undefined

Şekil 5.1 Anten parametre listesi.

Burada dikkat çekici iki tane parametre mevcut;

1. hs, bakırın kalınlığı.
2. k, 50 ohm empedans uyumu için kullandığımız değerimiz. Antenimizi tasarım aşamalarını anlatırken k değerinin nasıl elde edildiğini anlatacağız.

5.2. FR4 Dielektrik Malzemesinin Oluşturulması

CST Studio Suite tasarım ekranında Modeling/ Brick' e tıklayıp ESC tuşuna basıyoruz önümüze çıkan ekrana FR4 malzemesi oluşturmak için parametre değerlerini giriyoruz. Material yazan yere tıklayıp [Load from Material Library...] FR-4 (lossy) tıklayıp Load diyoruz. Daha sonra Preview' e tıklayıp şeklimizi kontrol edip ok tıklayıp FR4 malzememizi tamamlıyoruz. Yapılan işlemlere ait şekiller sırayla aşağıdadır.

Brick

Name:

Xmin: Xmax:

Ymin: Ymax:

Zmin: Zmax:

Component:

Material:

Şekil 5.2 FR4 malzeme parametreleri giriş ekranı.

Load from Material Library

Material library

Use filter Material: Type:

Material	Type	Location
Eye lens	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
Fat	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
Ferro A6M (loss free)	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
Ferro A6M (lossy)	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
Ferro A6S (loss free)	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
Ferro A6S (lossy)	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
FR-4 (loss free)	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
FR-4 (lossy)	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib
G-10 (loss free)	Normal	C:\Program Files (x86)\CST STUDIO SUITE 2014\Lib

Material to import

Name:

Type:

Material:

Attributes:

Material Set = Default
 Type = Normal
 Epsilon = 4.3
 Mue = 1
 El. tand = 0.025 (Const. fit)

Description:

EM(HF) properties measured @ 10GHz

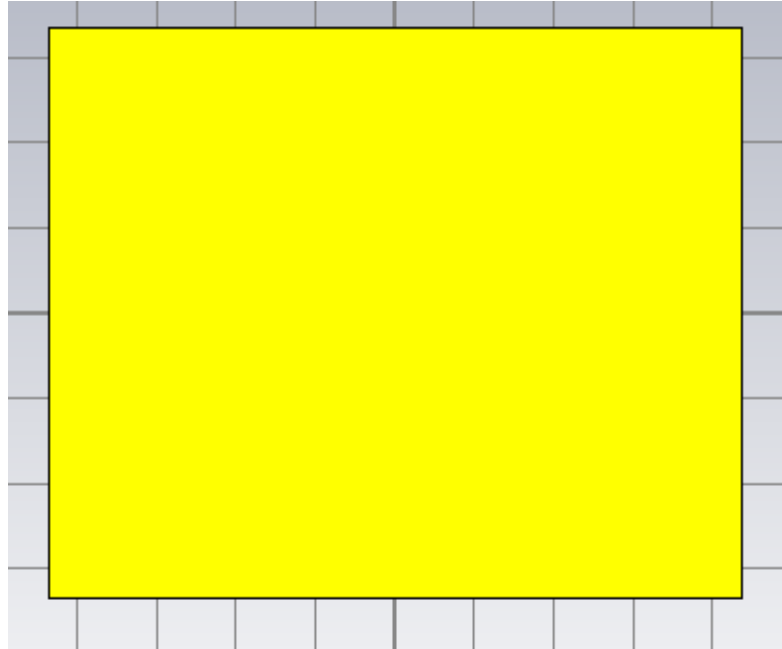
Şekil 5.3 Materyal seçim ekranı.



Şekil 5.4 FR4 materyalinin görünümü.

5.3. Ground Düzleminin Oluşturulması

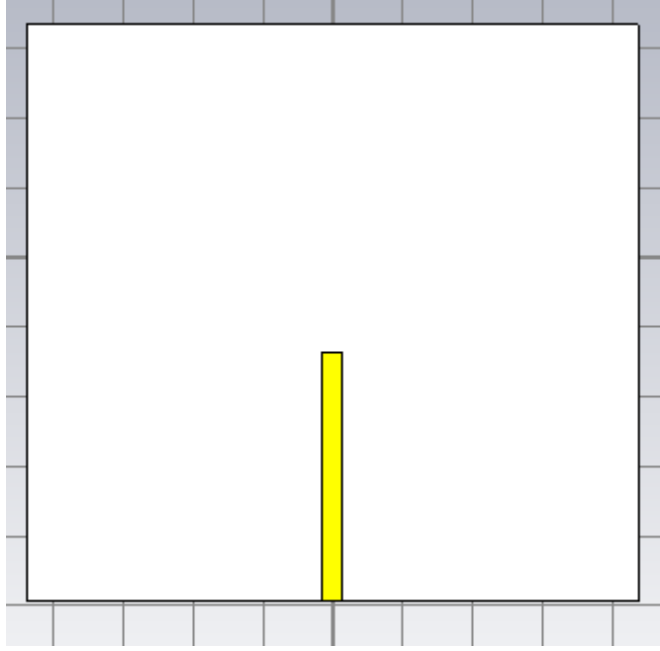
CST Studio Suite tasarım ekranında Modeling/ Brick'e tıklayıp ESC tuşuna basıyoruz önümüze çıkan ekrana Ground düzlemini oluşturmak için parametre değerlerini giriyoruz. Ground için Material seçimizi Copper (annealed) yapıyoruz. Şekil 4.3'de Toprak düzlemin görünümü mevcuttur.



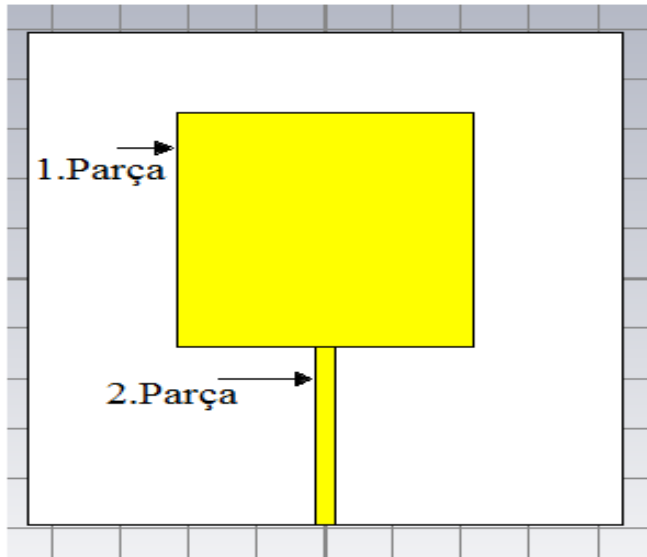
Şekil 5.5 Toprak düzlemin görünümü.

5.4. Mikroşerit Line Ve Microstrip Pacht Düzeleminin Oluşturulması

CST Studio Suite tasarım ekranında Modeling/ Brick'e tıklayıp ESC tuşuna basıyoruz önümüze çıkan ekrana Microstrip line düzlemini oluşturmak için parametre değerlerini giriyoruz. Line için Material seçi mizi Copper (annealed) yapıyoruz.

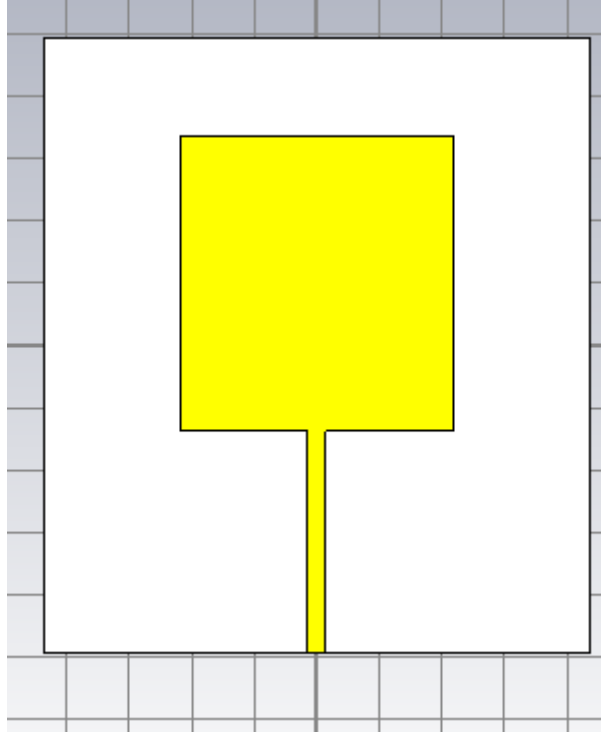


Şekil 5.6 Mikroşerit beslemenin görünümü.

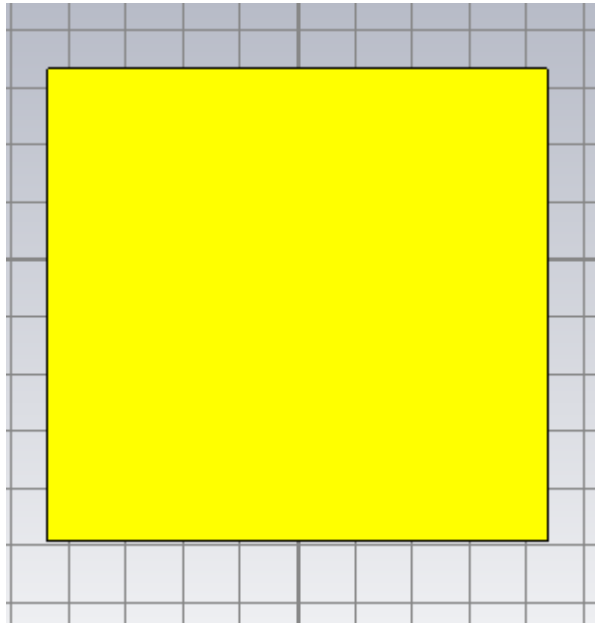


Şekil 5.7 Mikroşerit antenin üstten görünümü.

Anteni tek parça haline getirmek için; Ctrl tuşuna basılı tutup Line ile Patch'e tıklıyoruz. Patch ve Line ayrı ayrı olduğu için iki ayrı bakır malzemeyi programdan Modeling/ Boolean/ Add yapıp birleştiriyoruz. Birleştirme işlemi için klavyeden Ctrl tuşuna basılı tutup Line ile Patch'e tıklıyoruz. Birleştirilmiş anten görünümü şekil 4.6'da grndğu gibidir.



şekil 5.8 Tek parça haline getirilmiş antenin üstten görünümü.



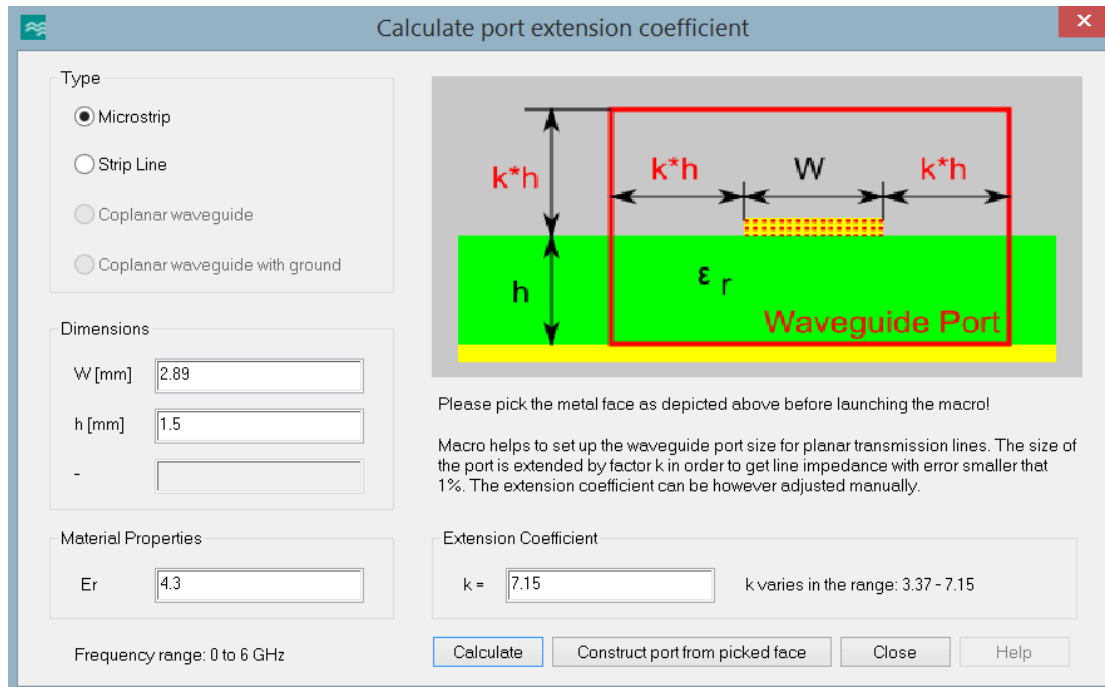
şekil 5.9 Tek parça haline getirilmiş antenin alttan görünümü.

5.5. Mikroşerit Antenin Waveguide Port İle Beslenmesi

Mikroşerit antenimizin besleme aşamasını sırasıyla şu şekilde yapılmaktadır;

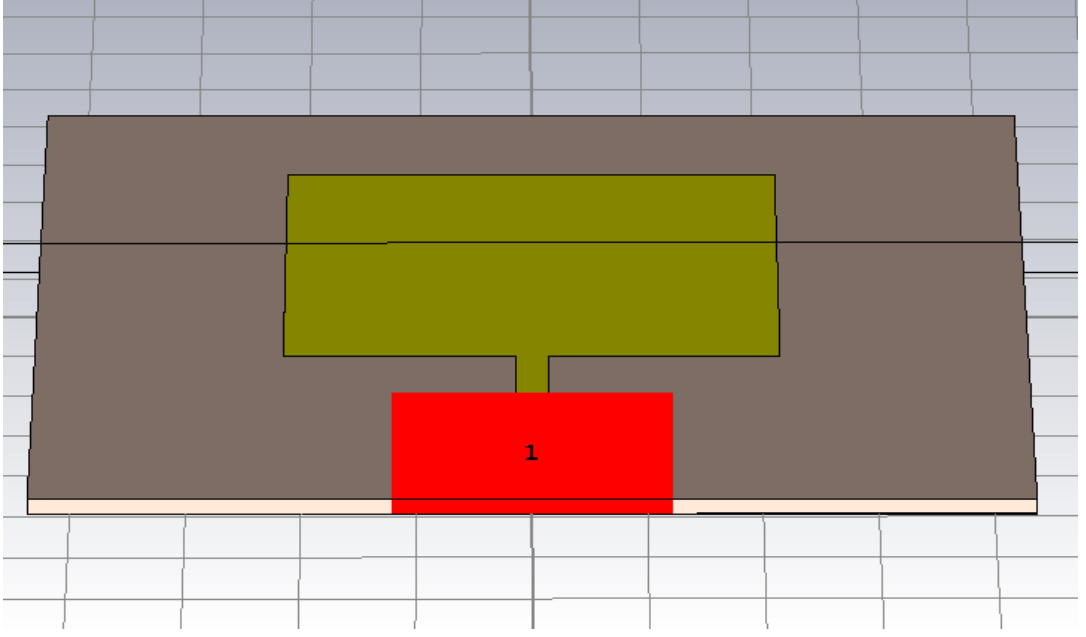
1. İlk başta 50 ohm empedans uyumu için Home/ Macros/ Solver/ Ports/ Calculate port extension coefficient' e tıklıyoruz karşımıza çıkan ekranda parametre değerlerini girip empedans uyumu için gerekli parametre değerini alıyoruz. Burada bizim için Waveguide besleme için genişlik ve yüksekliği için lazım olan k değerini verecektir. Değerlerimizi girip Calculate dediğimiz zaman bize k değerini;

$k=7.15$ vermektedir.



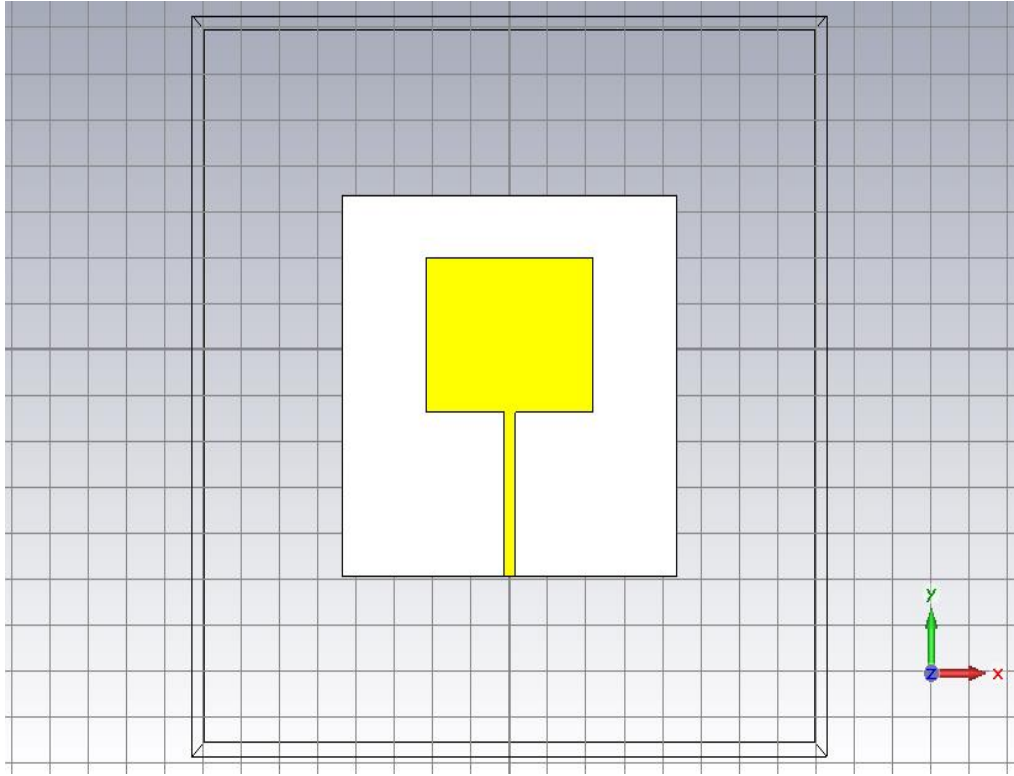
Şekil 5.10 Anten beslemesinin 50 ohm empedans uyumu hesaplama ekranı.

Antenimizin beslemesi eklenmiş olarak görünümü Şekil 5.13’de görüldüğü gibidir.

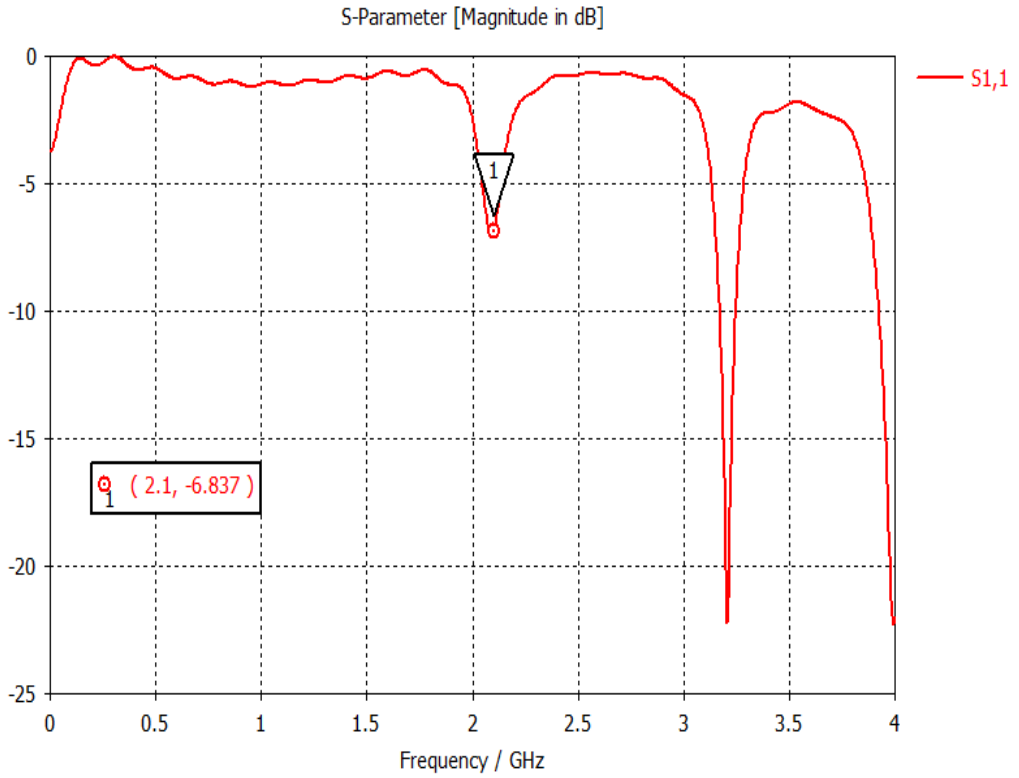


Şekil 5.13 Waveguide port beslemeli mikroşerit anten.

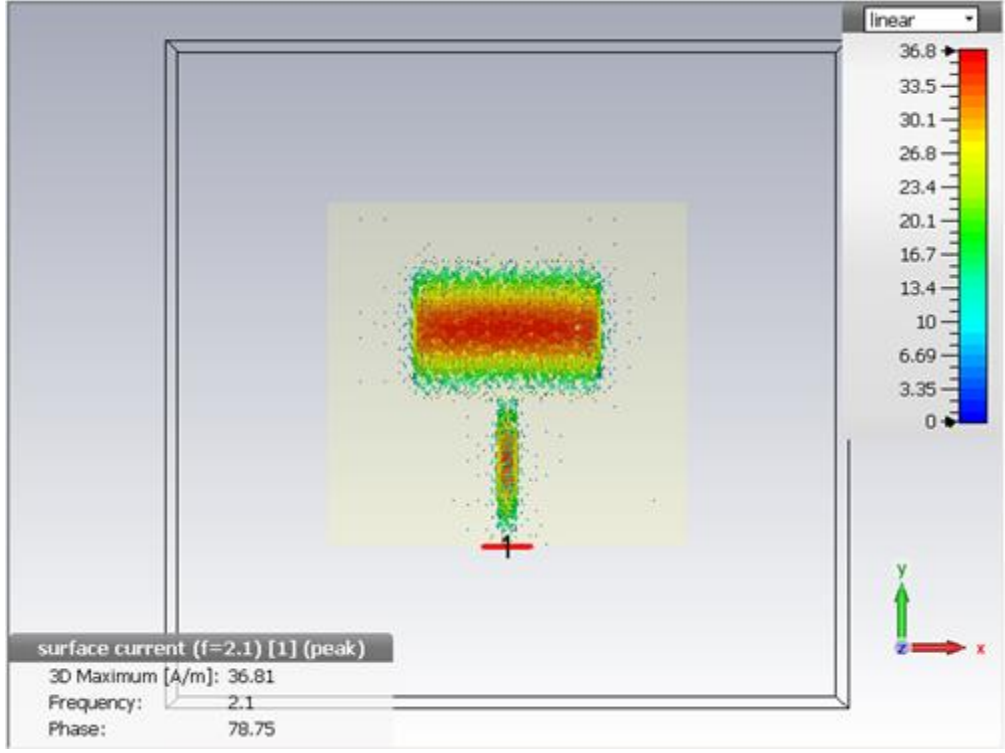
6. ANTEN ANALİZ VE SONUÇLARI



Şekil 6.1 Antenin ilk tasarımı.



Şekil 6.2 S11 Frekansa bağlı değişim grafiği.



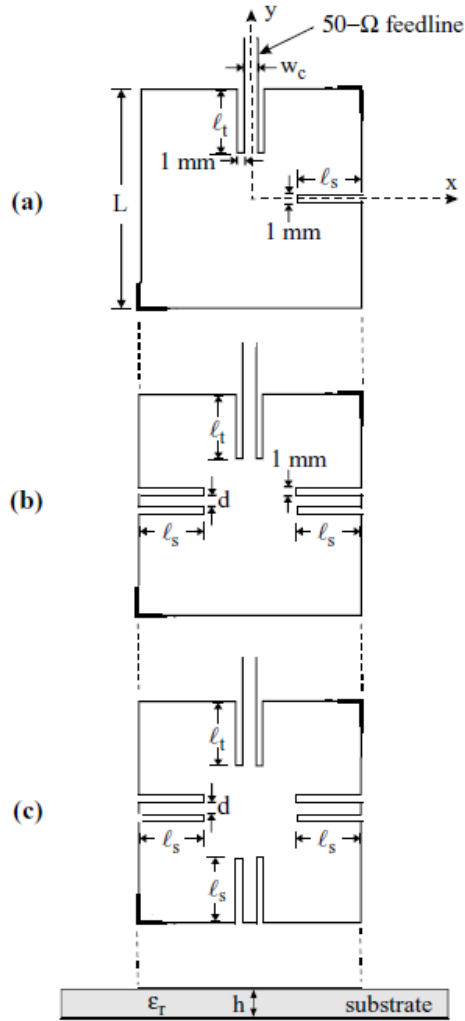
Şekil 6.3 Akım yoğunluğu.

6.1. REZONANS FREKANSI & BANT GENİŞLİĞİ İYİLEŞTİRİLMESİ

Tasarımın birinci analiz sonucunda 2.1 GHz’de anten elde edilmiştir. Antenimizi iyileştirmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır. Antenimizin geri dönüş kaybını daha iyi bir duruma getirmek ve farklı frekanslarda anten elde edebilmek amacıyla slotlar (yarıklar) atılmıştır. Yarıklar hem geri dönüş kaybını iyileştirmek, farklı frekanslarda çalışabilir durumda anten elde edilebilmesi amacıyla atılmıştır.

6.1.1. Slot Tasarım Teorisi

Antenin performansını iyileştirmek için akım yoğunluğunun fazla olduğu yerlere slot atılmalıdır (Fang, 1999). Atılan yarıklardan dolayı birden fazla frekans elde edilebilmektedir. Mikroşerit antenlerde birden fazla frekansta anten tasarımı önemlidir (Maci ve Gentili, 1997). Şekil 6.2’de antenler için örnek olarak atılmış slotlar mevcuttur.



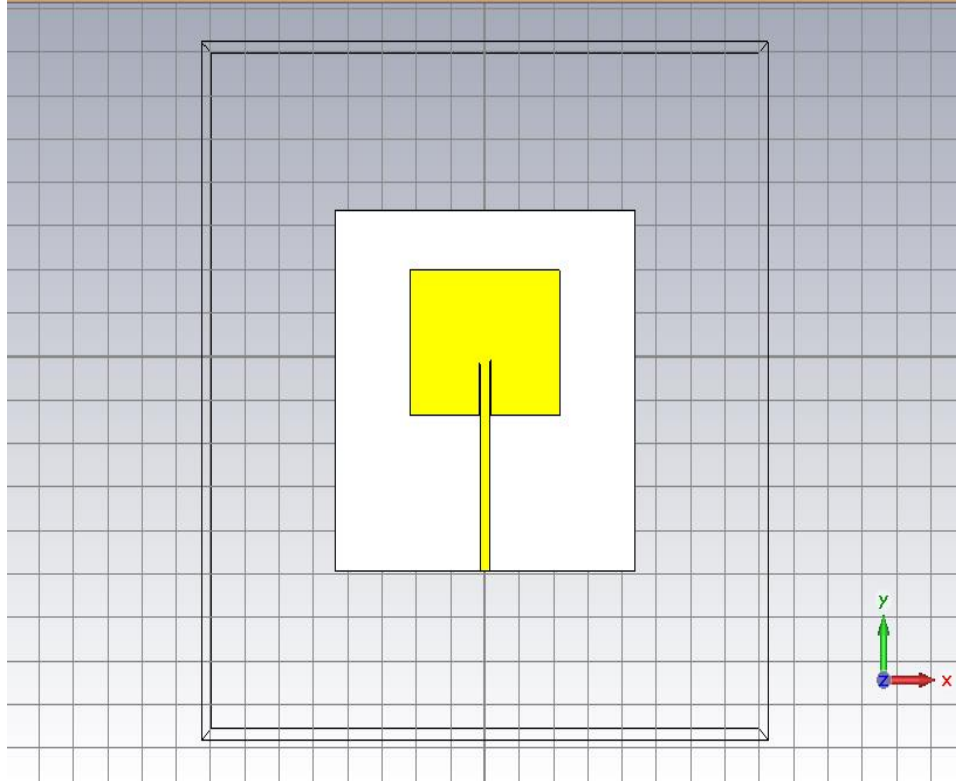
Şekil 6.4 Yarık atılmış antenler (Wong, 2004).

- Burada sol tarafa atılan slot $x=0.25$ mm, $y=12.65$ mm dir.
- Yukarıdaki anten şeklinin sağ alt kısmında koordinatlar(X ve Y) gösterilmiştir.
- Yarık atılarak yapılan analiz tablosu ektedir;

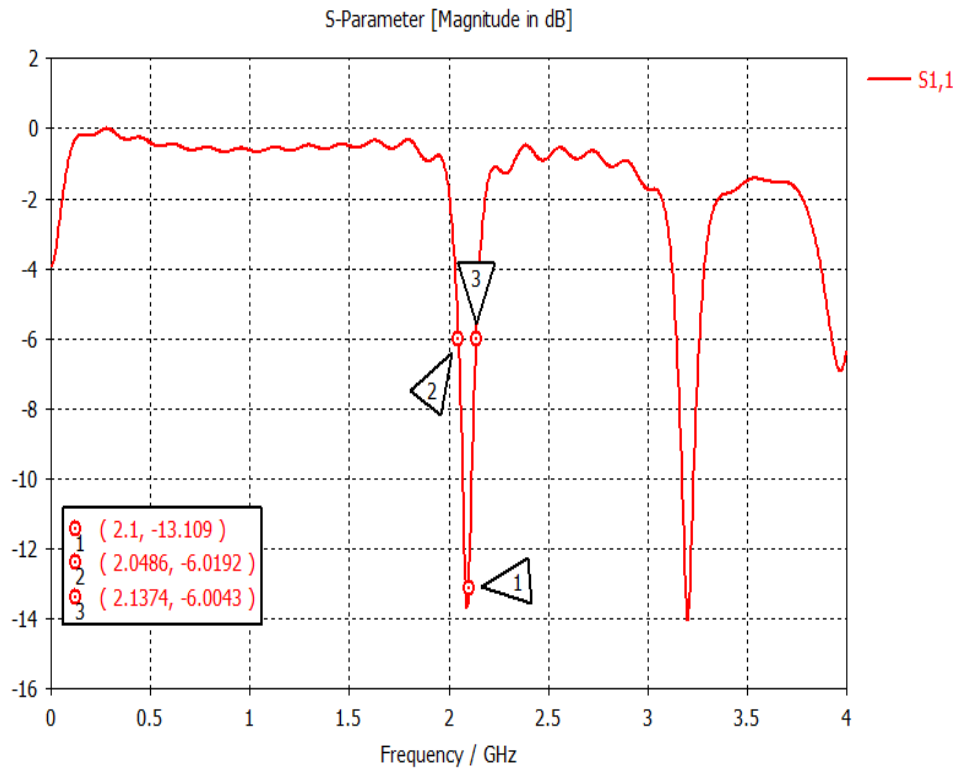
Tablo 6.1 Mikroserit yama üzerine atılmış olan yarıkların analiz sonuçları.

#	Sol Slot (mm) (X,Y)	Sağ Slot (mm) (X,Y)	Geri Dönüş Kaybı (S11) (dB) 2.1 GHz	Bant Genişliği (MHz)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1	-	-	-6.3803	-	-
2	0.25, 12.65	-	-6.1611	-	-
3	0.25, 12.65	0.25, 12.65	-13.706	75.1	7.02
4	1.00, 12.65	-	-10.976	71.5	6.99
5	0.25, 12.00	1.00, 12.65	-12.49	69	7.11
6	0.25, 12.00	1.00, 12.00	-13.109	88.8	7.08
7	0.25, 12.00	1.25, 16.65	-18.071	68.8	7.06
8	0.25, 12.00	1.25, 21.65	-18.18	68.1	7.05
9	1.25, 21.65	1.25, 21.65	-	-	-

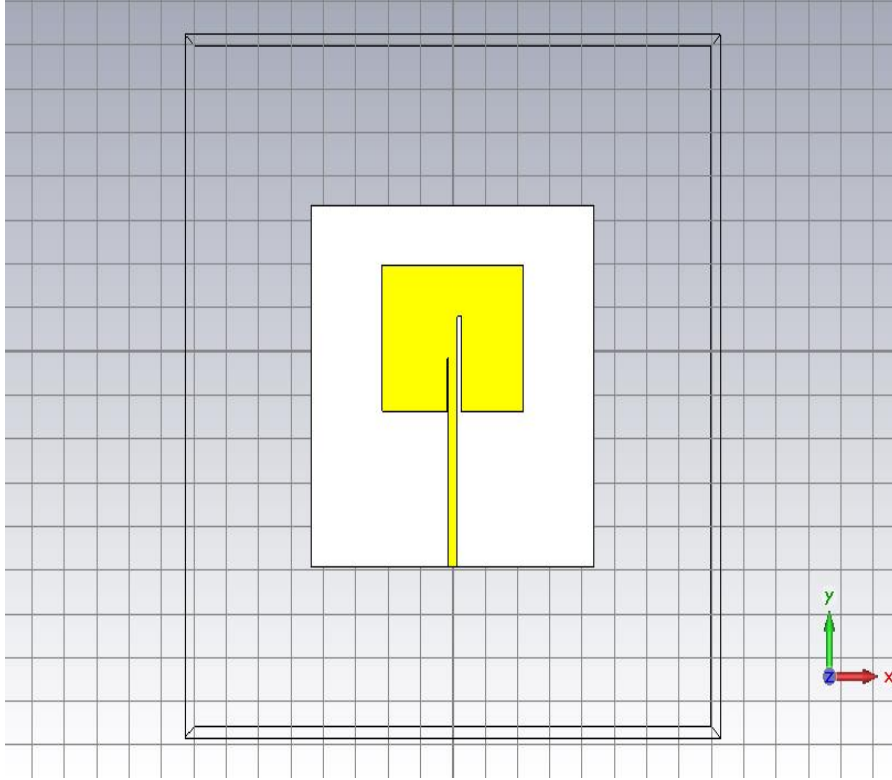
- 7. Analizde atılmış olan slotlardan dolayı 2.45’de rezonans frekansı elde edilmiştir.
- 8. Analiz sonucunda 2.1, 2.45, 3.23, 3.68 çalışabilir durumda 4 tane rezonans frekanslı anten elde edilmiştir.
- 9. Analiz sonucunda elde edilmiş olan 2.45 GHz deki rezonans frekansı, slotun boyunun uzatılması sonucunda herhangi bir sonuç alınamamıştır.
- 8. Analizde elde edilen rezonans frekansları optimizasyon yapılarak 2.1, 2.4, 3.032 ve 3.5 GHz de antenler elde edilmiştir. Patch değerleri 1.5 mm genişletilerek (W) istenilen rezonans frekansları elde edilmiştir.
- Yapılan analiz sonuçlarında elde edilen anten görünümü ve S11 grafiği aşağıdadır;



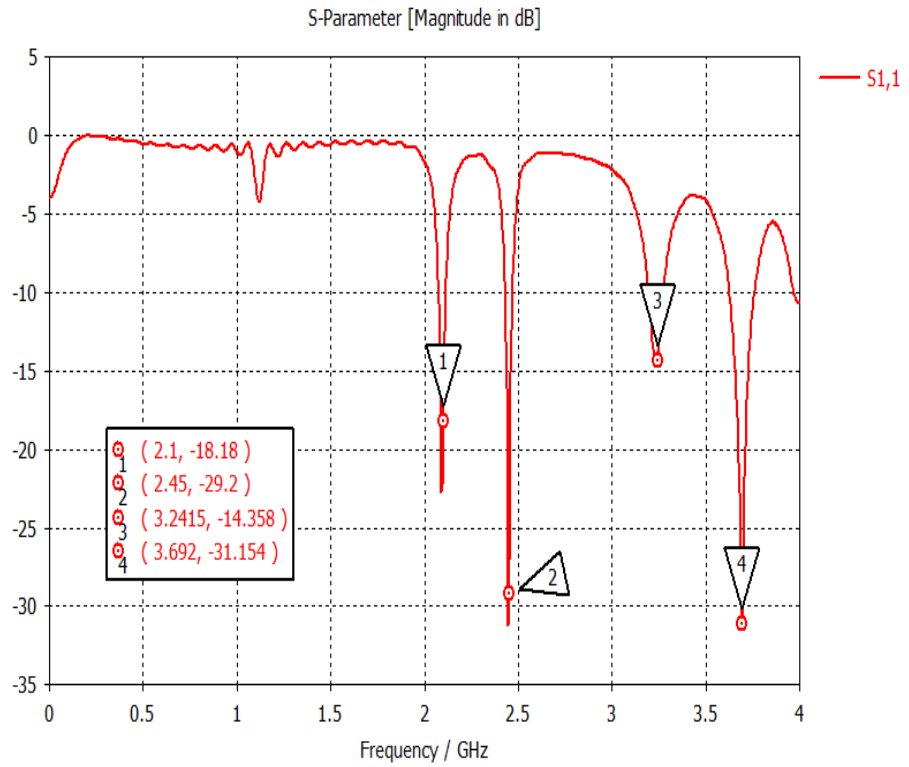
Şekil 6.5 Yedinci analiz antenin üstten görünümü.



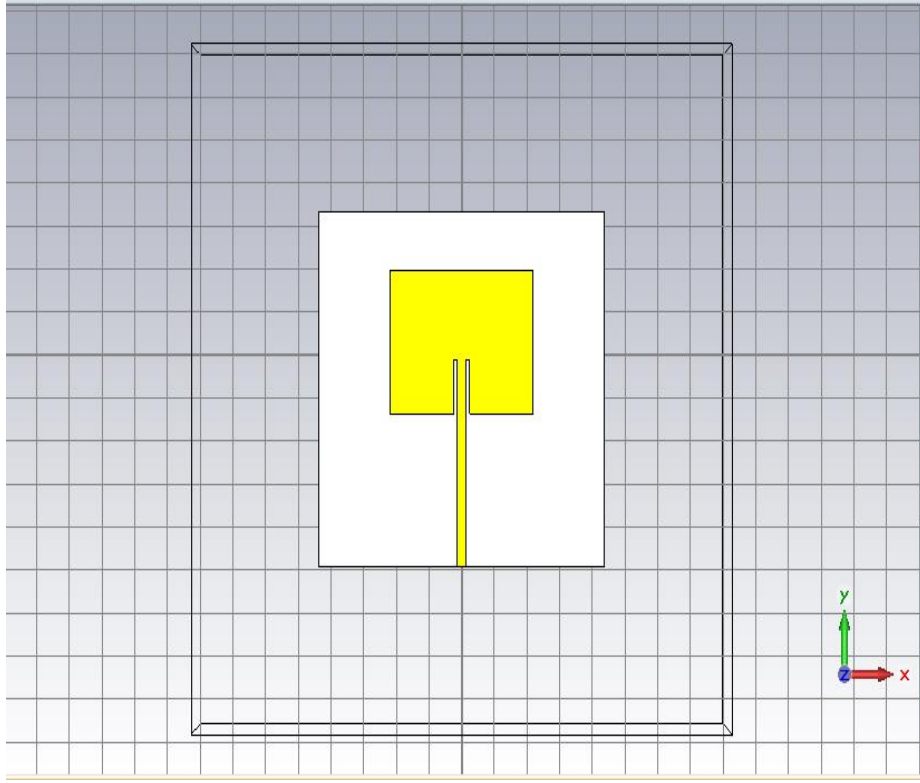
Şekil 6.6 Yedinci analiz S11 frekansa bağlı değişim grafiği.



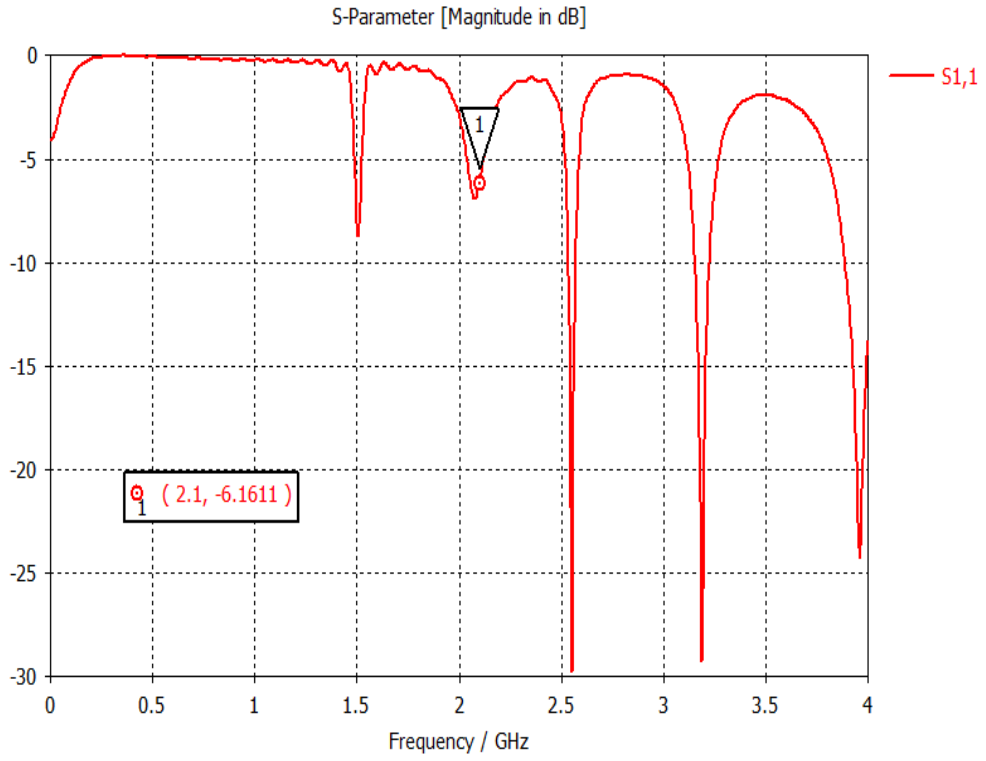
Şekil 6.7 Sekizinci analiz antenin üstten görünümü.



Şekil 6.8 Sekizinci analiz S11 frekansa bağlı değişim grafiği.

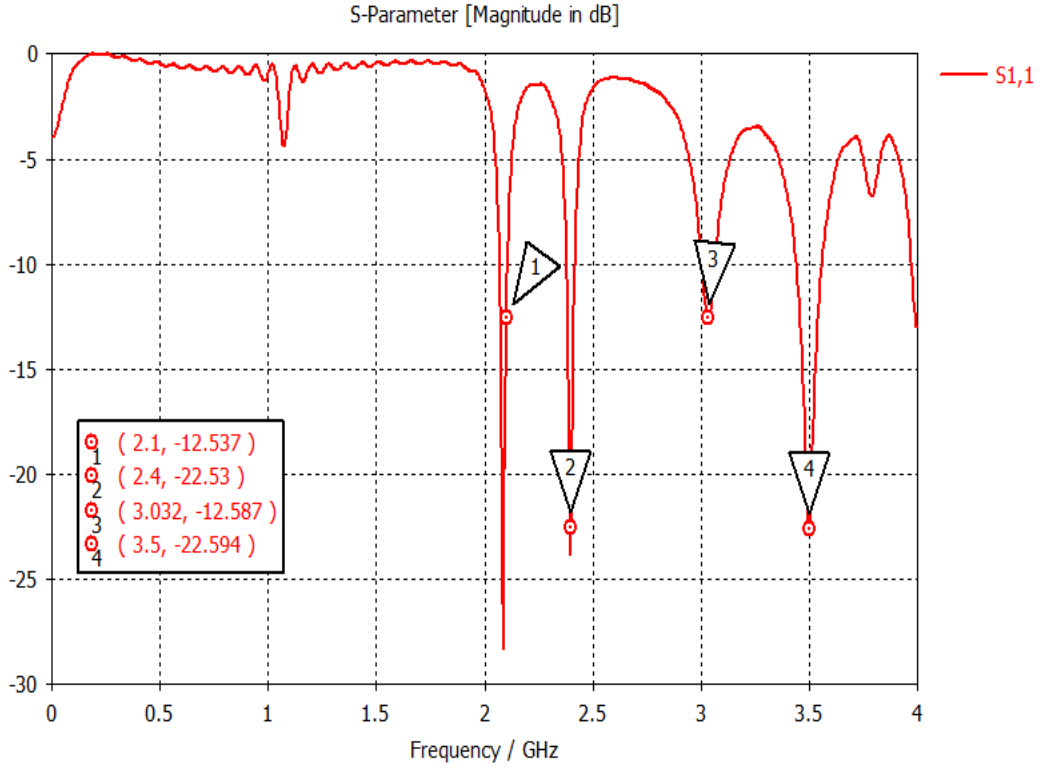


Şekil 6.9 Dokuzuncu analiz eşit slot atılmış antenin üstten görünümü.



Şekil 6.10 Dokuzuncu analiz eşit slot atılmış antenin S11 frekansa bağlı değişim grafiği.

- Antenimize slot attıktan sonra frekanslarımızda kaymalar mevcuttur. Bu kaymaları istediğimiz frekanslara getirebilmek için en uygun şekle sokma (optimizasyon) yöntemine başvuruyoruz. Optimizasyon, anteni en iyi hale getirmek için yapılan işlemlerdir (Rao, 1984).



Şekil 6.11 Optimizasyon yapılmış dört bantlı antenin S11 frekanslara bağlı değişim grafiği.

Dört bantlı rezonans frekanslarına ait;

- Geri dönüş kaybı,
- Bant genişliği,
- Maksimum anten kazançlarına ait tablolar Tablo 2 ve Tablo 3’de mevcuttur. Bu analizler hem $h=1.5$ hem de $h=2$ için yapılarak iki farklı substrate için gözlemler yapılmıştır.

Tablo 6.2 Dilektrik yüksekliği 1.5 mm olan anten.

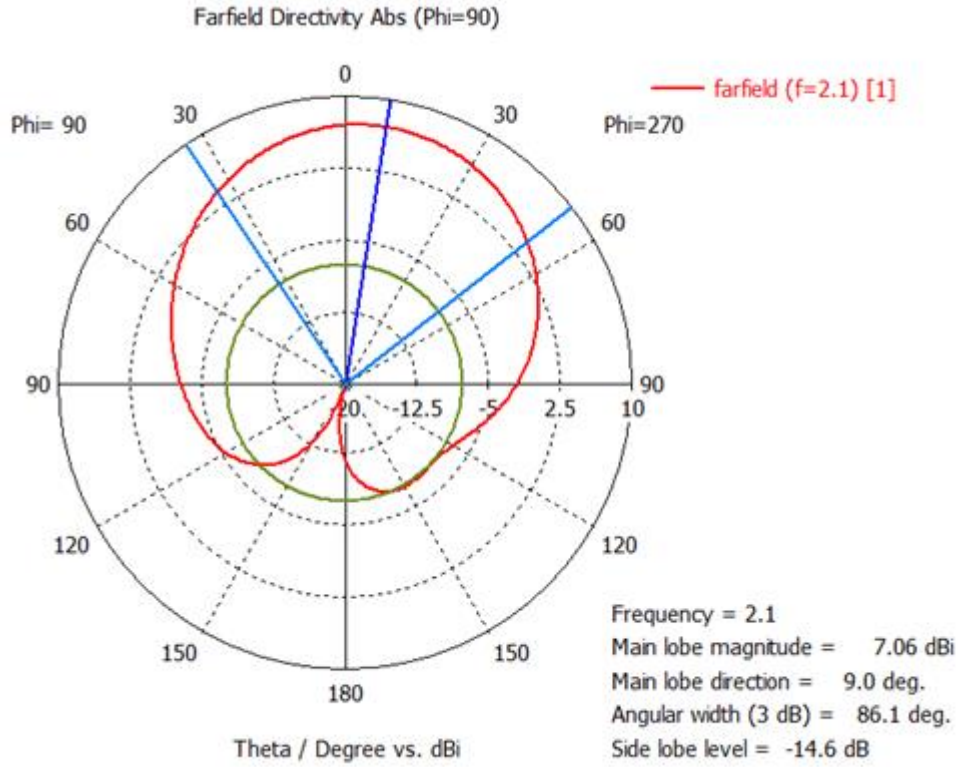
Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (dB) $h=1.5$ mm	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
2.1 GHz	-12.537	63.8	7.08
2.4 GHz	-22.53	38	5.39
3.5 GHz	-22.594	118.2	7.69

Tablo 6.3 Dielektrik yüksekliği 2 mm olan anten.

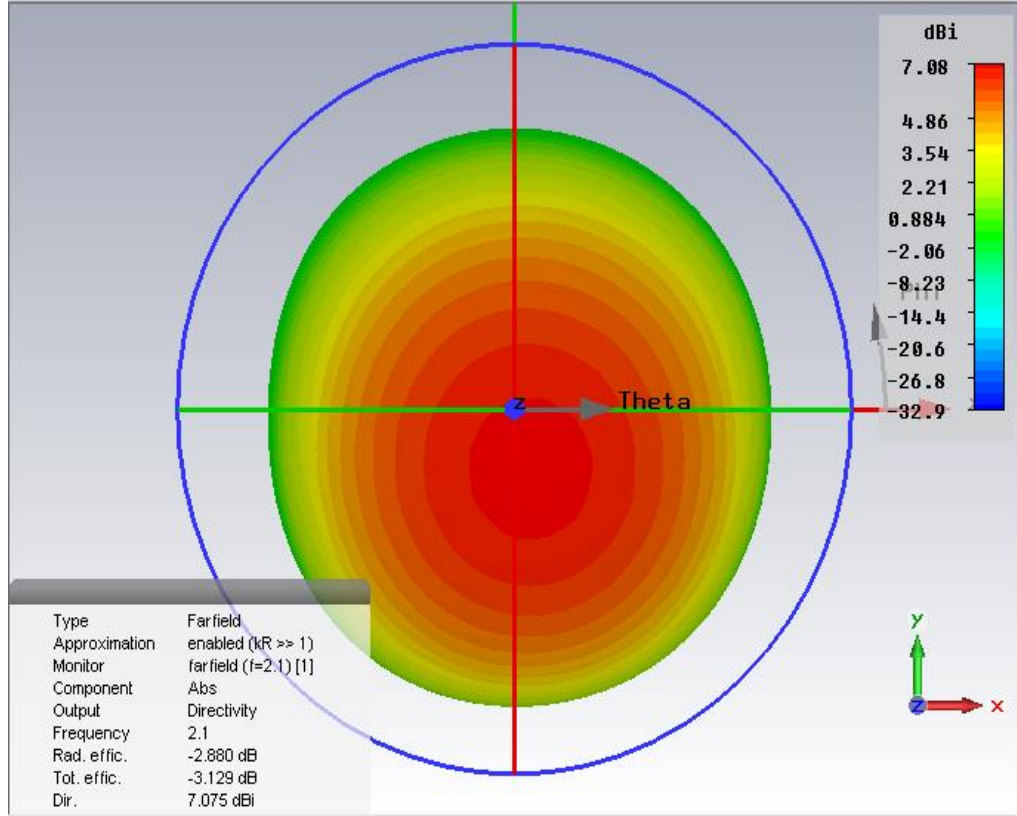
Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (dB) h=2 mm	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
2.1	-8.6868	-	-
2.4	-14.024	43.1	5.23
3.5	-14.016	149	7.68

- Aşağıda Tablo 2'ye ait analiz sonuçları daha iyi olduğu gözlemlendiğinden dolayı aşağıda Tablo 2'ye ait polar kazanç ve ışımaya yoğunluğu gösterilmektedir.

2.1 GHz İçin Grafikler;

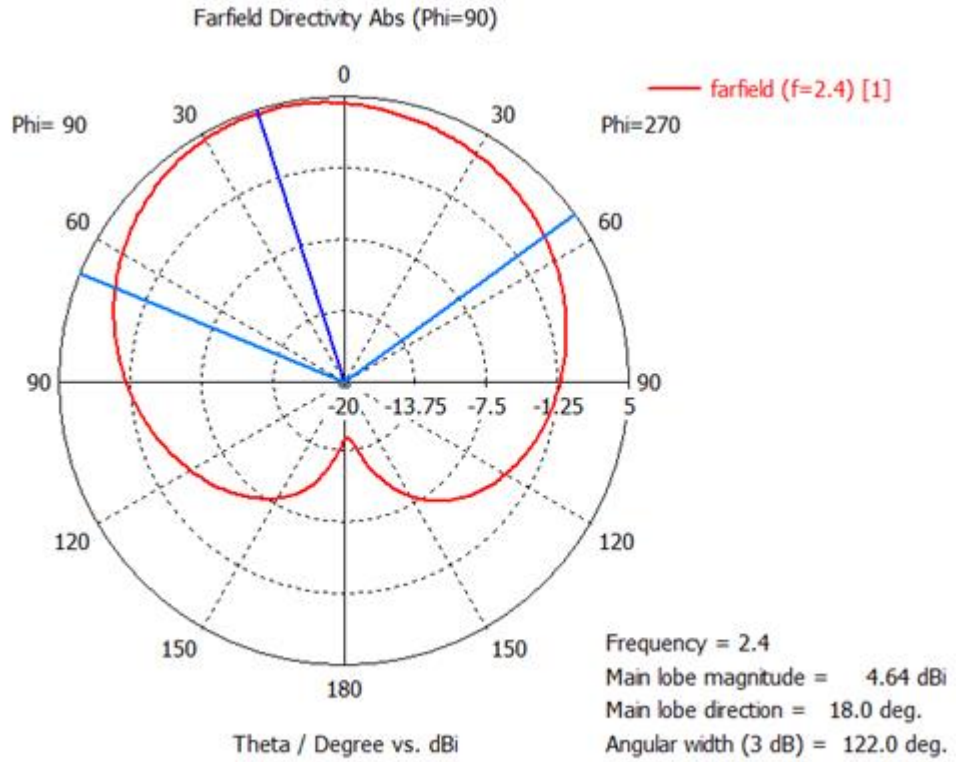


Şekil 6.12 2.1 GHz için polar kazanç grafiği.

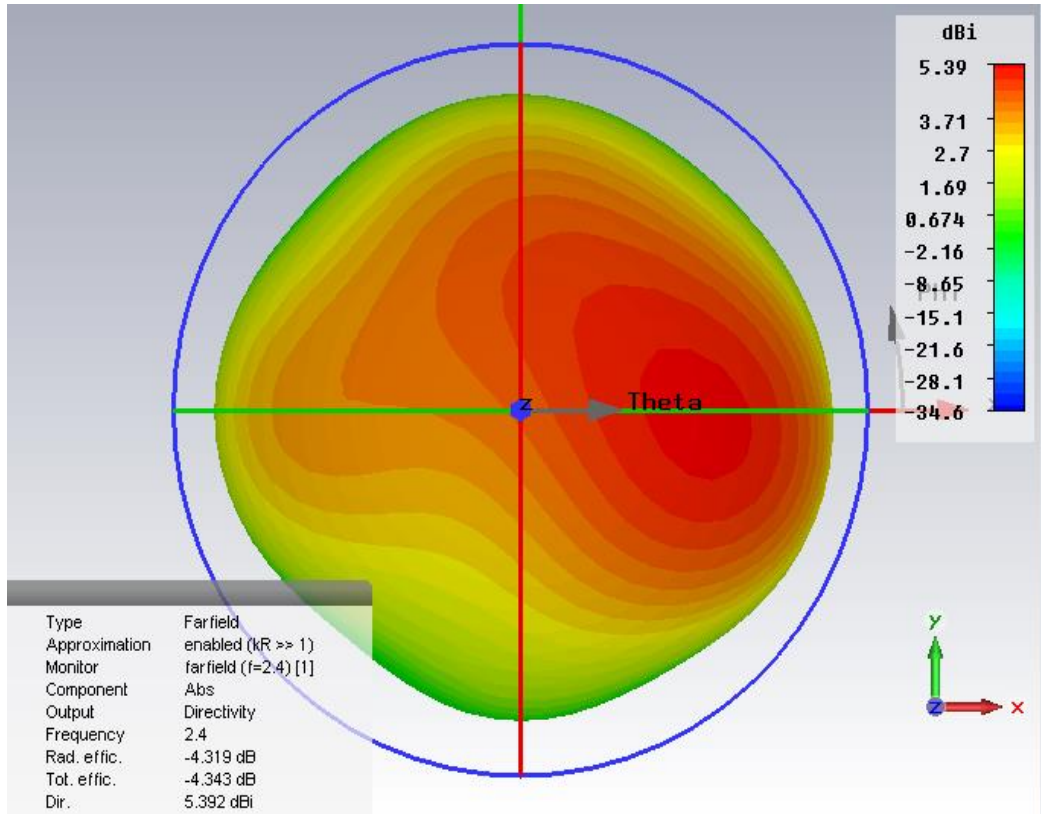


Şekil 6.13 2.1 GHz için akım yoğunluğu.

2.4 GHz İçin Grafikler;

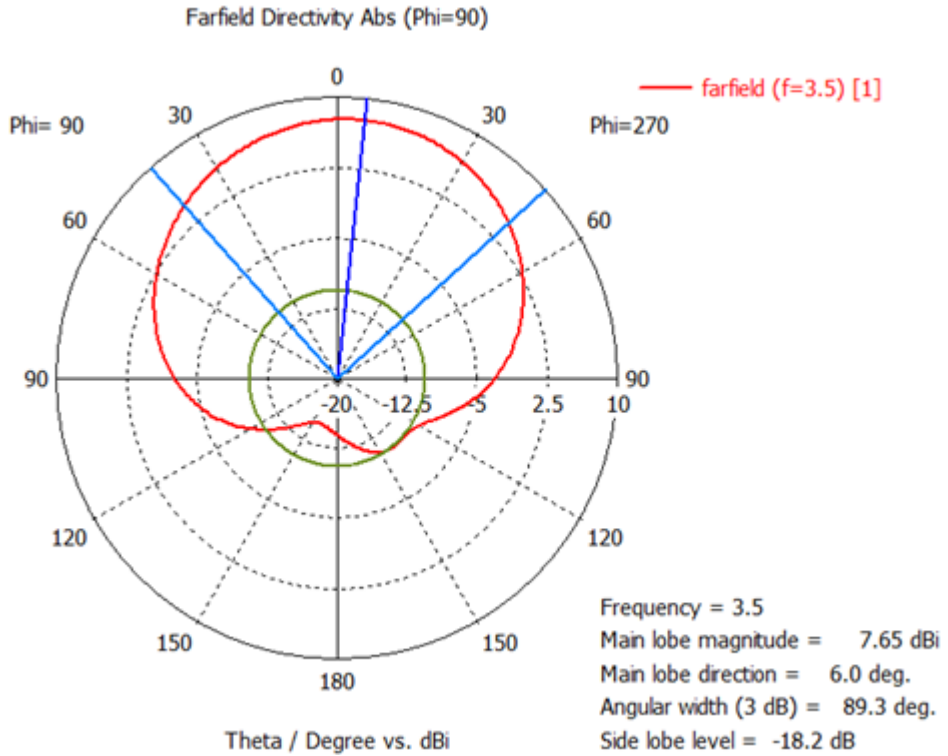


Şekil 6.14 2.4 GHz için polar kazanç grafiği.

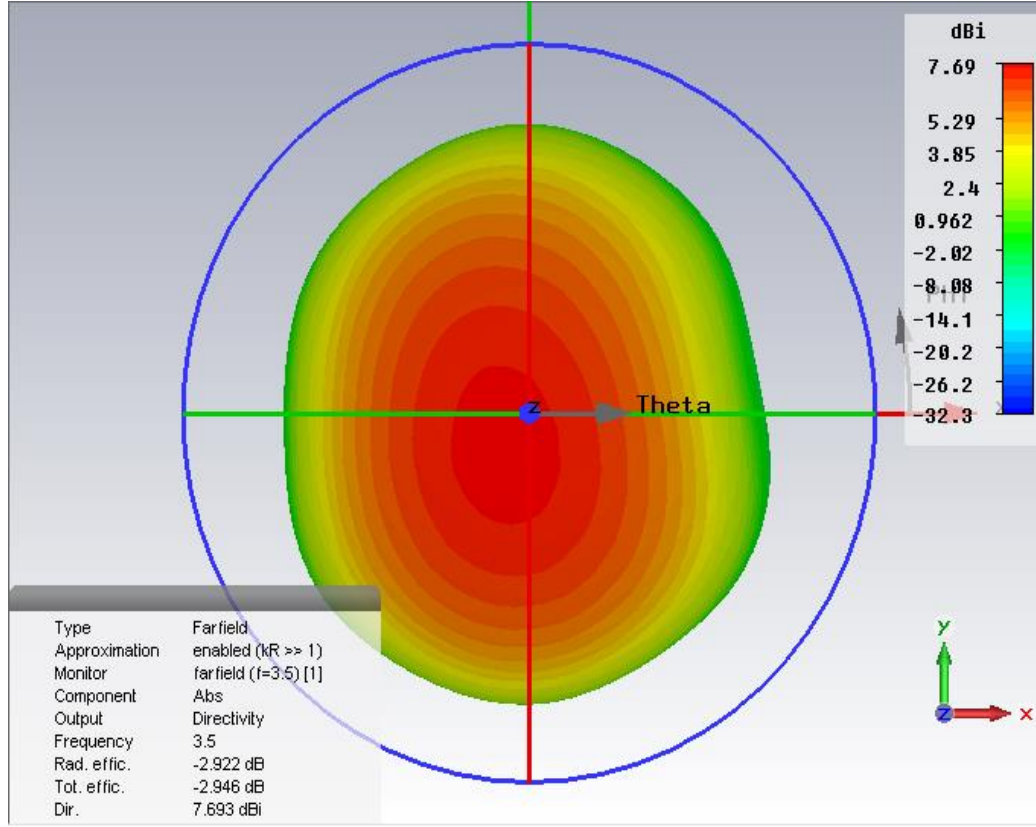


Şekil 6.15 2.4 GHz için ışıma yoğunluğu.

3.5 GHz İçin Grafikler;

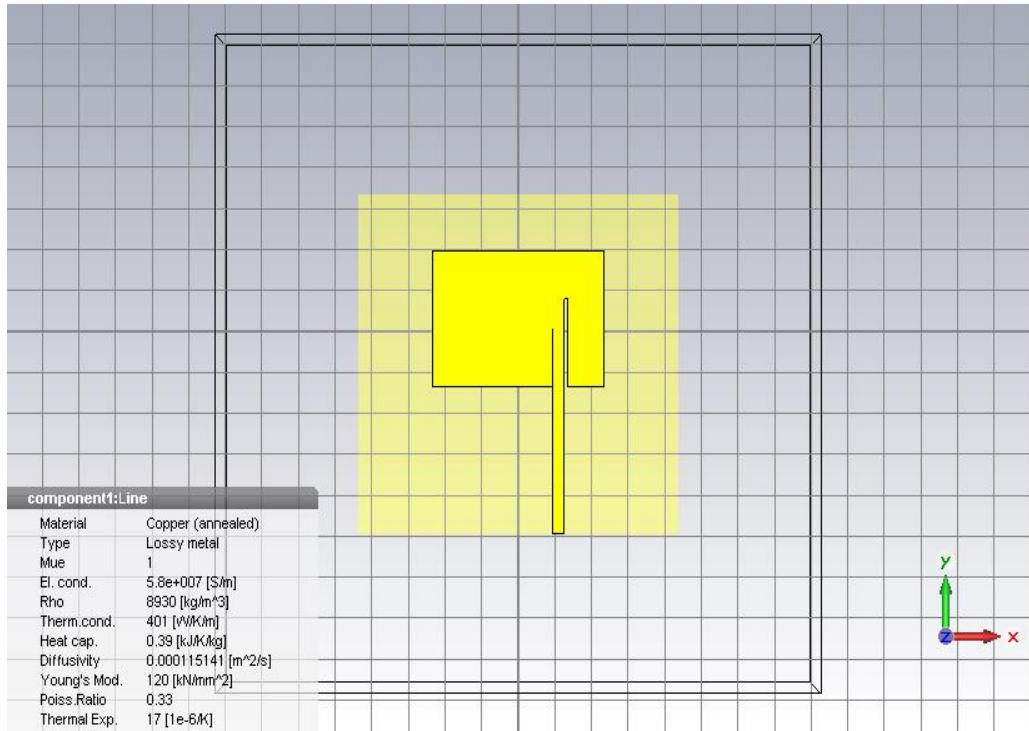


Şekil 6.16 3.5 GHz için polar kazanç grafiği.

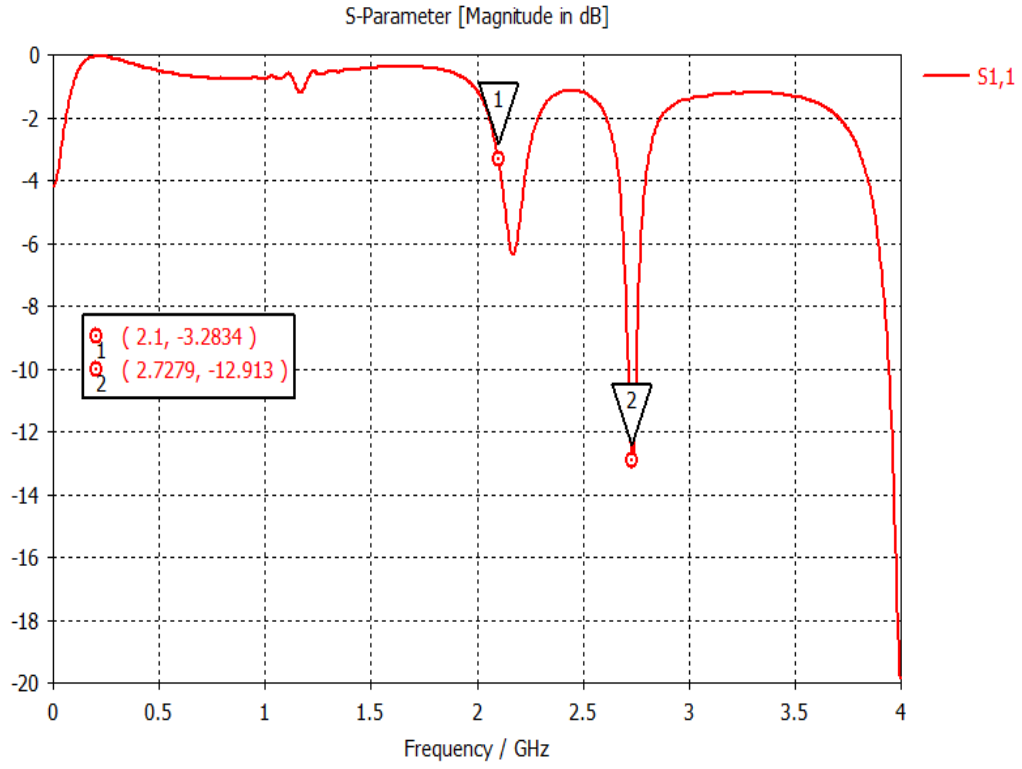


Şekil 6.17 3.5 GHz için ışıma yoğunluğu.

- Beslemeler eşit şekilde sağa ve sola kaydırılmıştır. Sağa kaydırılan beslemelerde yapılan analizde kendi istediğimiz hiçbir frekans elde edilememiştir.

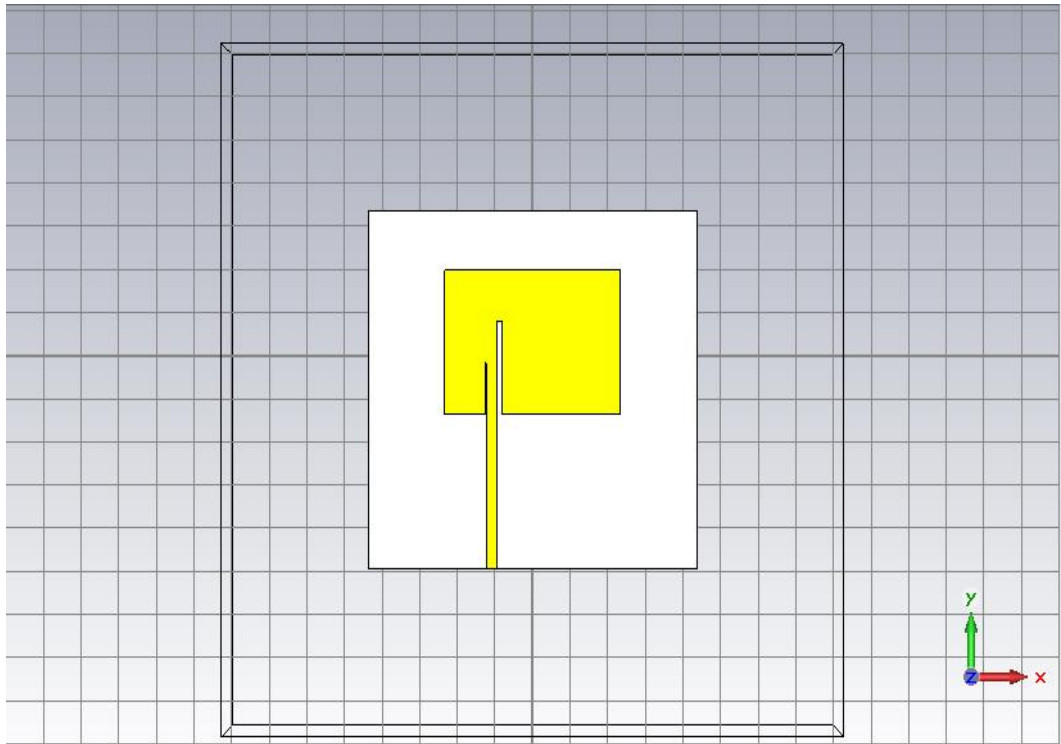


Şekil 6.18 Beslemesi sağa kaydırılan antenin üstten görünümü.

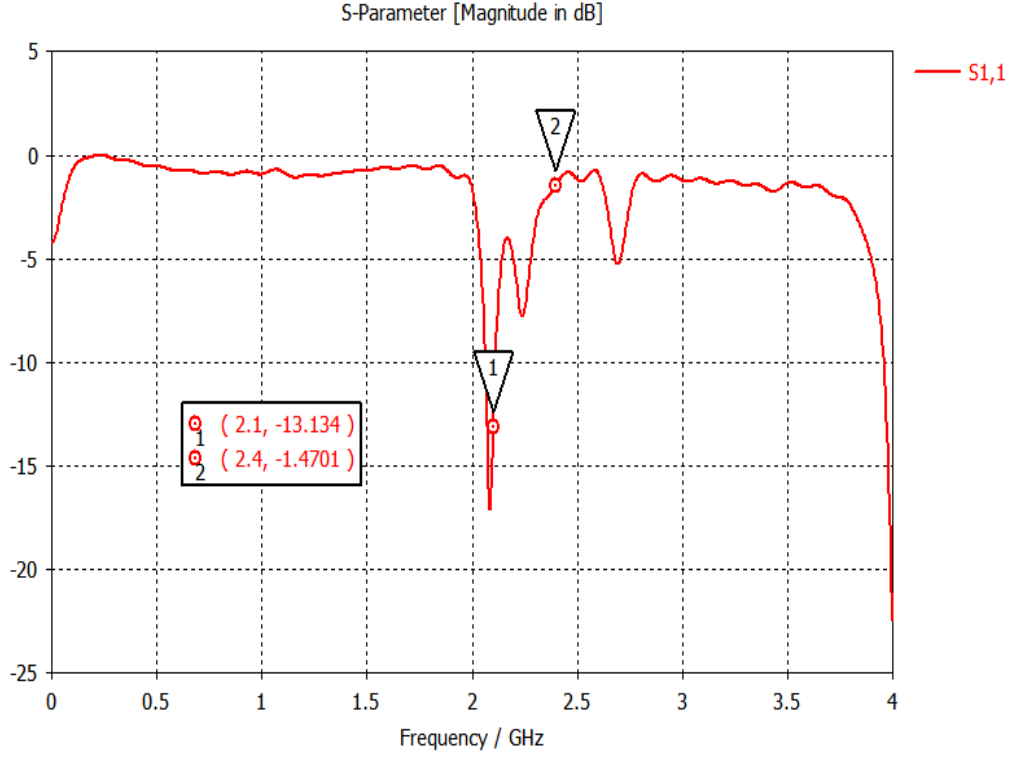


Şekil 6.19 Beslemesi sağa kaydırılan antenin S11 grafiği.

- Beslemesi sola kaydırılan antenin analizinde ise sadece 2.1 GHz’de anten elde edilmiştir.

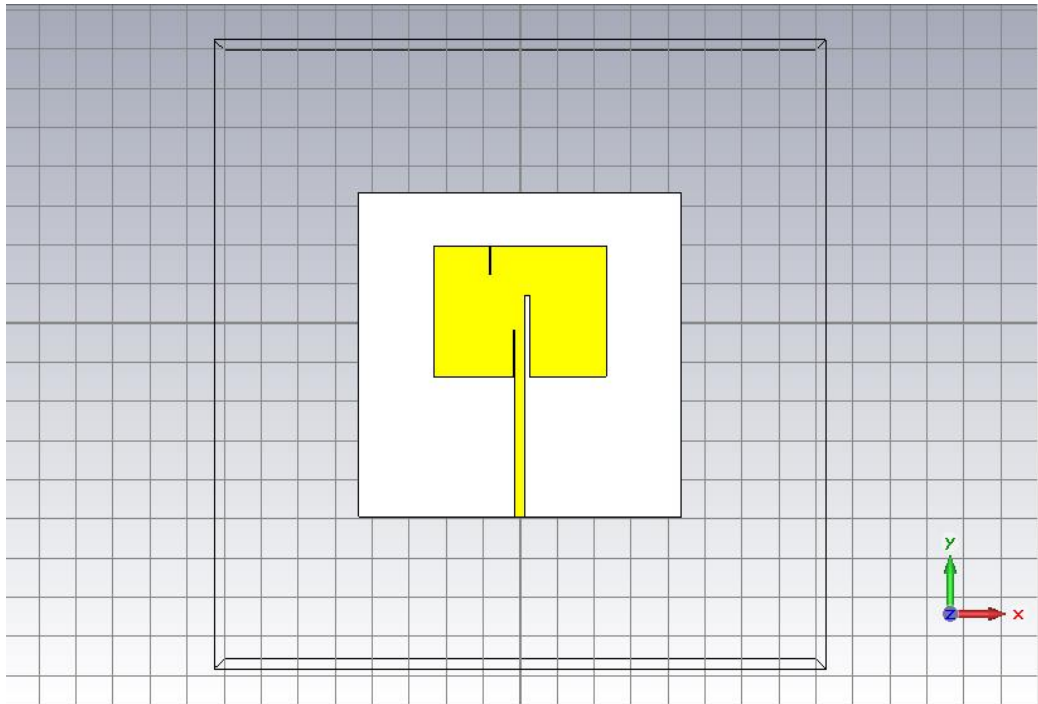


Şekil 6.20 Beslemesi sola kaydırılan antenin üstten görünümü.

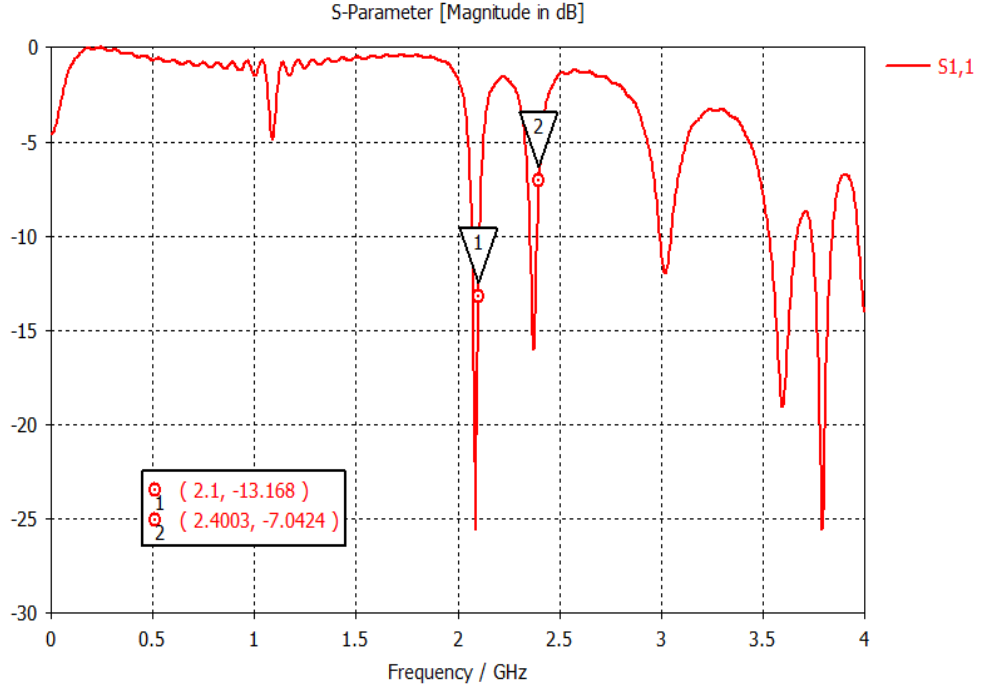


Şekil 6.21 Beslemesi sola kaydırılan antenin S11 frekanslara bağlı değişim grafiği.

Sonuç: Antenimizin substrate $h=2$ mm yapılmış istenilen sonuçlar elde edilmemiştir. Daha sonra yapılan işlemlerde beslemeler sağa ve sola kaydırılmış ve istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Bundan sonraki aşamalarımızda 2.6 GHz rezonans frekansında çalışabilir anten elde etmek için slotlar atılmıştır.



Şekil 6.22 Sol üst köşeye slot atılmış antenin üstten görünümü.



Şekil 6.23 Sol üst köşeye slot atılmış antenin S11 grafiği.

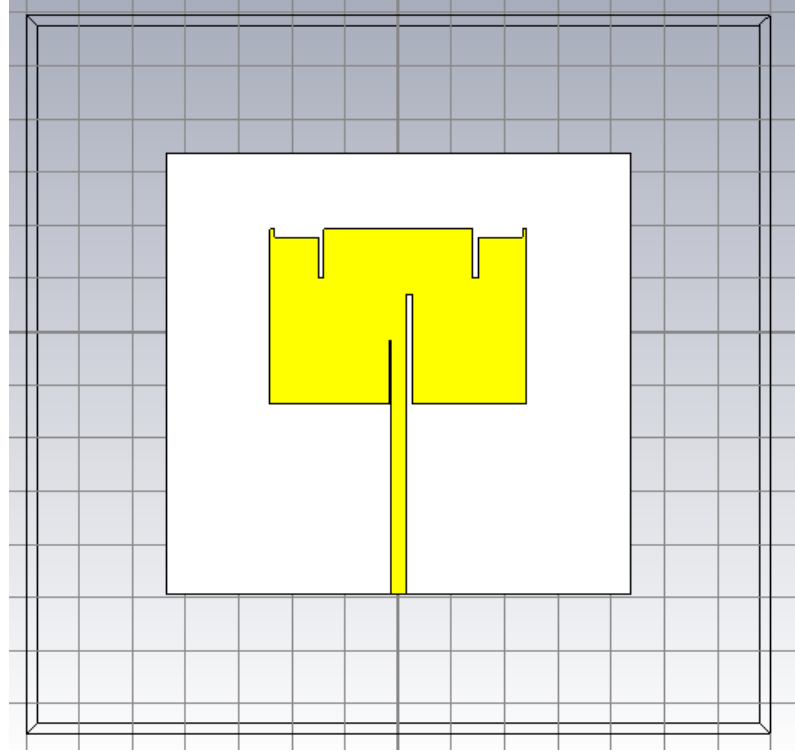
- Şekil 6.23’de görüldüğü gibi 4.0 GHz frekansında da rezonans yakalanmıştır. Bundan dolayı analizlerimiz 0-6 GHz arasında yapılmıştır. Yaptığımız çalışmalar sonucunda 2.6 GHz’de rezonans frekansı elde edebilmek için patch in üst kısmına simetrik ve asimetrik slotlar atılmıştır. Slotların genişliği 1mm olup uzunluğu 9.74 mm dir. Asimetrik slotlar ile 2.6 GHz de rezonans elde edilememiş ve simetrik slotlar ile 2.6 GHz’de rezonans elde edilmiştir. Buna bağlı olarak 2.1 GHz ve 2.4 GHz’de ki antenlerimiz de rezonanslar kaymıştır. Antenimizi üst kısmına çift kulak atılarak 2.4 GHz’de rezonans tekrar elde edilmiştir. Ayrıca W değerimiz 2.25 mm rezonans değerlerimiz istenilen frekanslara kaydırılmıştır. Şekil 5.20’de antenimizin son hali mevcuttur.
- Antenimizin h=1.5 mm iken h=2 mm yapılarak bant genişlikleri arttırılmıştır. Buna göre 2.4 GHz’de 2.9 MHz, 2.6 GHz de 3.6 MHz arttırılmıştır. Fakat 3.5 GHz’de 4.2 MHz azalmış 5.0 GHz de 0.7 MHz azalmıştır bundan dolayı h=1.5 mm alınmıştır. Sebebi de bant genişliklerini çok az arttırmış ve rezonans frekanslarının bazılarını azaltmıştır. Bunlara ait Tablo 6.4’de mevcuttur.

Tablo 6.4 Dört bantlı dielektrik yüksekliği 1.5 mm olan anten.

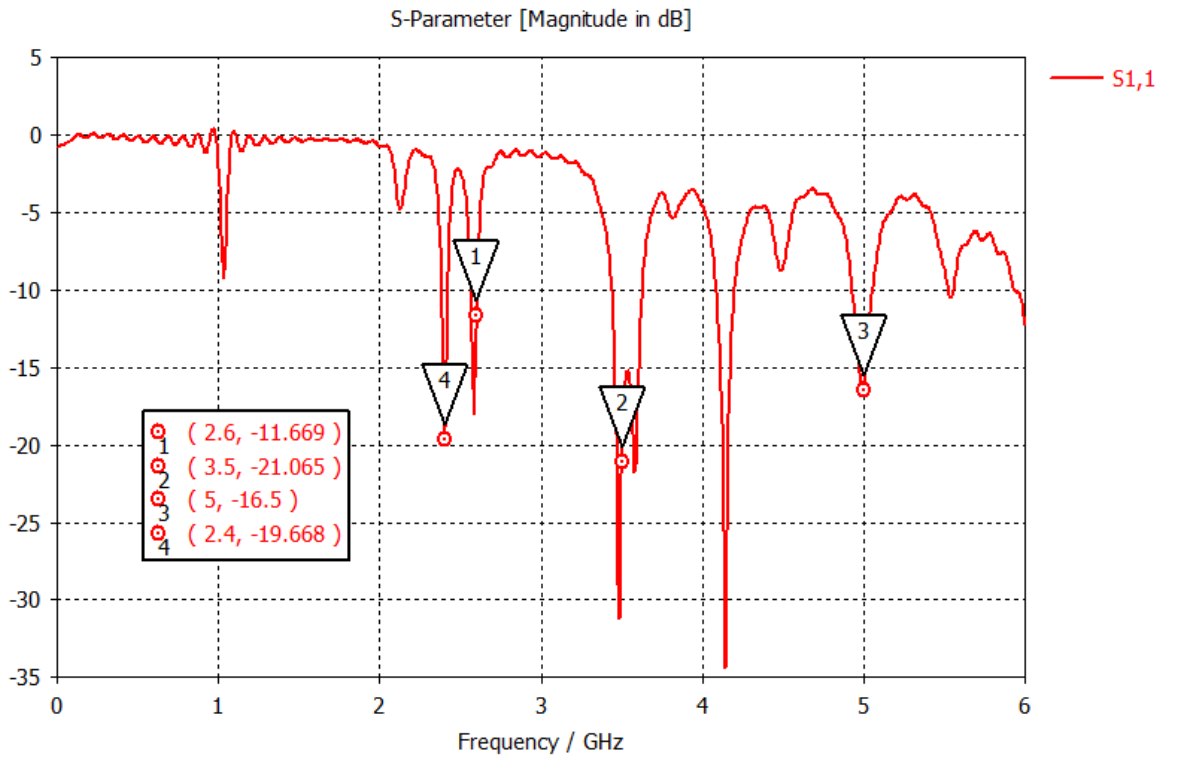
Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) h=1.5mm	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
s	-19.688	37	5.31
2.6	-11.669	67.7	5.91
3.5	-21.065	189	5.77
5.0	-16.5	124	6.94

Tablo 6.5 Dört bantlı dielektrik yüksekliği 2 mm olan anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) h=2 mm	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
2.4	-22.66	39.9	5.31
2.6	-16.604	71.3	6.03
3.5	-21.575	185.8	7.59
5.0	-13.602	123.3	7.06

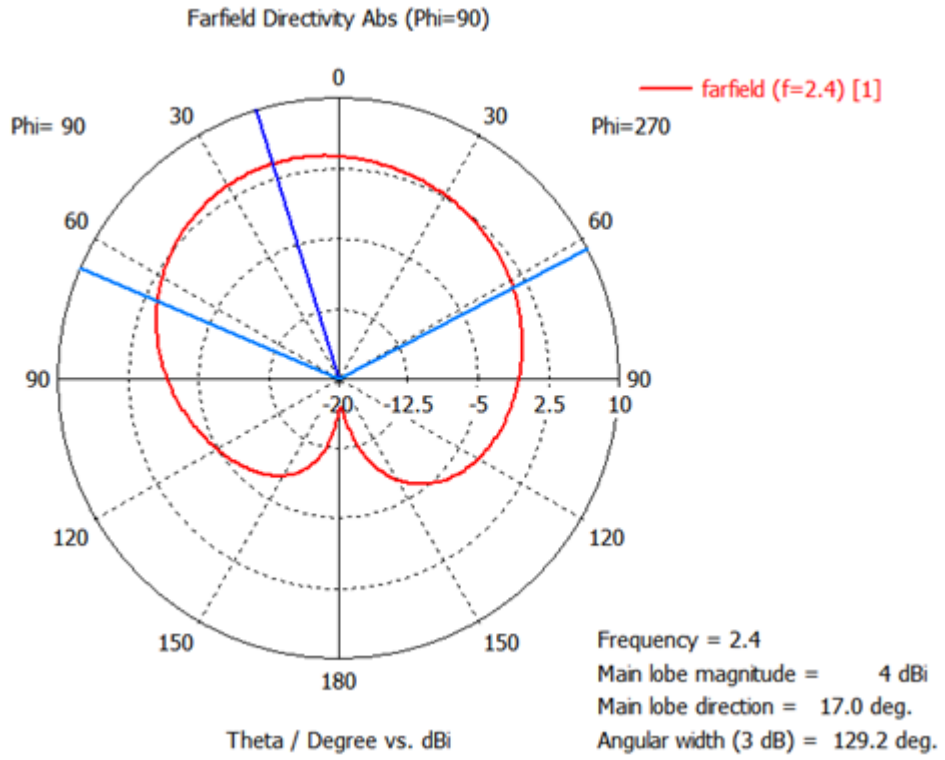


Şekil 6.24 Optimizasyon ve yarıkları (slotları) tamamlanan antenin son halinin üstten görünümü.

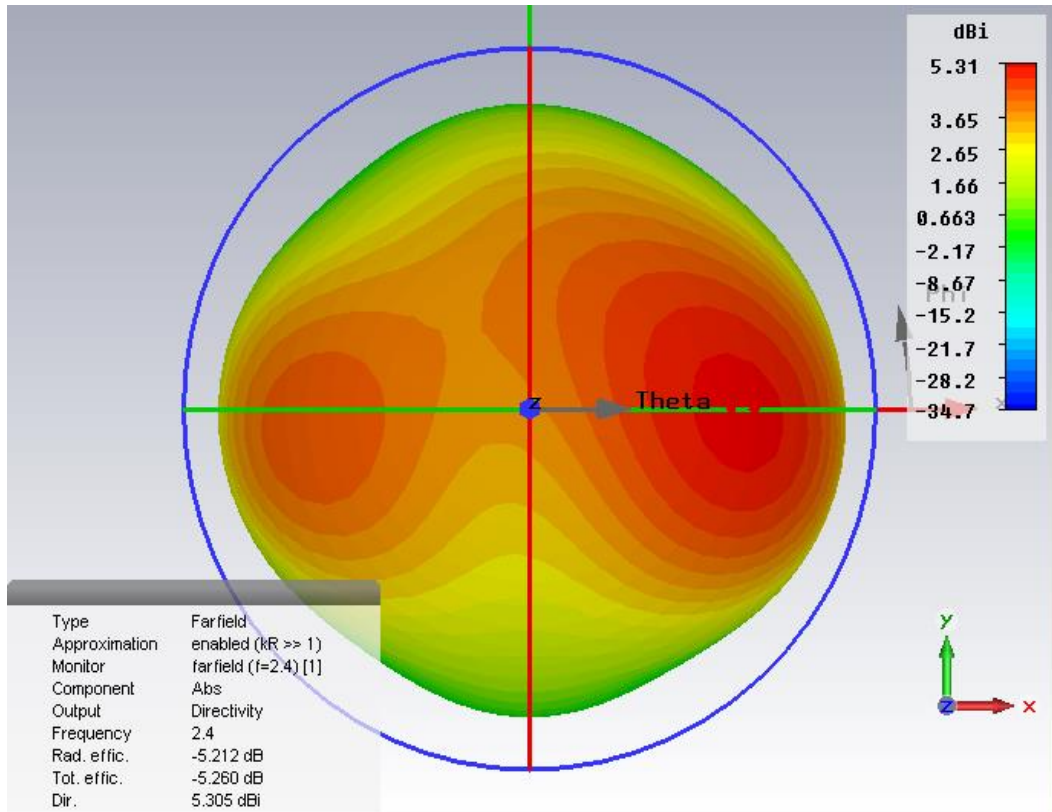


Şekil 6.25 Optimizasyon ve slotları tamamlanan antenin S11 frekanslara bağlı değişim grafiği.

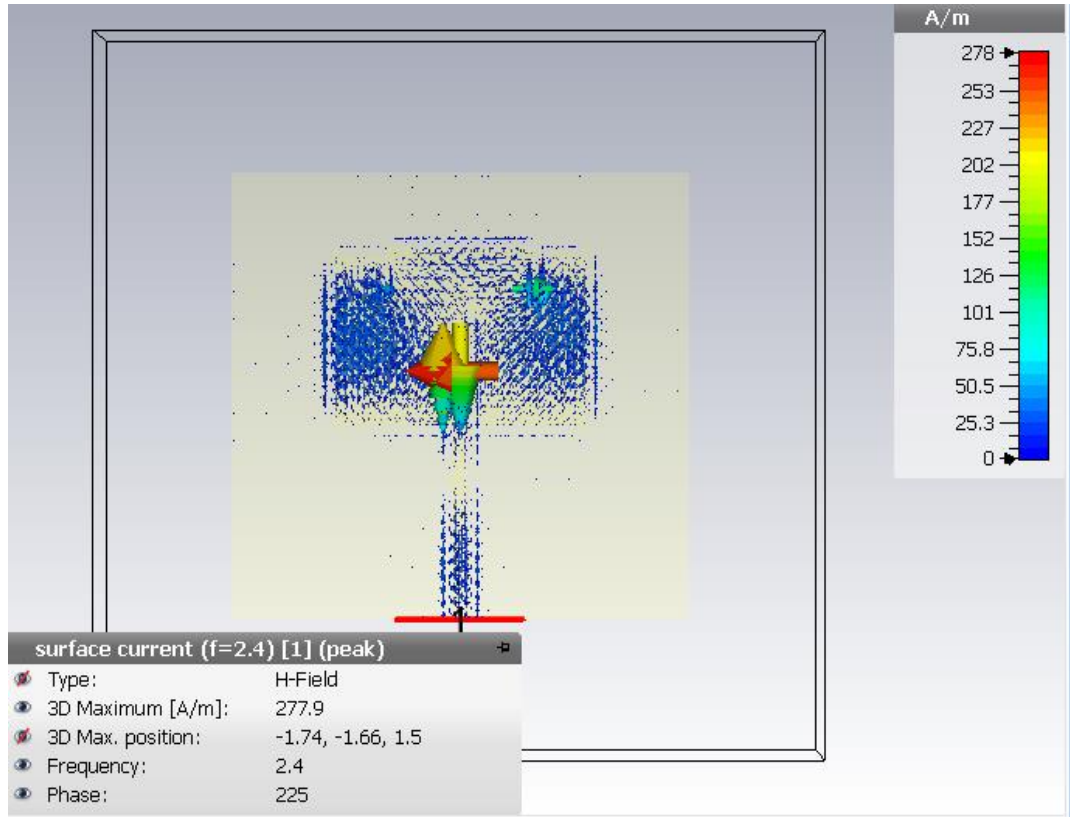
2.4 Gzh için;



Şekil 6.26 2.4 GHz için polar kazanç grafiği.

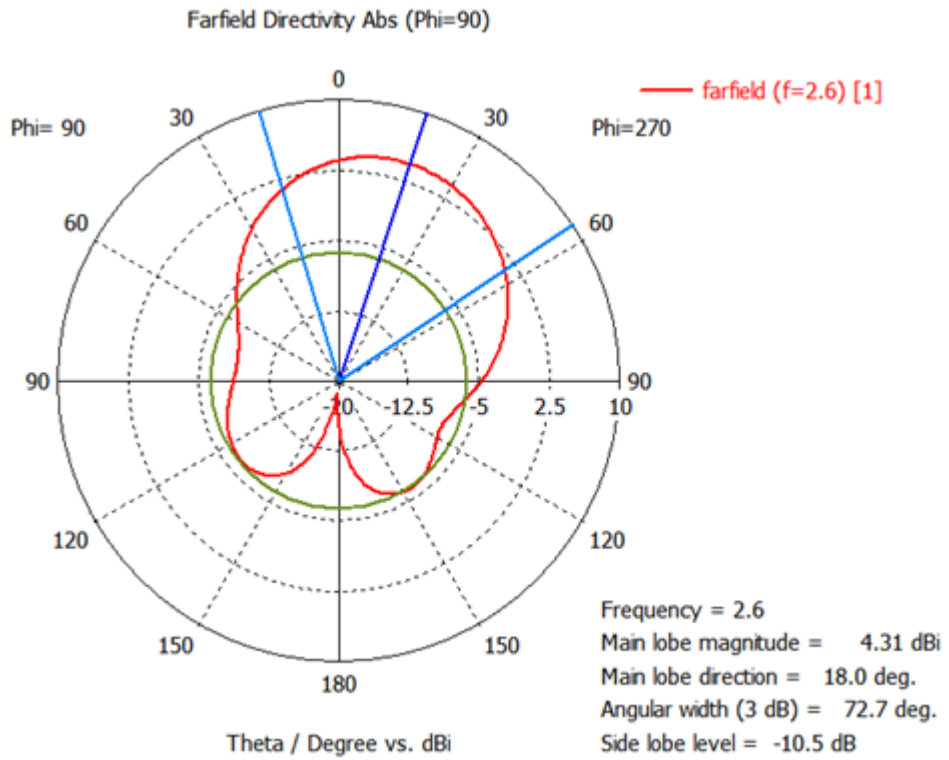


Şekil 6.27 2.4 GHz için ışınma yoğunluğu.

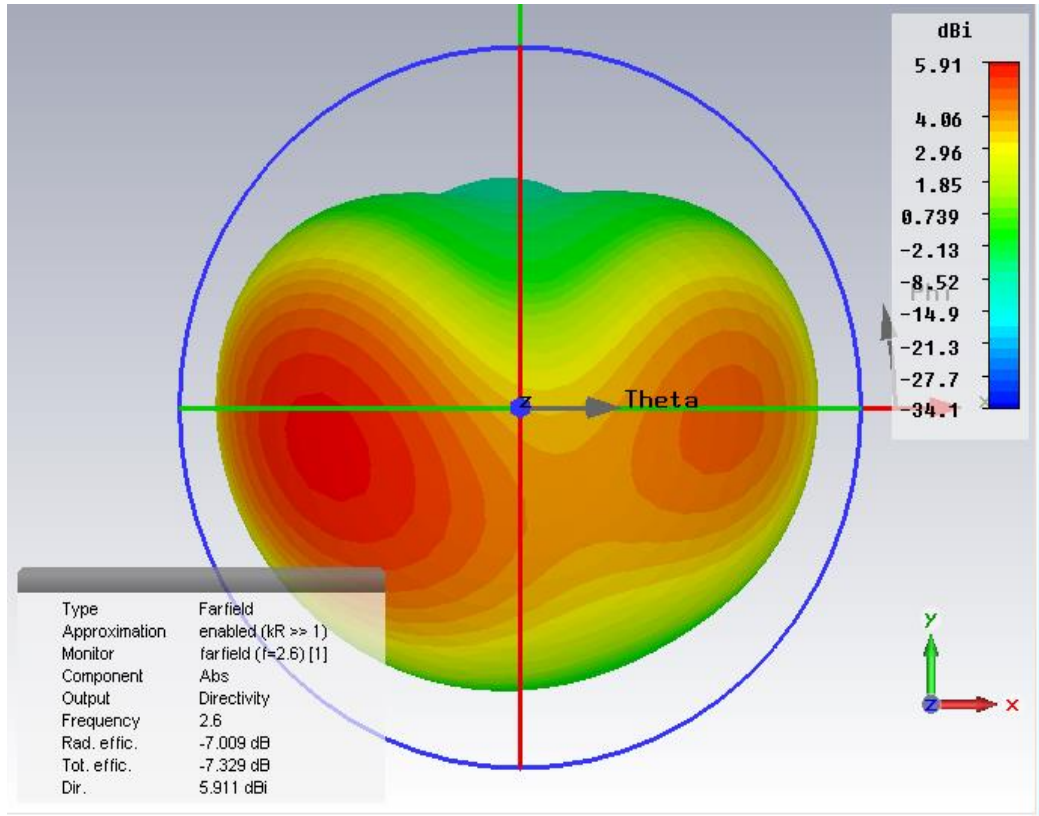


Şekil 6.28 2.4 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.

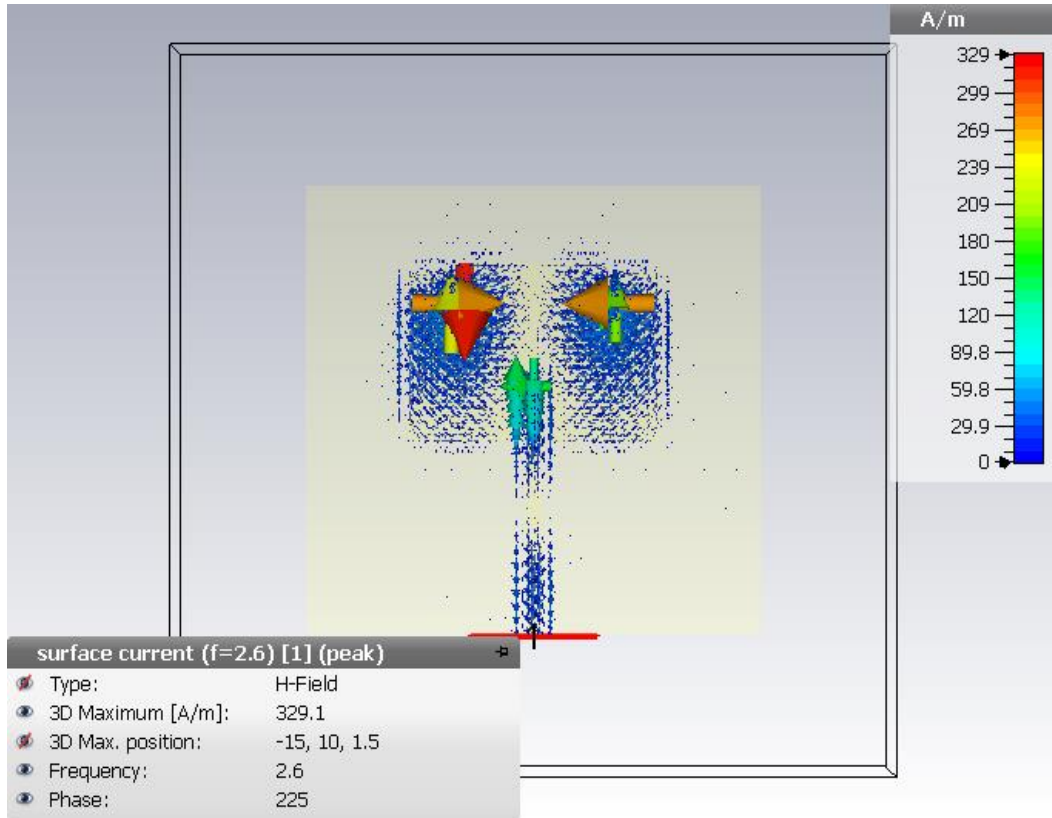
2.6 GHz İçin



Şekil 6.29 2.6 GHz polar kazanç grafiği.

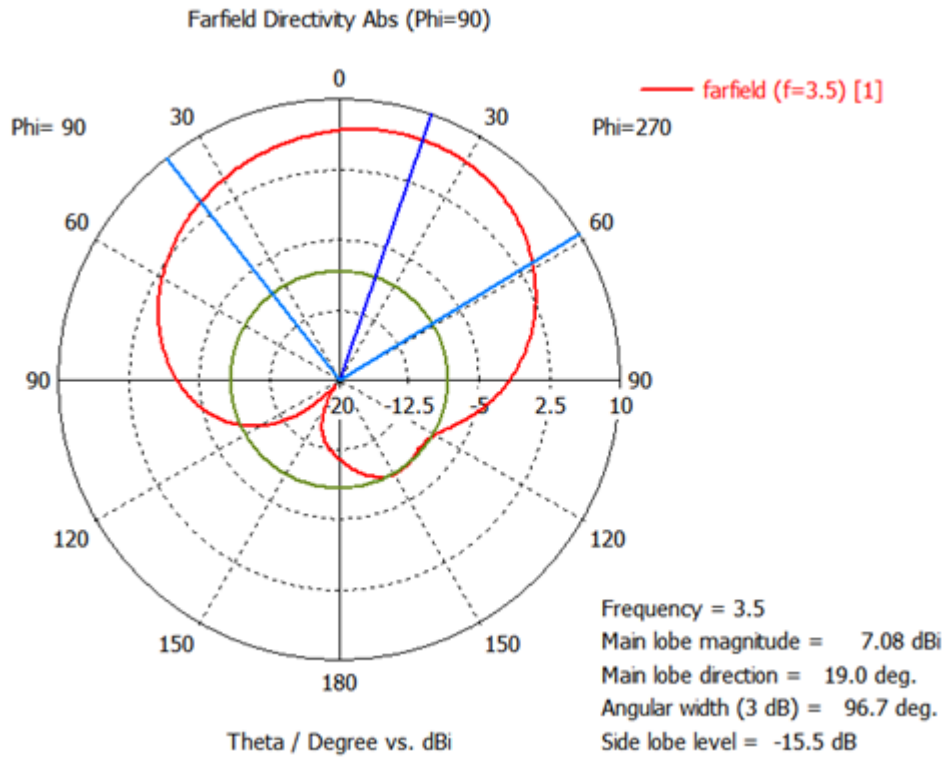


Şekil 6.30 2.6 GHz için ışıma yoğunluğu.

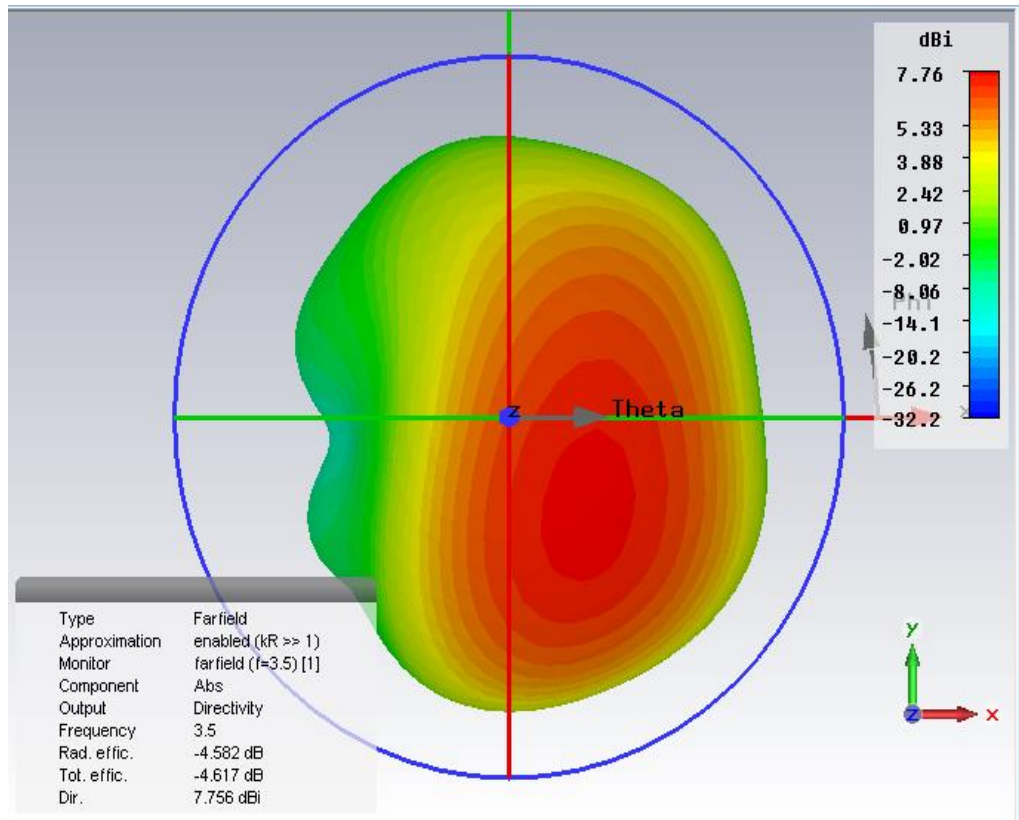


Şekil 6.31 2.6 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.

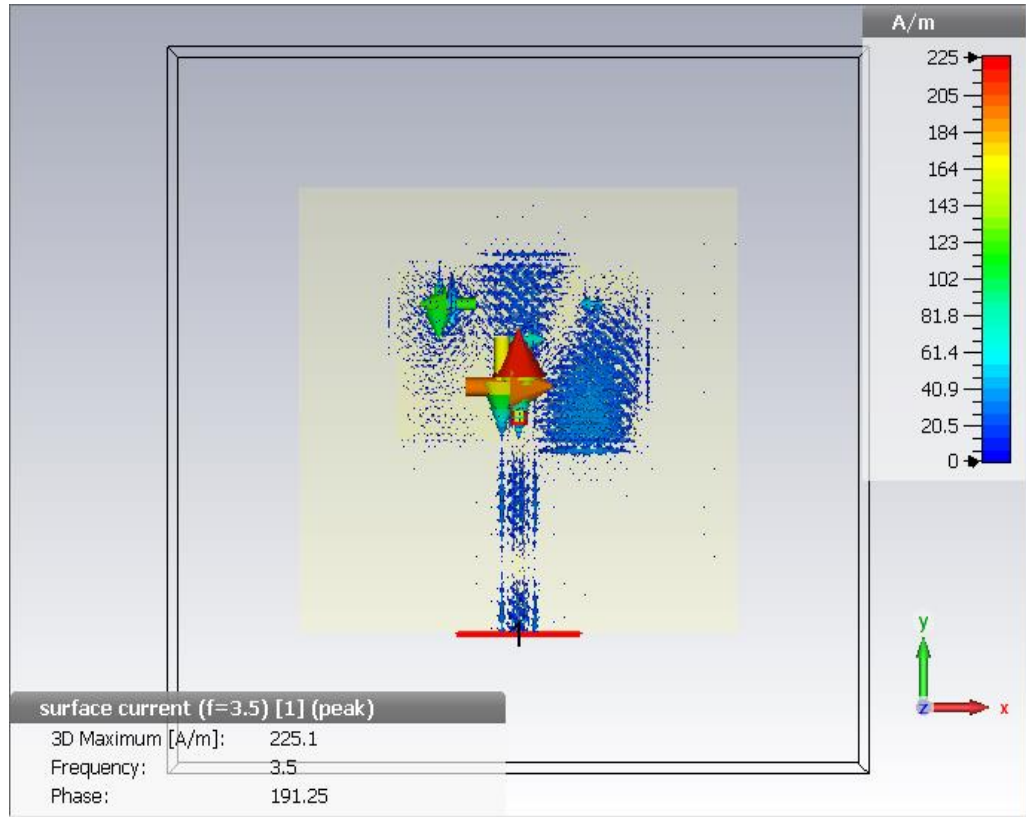
3.5 GHz için ;



Şekil 6.32 3.5 GHz için polar kazanç grafiği.

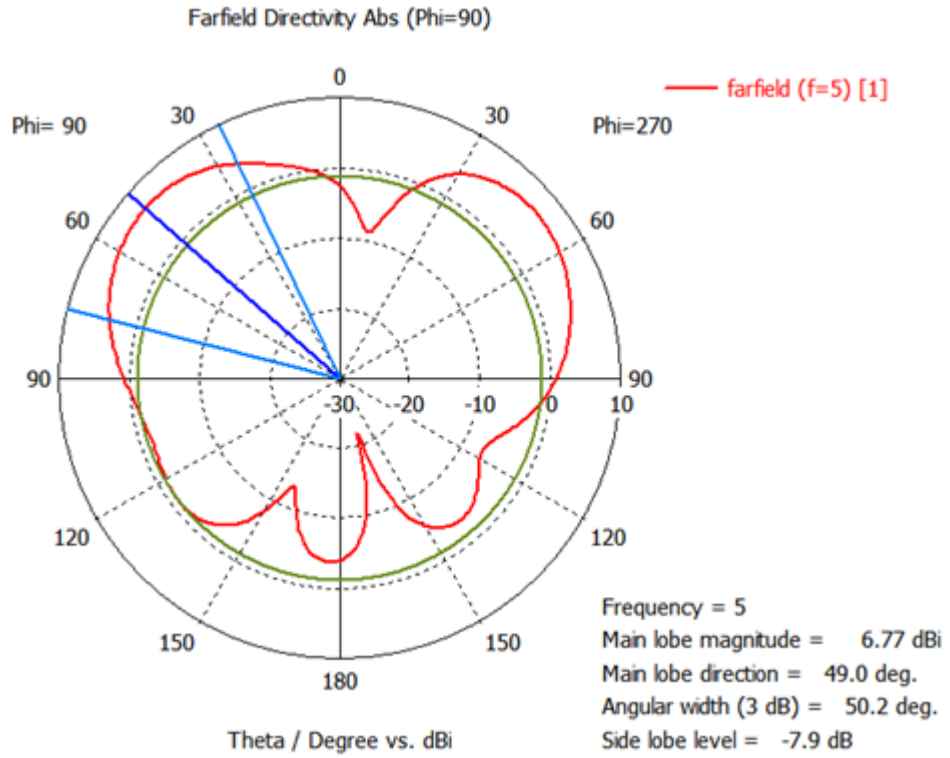


Şekil 6.33 3.5 GHz için ışıma yoğunluğu.

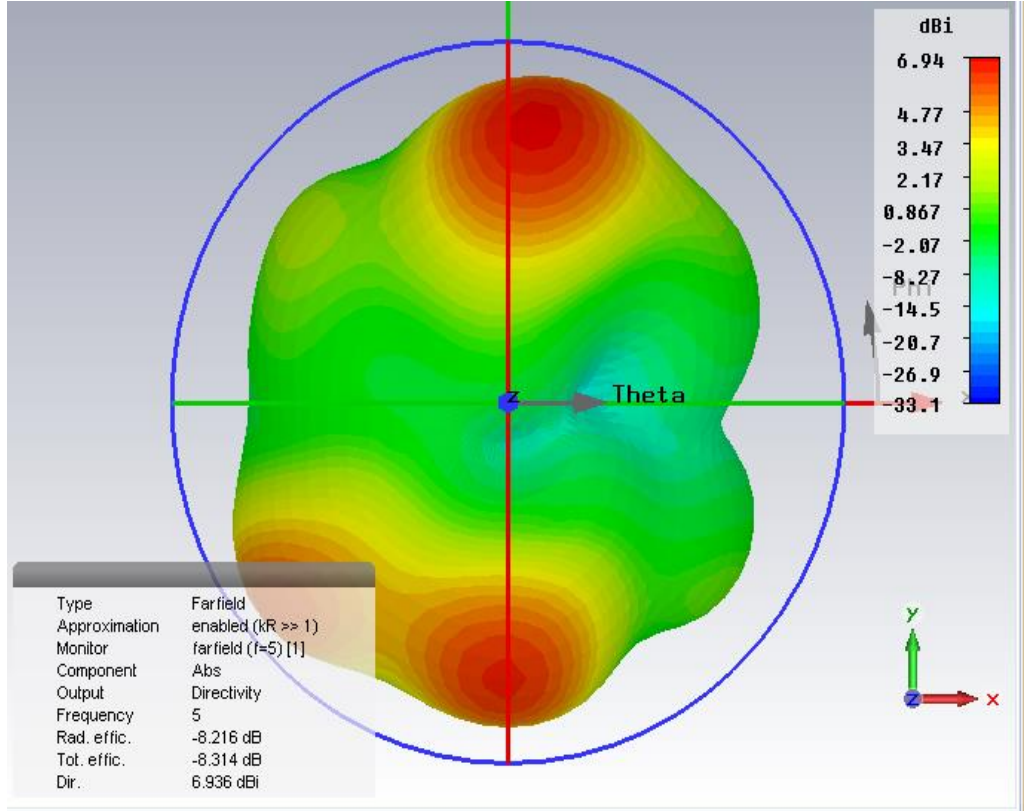


Şekil 6.34 3.5 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.

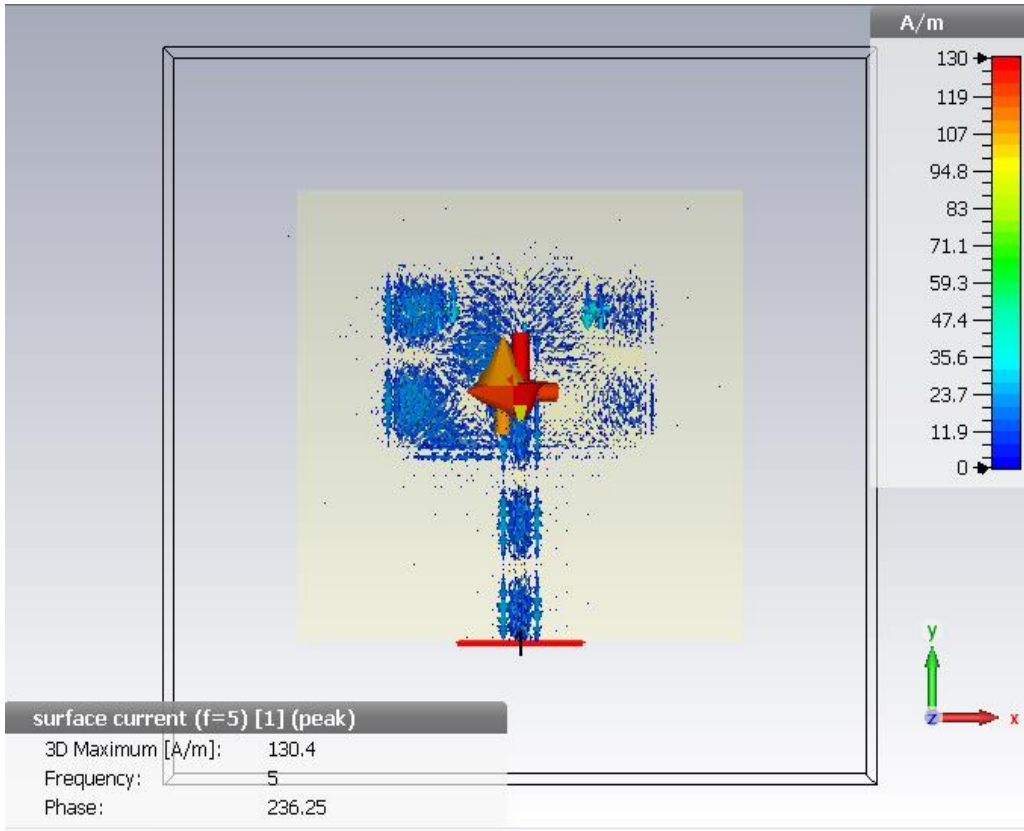
5.0 GHz için;



Şekil 6.35 5.0 GHz için polar kazanç grafiği.



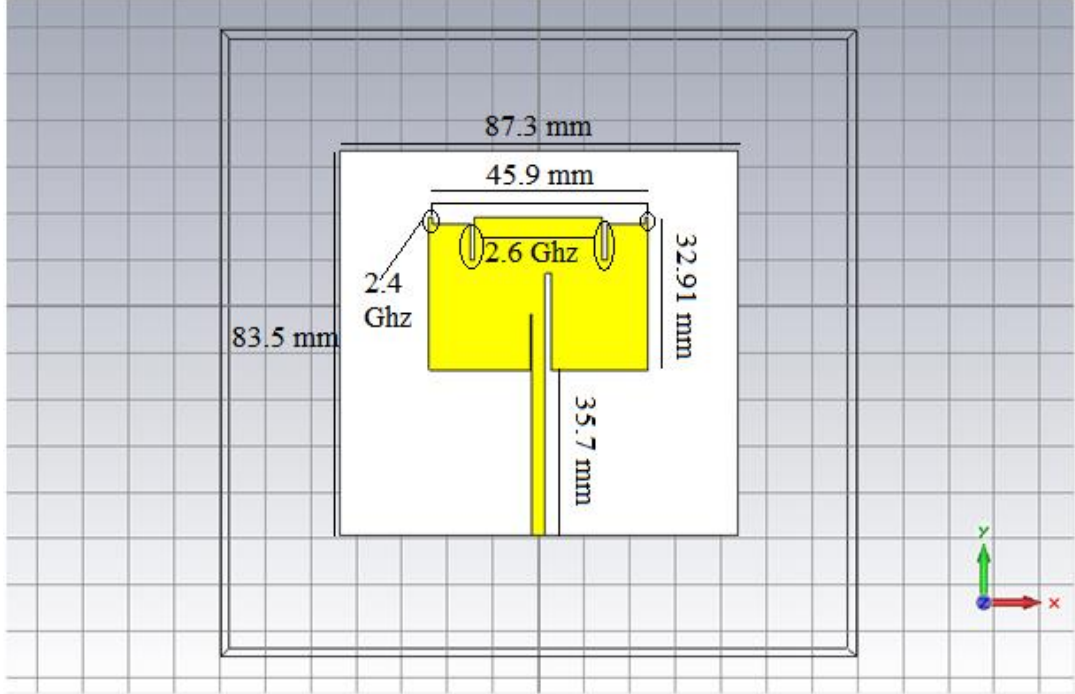
Şekil 6.36 5.0 GHz için ışıma yoğunluğu.



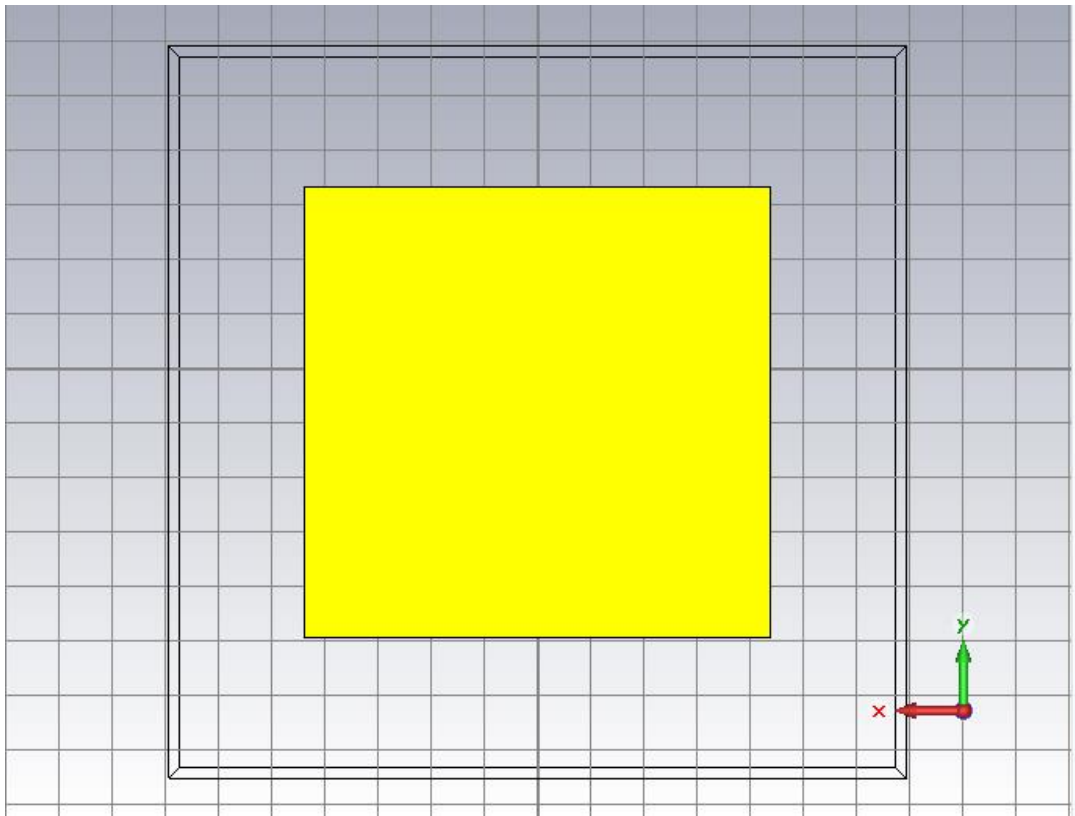
Şekil 6.37 5.0 GHz Antenin akım yoğunluk grafiği.

6.1.2. Ground' a Slot Atılması

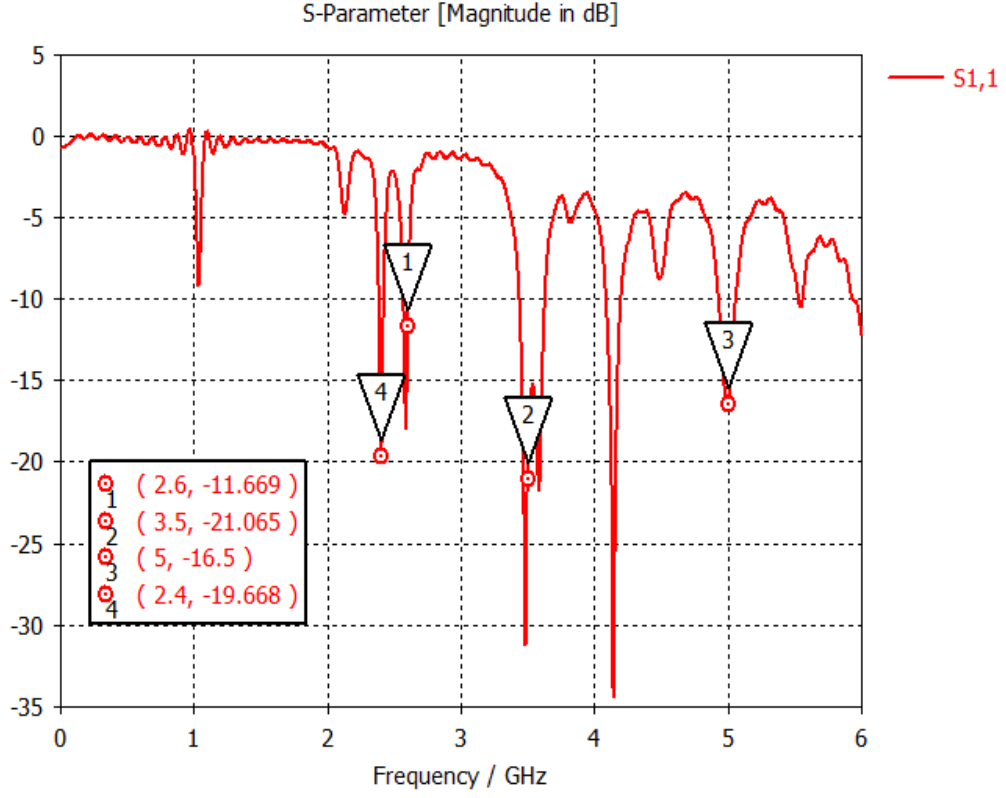
Antenimizin Ground'a slot atılmadan önce üstten ve alttan görünümü, S11 frekansa bağlı değişimi, geri dönüş kaybı, bant genişliği ve kazanç değerleri tablosu ektedir.



Şekil 6.38 Antenin son halinin üstten görünümü.



Şekil 6.39 Antenin son halinin alttan görünümü.



Şekil 6.40 S11 frekansa bağlı değişimi

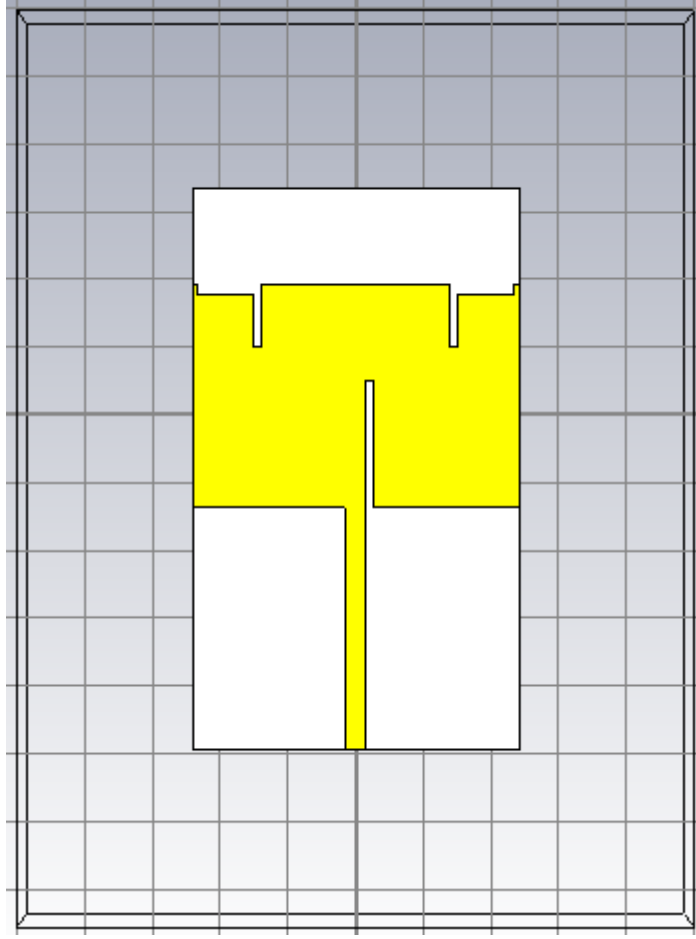
Tablo 6.6 Referans alınan antenin analiz tablosu.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (dB) h=2 mm	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
2.4	-19.688	37	5.31
2.6	-11.669	67.7	5.91
3.5	-21.065	189	5.77
5.0	-16.5	124	6.94

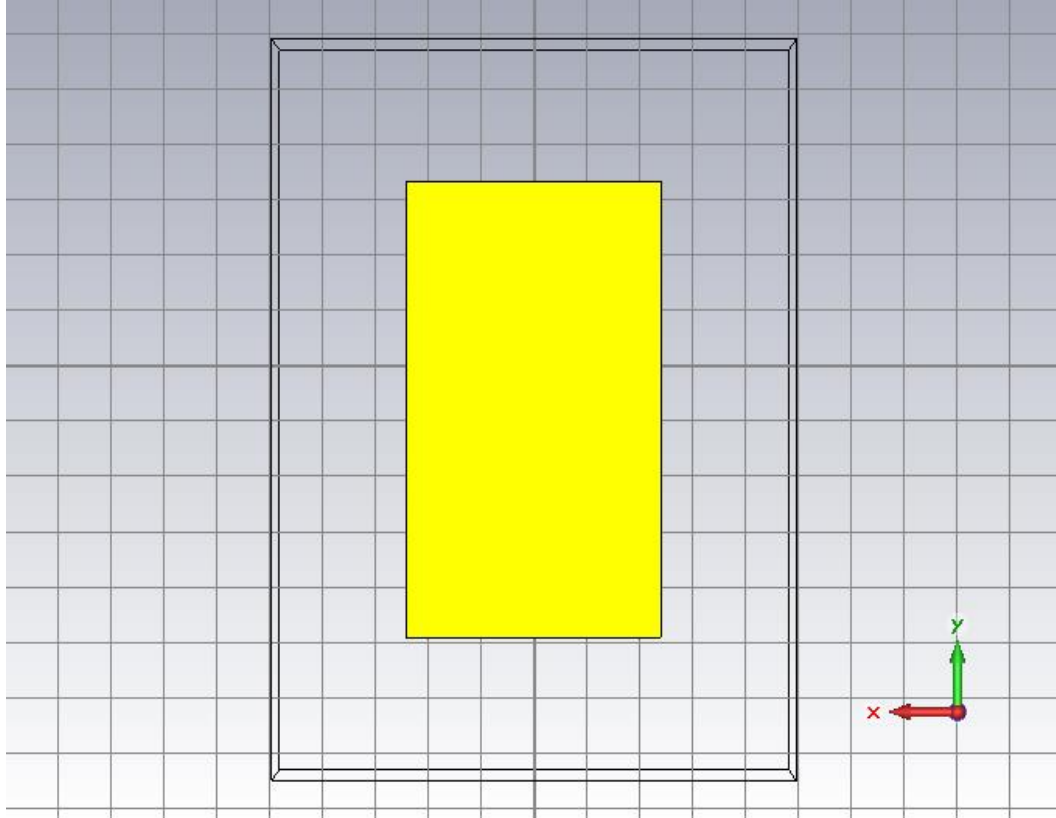
Antenimizin bant genişliğini arttırmak için ground (toprak)'a slotlar atılmıştır. Ground'a atılan slotlar temel rezonans frekansını düşürücü etki gösterebilmektedir. Bunun yanında bant genişliğini de arttırmaktadır (Chiou ve Wong, 2001).

Antenimizin bant genişliğini arttırmak için yapılan işlemler sırasıyla şu şekildedir;

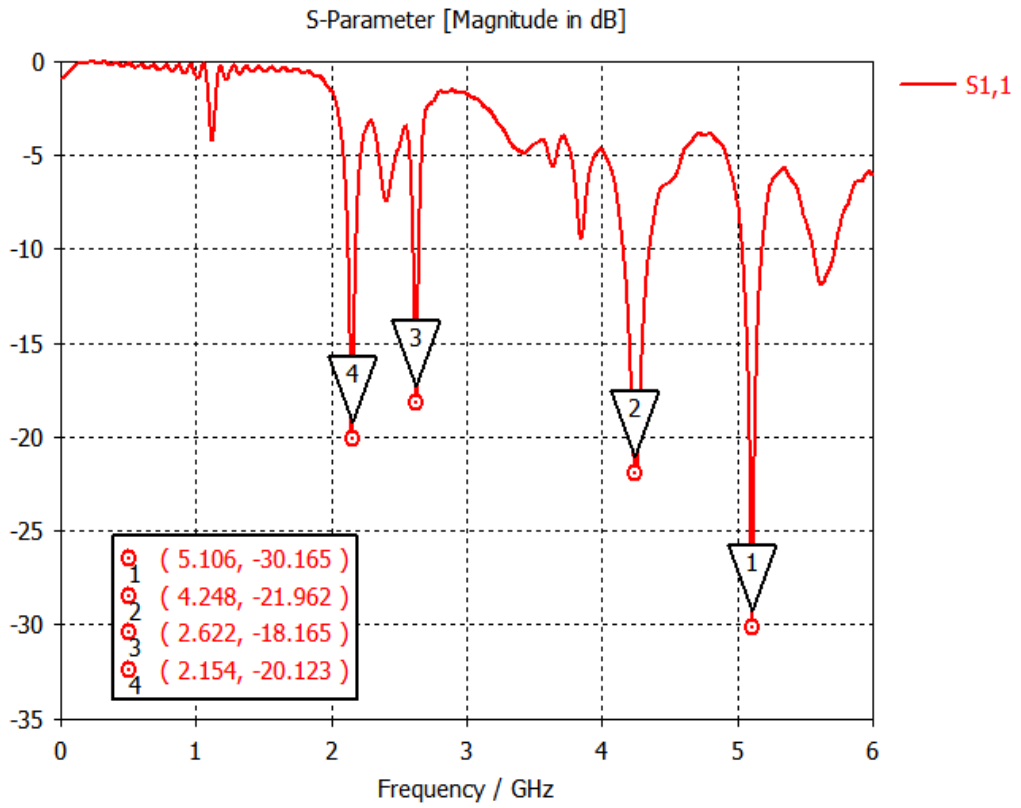
1. Dielektrik malzemenin genişliği ile mikroşerit yamanın genişliği eşit hale getirilmiştir



Şekil 6.41 Genişlikleri eşitlenen antenin üstten görünümü.

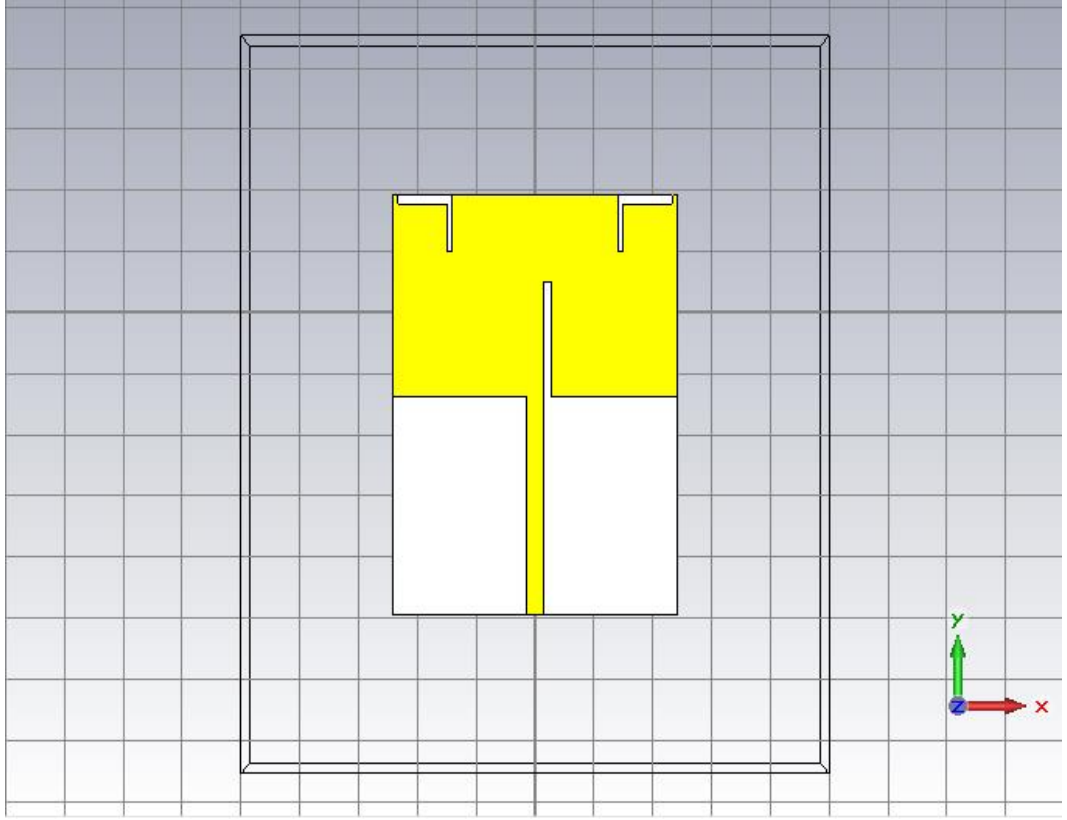


Şekil 6.42 Genişlikleri eşitlenen antenin alttan görünümü.

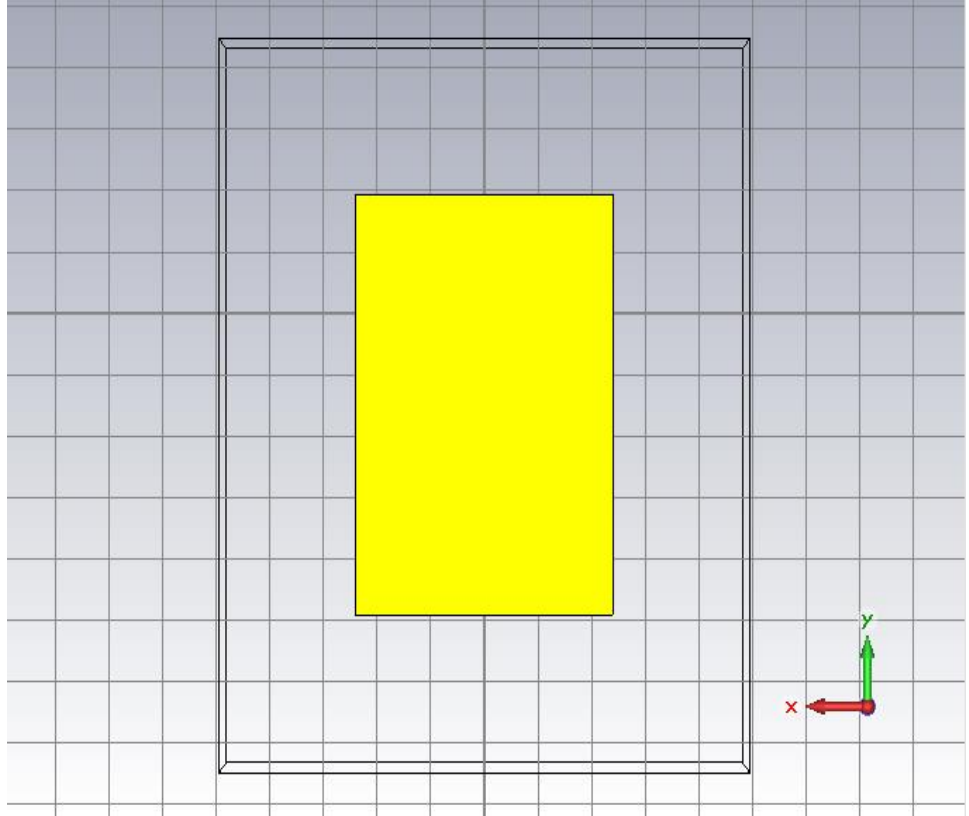


Şekil 6.43 Genişlikleri eşitlenen antenin S11 frekanslarına bağlı değişim grafiği.

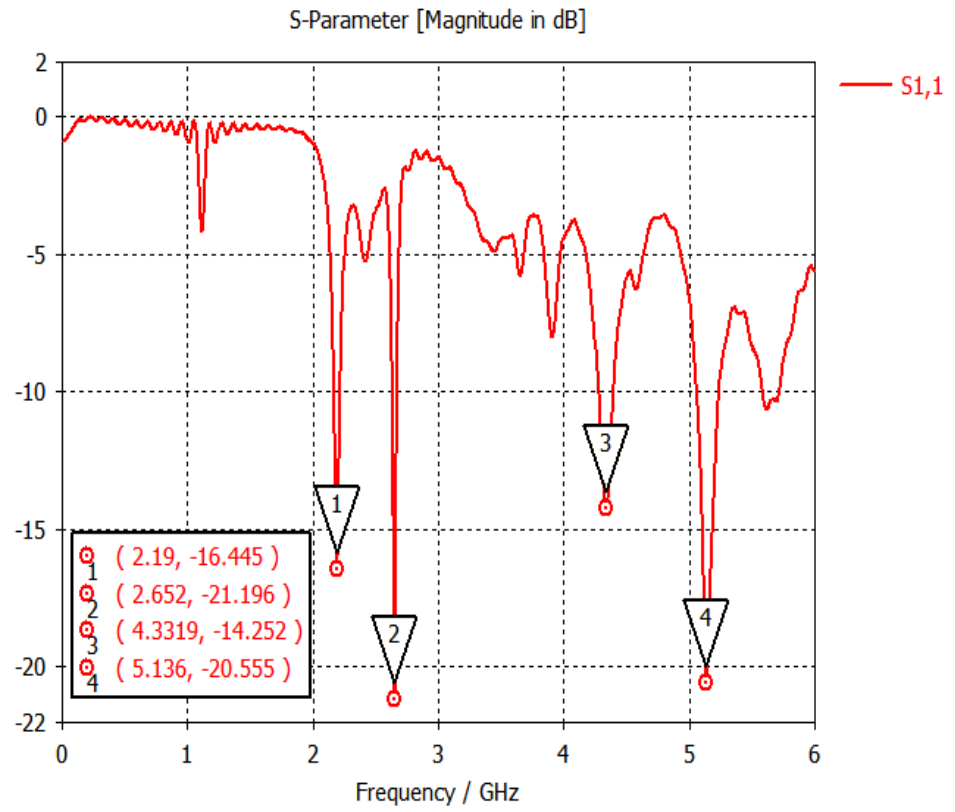
2. Dielektrik malzemenin uzunluğu ve genişliği mikroşerit yamanın boyu ve genişliği ile eşit hale getirilmiştir.



şekil 6.44 Anten boyunun ve genişliğinin eşitlenmiş halinin üstten görünümü.

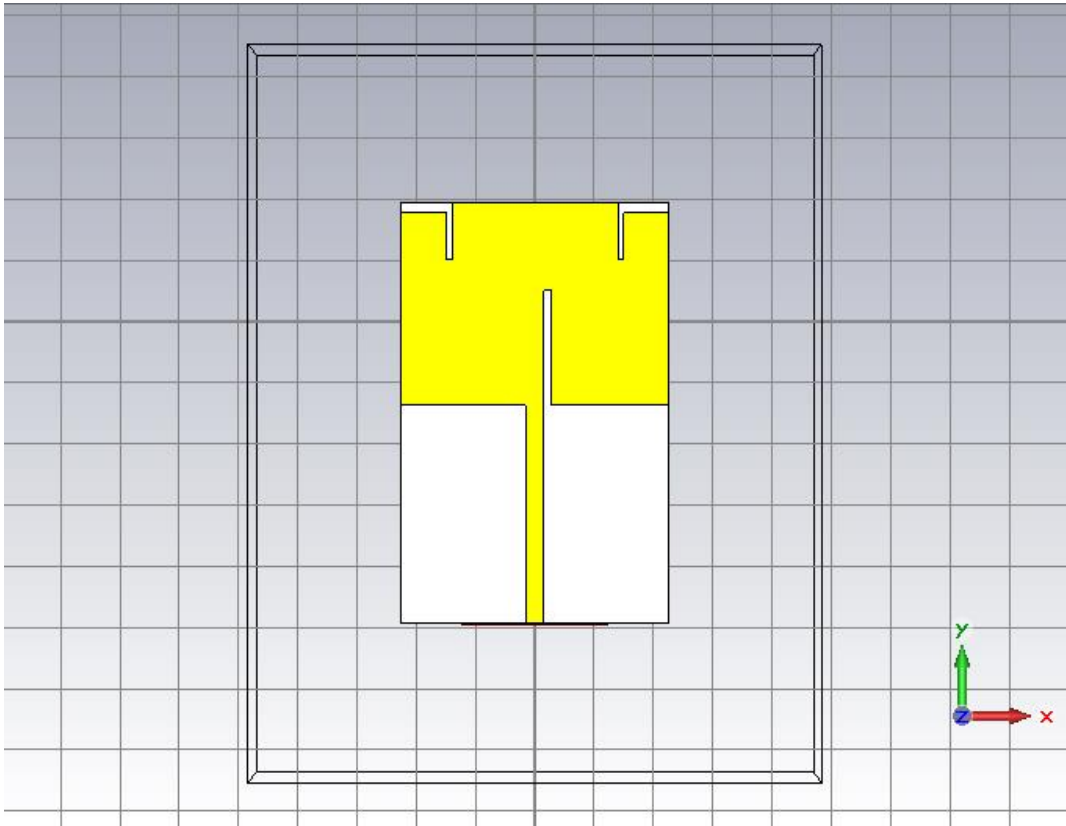


Şekil 6.45 Anten boyunun ve genişliğinin eşitlenmiş halinin alttan görünümü.

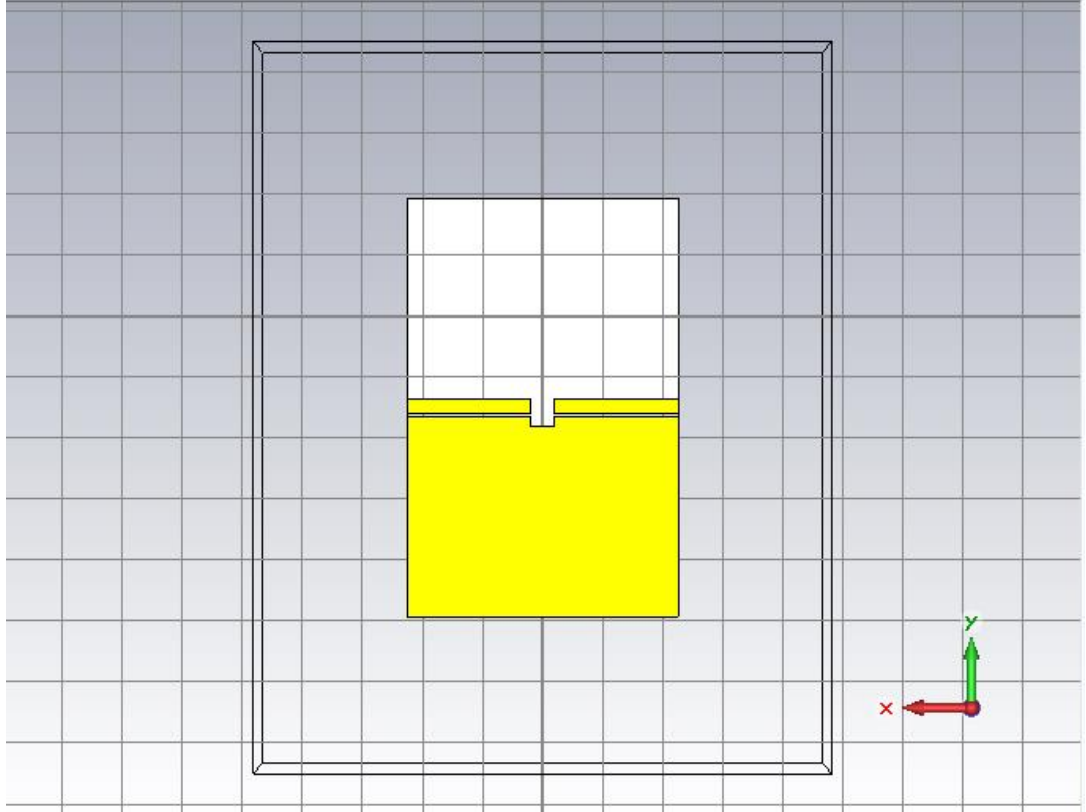


Şekil 6.46 S₁₁ Frekansa bağlı değişim grafiği.

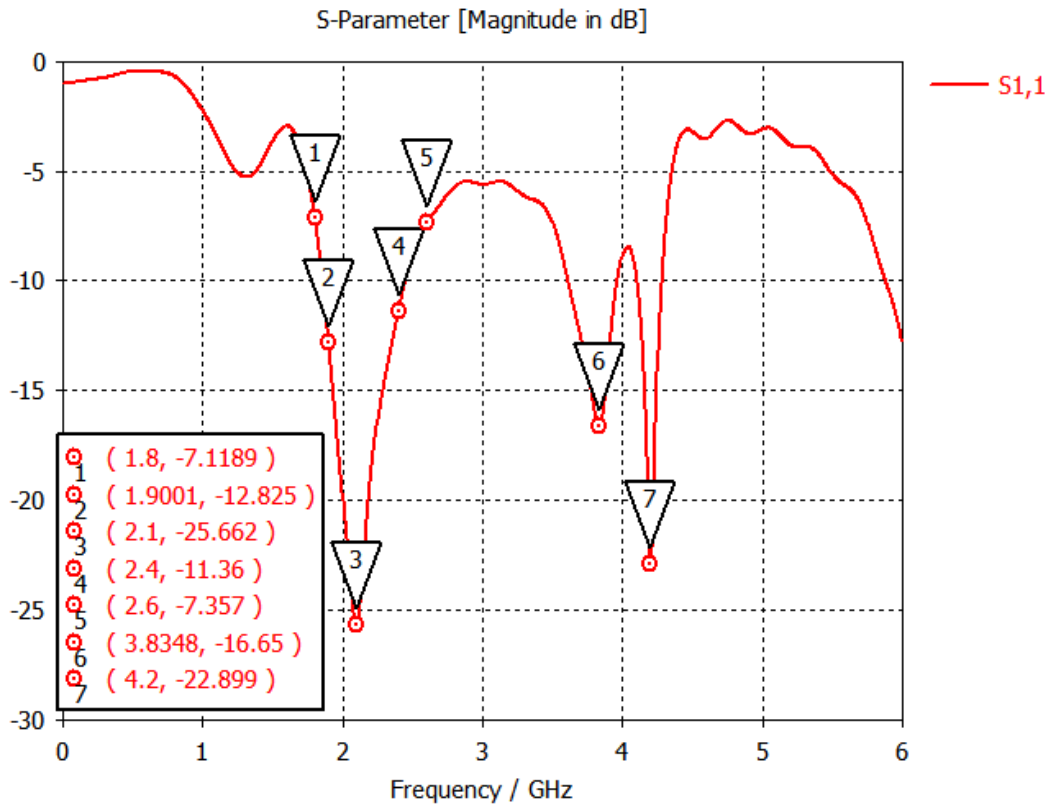
3. Bant genişliğini arttırmak için Ground düzlemine slot atılmıştır. Ground boyu mikroşerit yama antenin başlangıç noktasından itibaren kesilmiştir.
- Toprak Düzleme (Ground)'a uygulanan yarık (slot) şekli, FR4 ve Patch'e uygulanmış olan optimizasyondan dolayı bant genişliği artmıştır (Younis, 2014).
 - Ground'a uygulanmış olan slotun boyu 4 mm dir.
 - Ground boyu 45.9X35.7 mm dir. Dielektrik malzemenin uzunluğu ve genişliği mikroşerit yamanın boyu ve genişliği ile eşit hale getirilmiştir. Sonuçlar şu şekildedir;



Şekil 6.47 Optimizasyon yapılmış antenin üstten görünümü (a).



Şekil 6.48 Slot atılmış antenin alttan görünümü (b).

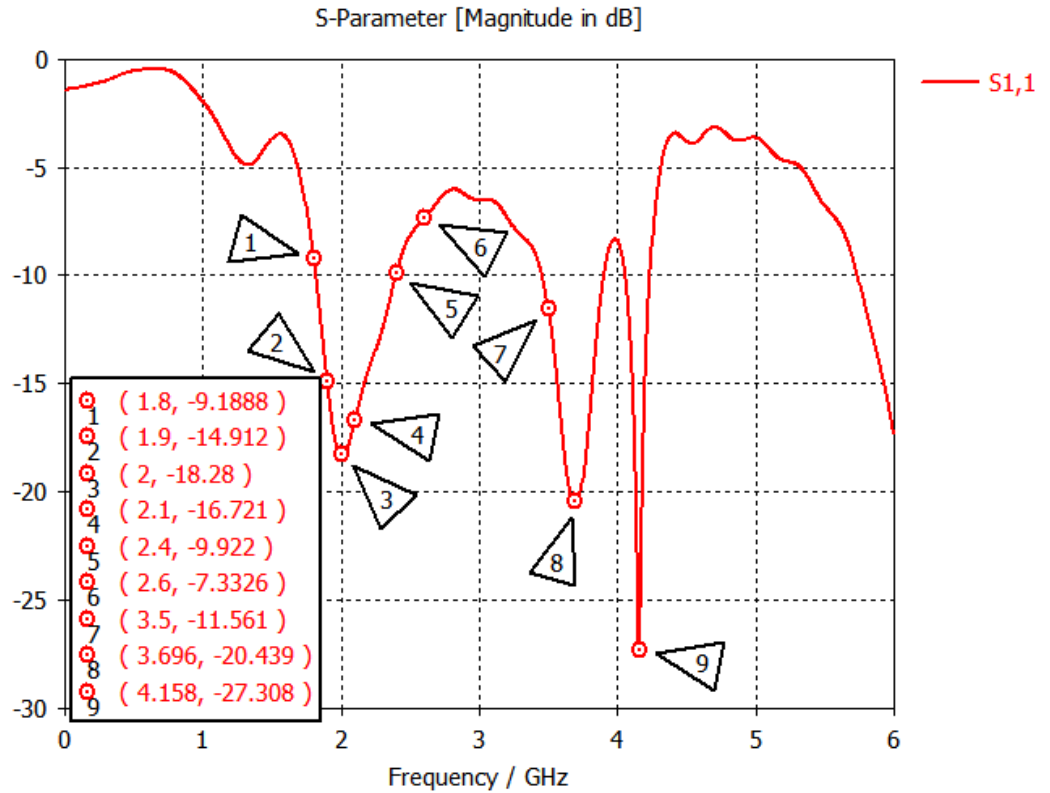


Şekil 6.49 S₁₁ Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).

$h=1.5$ mm de -5 dB seviyesinde 2 frekans elde edilmiştir. Bu frekanslar 1.8 GHz 2.6 GHz dir. - 10 dB’de 5 frekans elde edilmiştir. Bu frekanslar 1.9 GHz, 2.1 GHz, 2.4 GHz, 2.6 GHz, 3.8348 GHz ve 4.2 GHz dir. Frekanslarımıza ait, geri dönüş kaybı, bant genişliği ve kazanç değerleri Tablo 6.7’de mevcuttur.

Tablo 6.7 Dielektrik yüksekliği $h= 1.5$ mm anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=1.5 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-7.1189	-	3.06
1.9	-12.825	-	2.64
2.1	-25.662	985.6	2.6
2.4	-11.36	-	2.24
2.6	-7.357	-	1.97
3.8348	-16.65	-	4.53
4.2	-22.829	2578	4.55



Şekil 6.50 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği ($h=2$ mm).

$h=2$ mm de -5 dB seviyesinde 3 frekans elde edilmiştir. Bu frekanslar 1.8 GHz, 2.4 GHz ve 2.6 GHz dir. - 10 dB 6 frekans elde edilmiştir. Bu frekanslar 1.9 GHz, 2.0 GHz, 2.1 GHz, 3.5 GHz, 3.7 GHz ve 4.158 GHz dir. Frekanslarımızıza ait, geri, dönüş kaybı, bant genişliği ve kazanç değerleri Tablo 6.8’de mevcuttur.

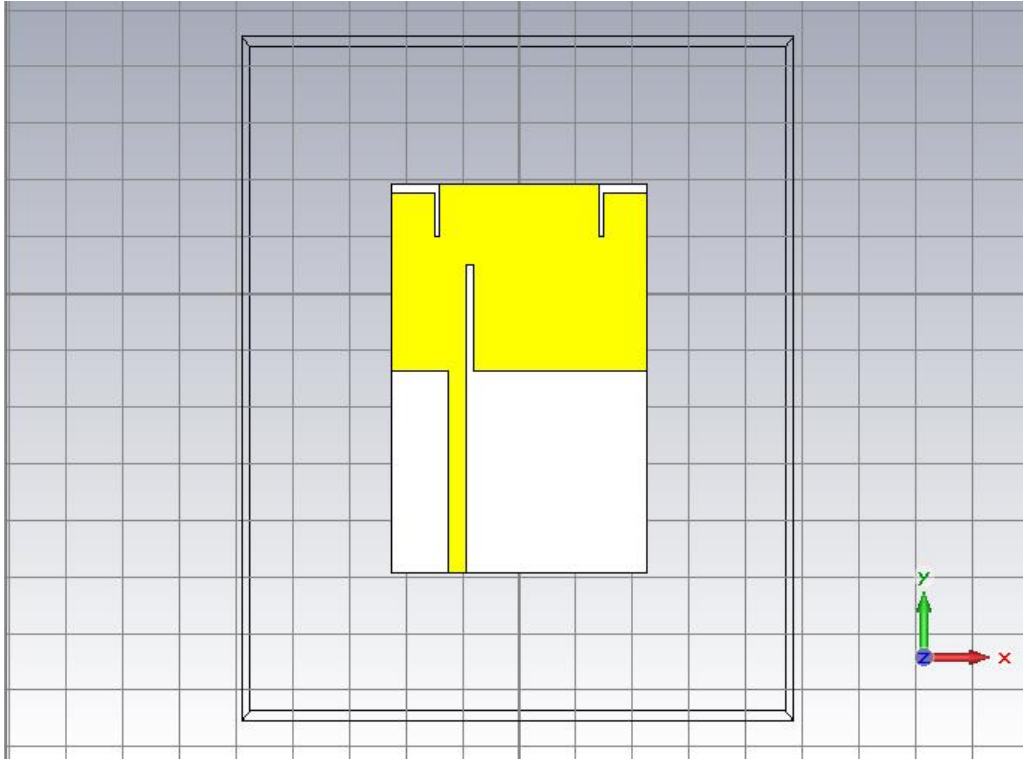
Tablo 6.8 Dielektrik yüksekliği $h=2$ mm anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-9.1888	-	2.85
1.9	-14.912	-	2.65
2	-18.28	1074.7	2.64
2.1	-16.721	-	2.63
2.4	-9.922	-	2.65
2.6	-7.3326	-	2.64
3.5	-11.561	-	4.16
3.696	-20.439	1688.6	4.56
4.158	-27.308	973.9	4.73

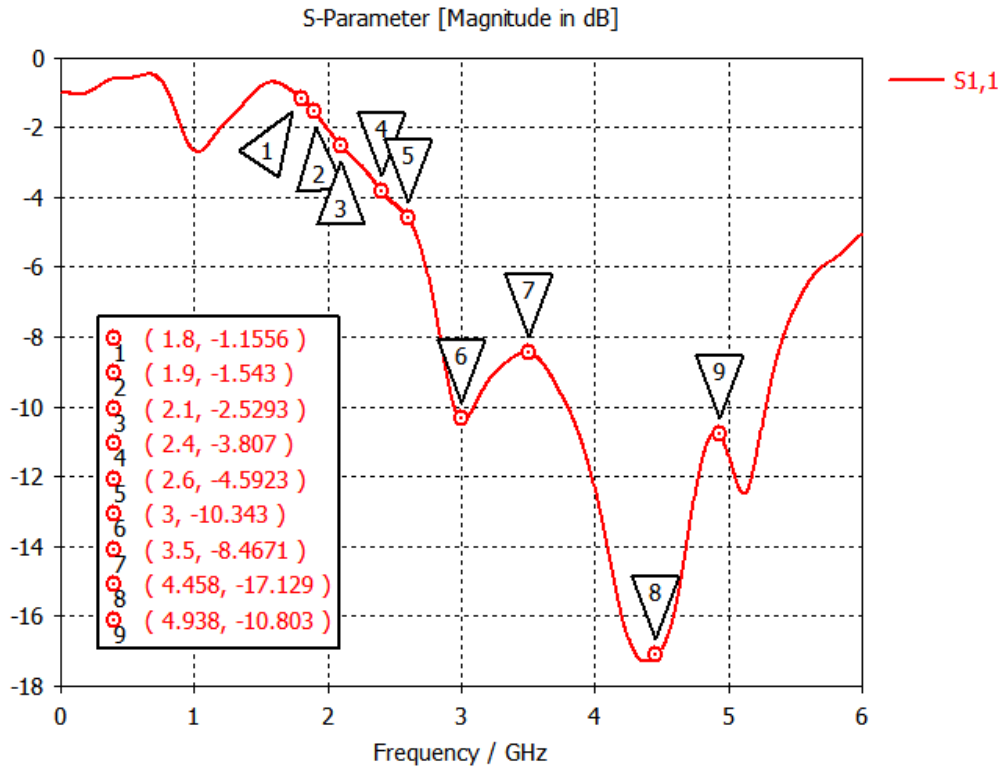
Sonuç olarak;

- i. Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de de görüldüğü gibi $h=2$ mm alındığı zaman daha iyi sonuç vermektedir.
- ii. -5 dB seviyesinde çalışabilir 3 frekans elde edilmiştir. Bu frekanslar 1.8 GHz, 1.9 GHz ve 2.1 GHz dir. -10 dB seviyesinde çalışabilir 6 frekans elde edilmiştir;
- iii. -10 dB seviyesinde 2.4 GHz, 2.6 GHz ve 5.0 GHz’deki frekanslar elde edilememiştir.
- iv. Ayrıca 3.5 GHz 5.77 den 4.16 dBi e düşmüştür.
- v. Antenimizin 1.6892-4.3146 GHz arasında ki -5 dB seviyesindeki bant genişliği 2625.1 MHz dir.
- vi. Yapılan işlemler sonucunda antenimizin FR4 malzememizin genişliğinin ve boyunun kısılması, Ground (Toprak düzleme) slot atılması ile bant genişliği arttırılmıştır.

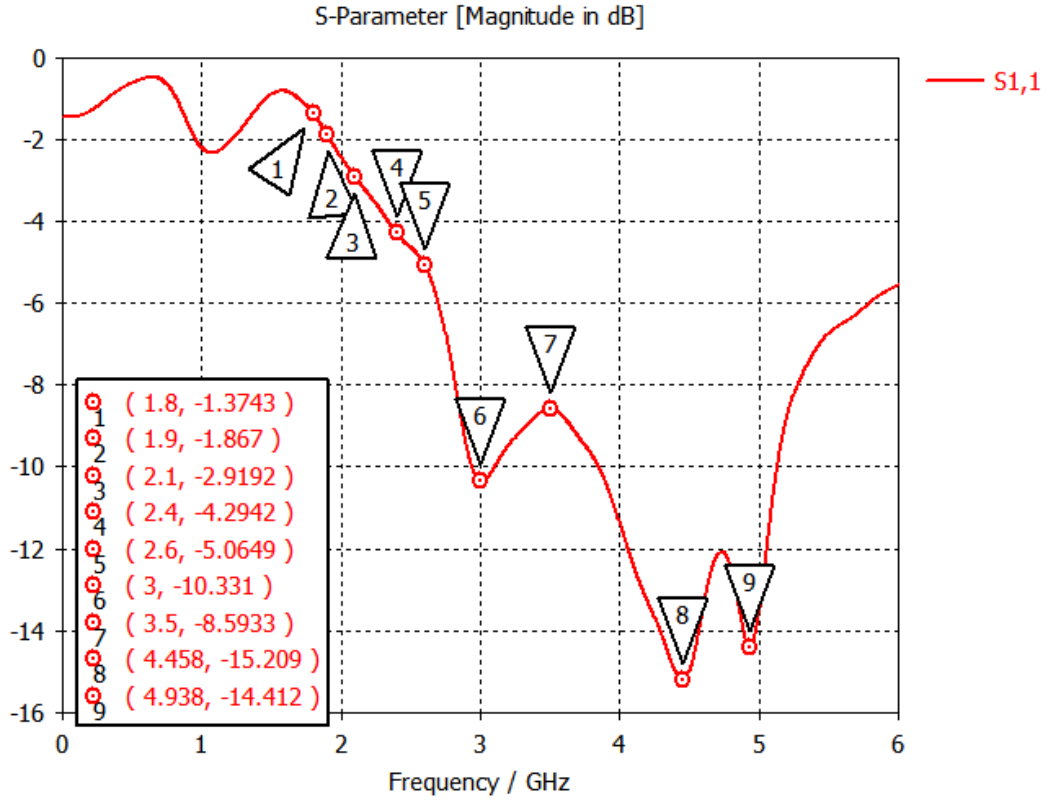
3.1. Mikroşerit Hattın Sağa Sola W/4 (10.9125) mm Kaydırılarak Analiz Edilmesi;



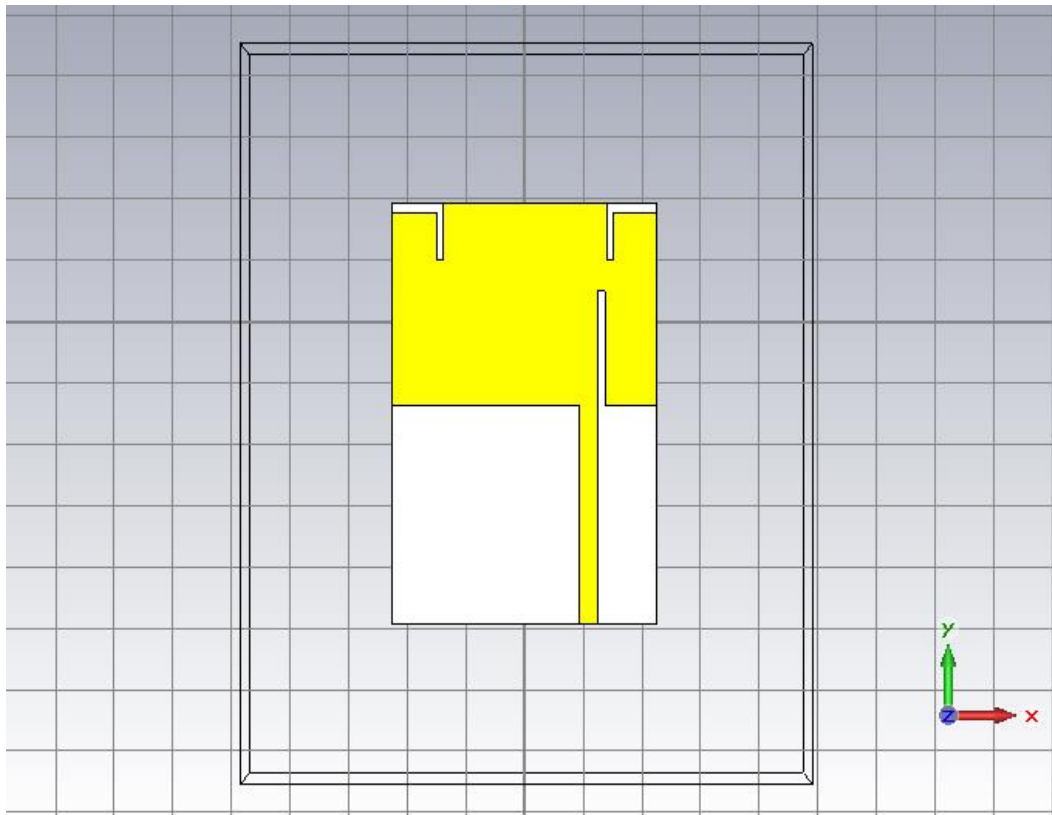
Şekil 6.51 Mikroşerit hattı sola kaydırılmış antenin üstten görünümü (h=1.5).



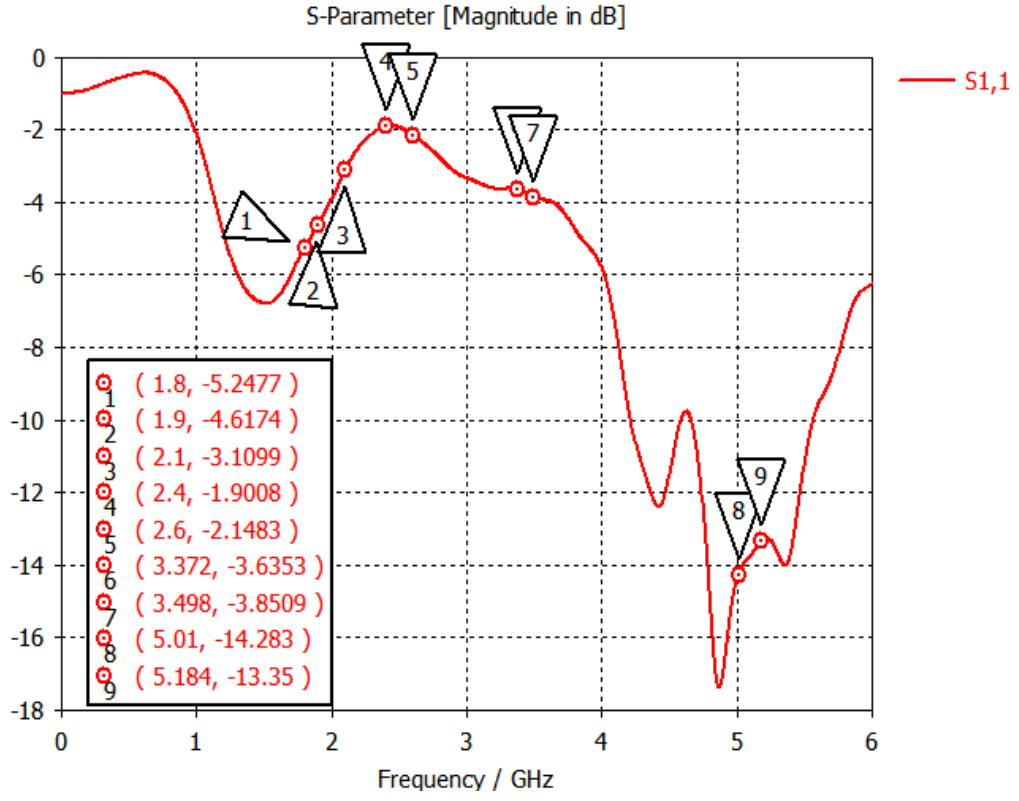
Şekil 6.52 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5).



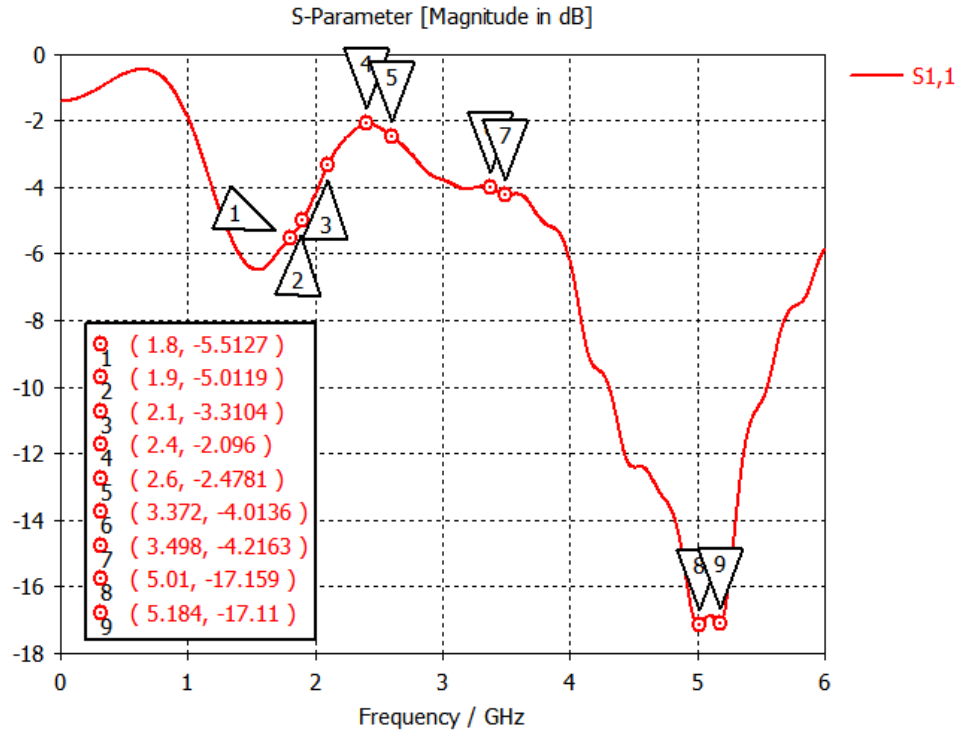
Şekil 6.53 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2).



Şekil 6.54 Mikroşerit hattı sağa kaydırılmış antenin üstten görünümü (h=2).

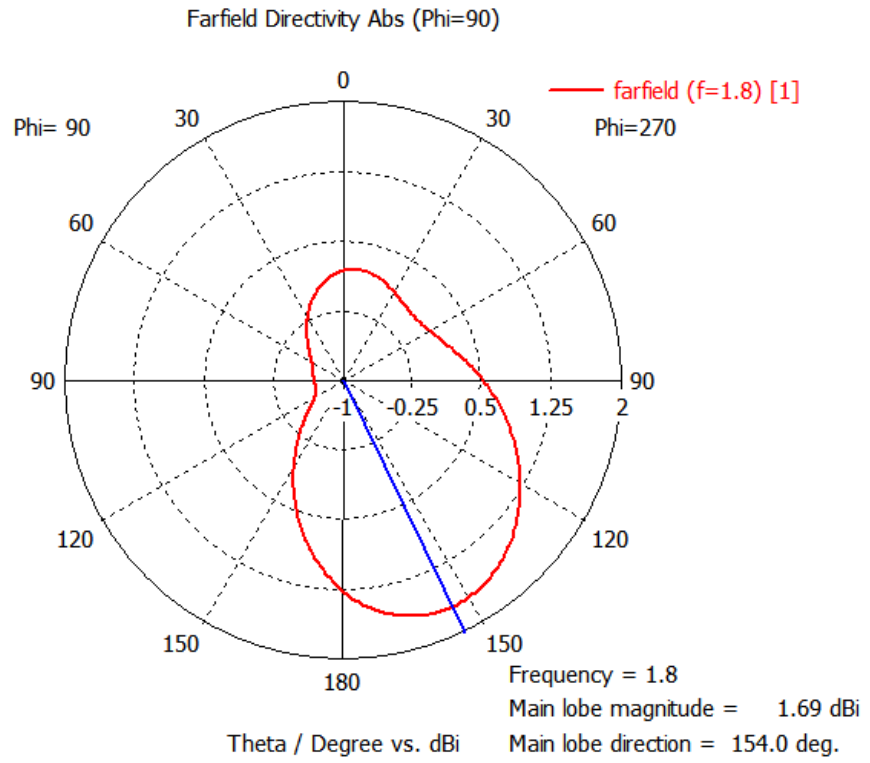


Şekil 6.55 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5).

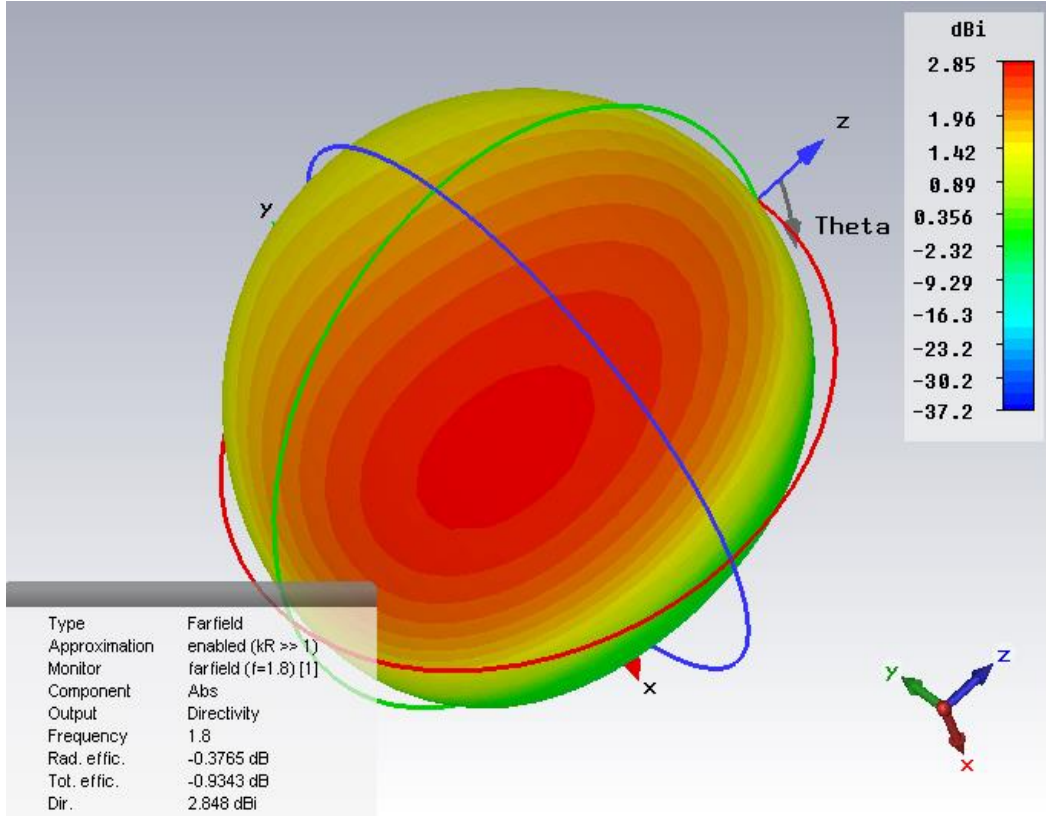


Şekil 6.56 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5).

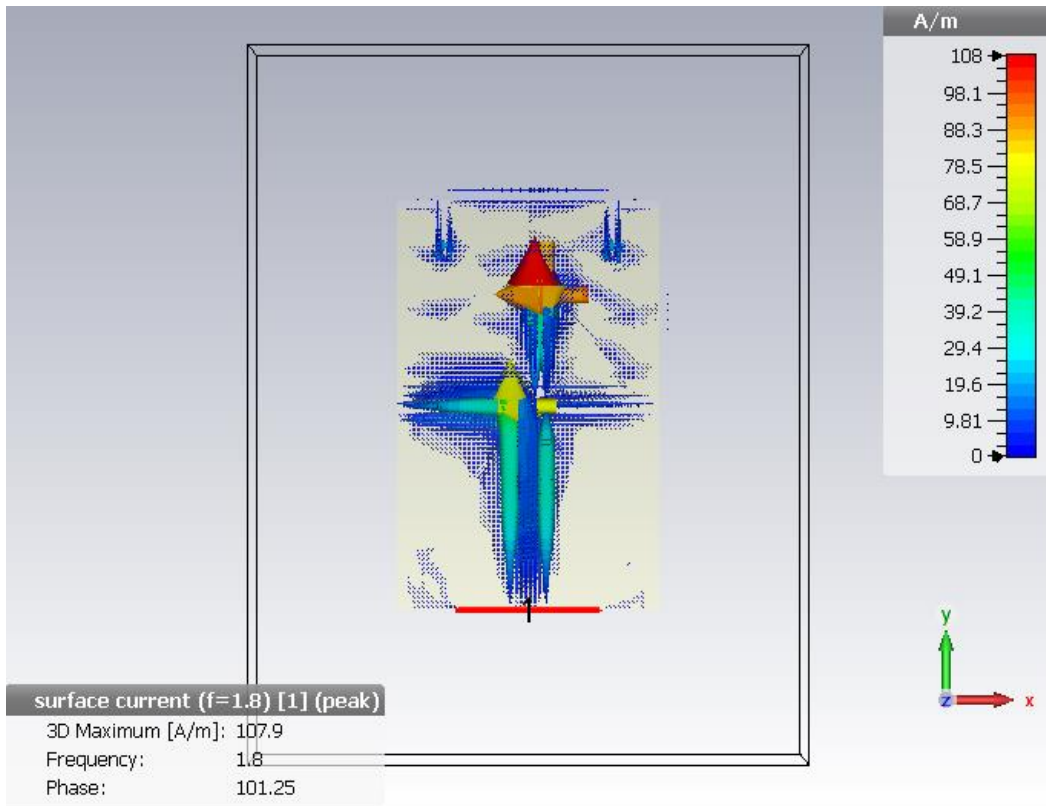
**Polar kazanç, Işıma yoğunluğu ve Akım yoğunluğu grafikleri şu şekildedir;
1.8 GHz İçin Grafikler;**



Şekil 6.57 1.8 GHz için polar kazanç grafiği.

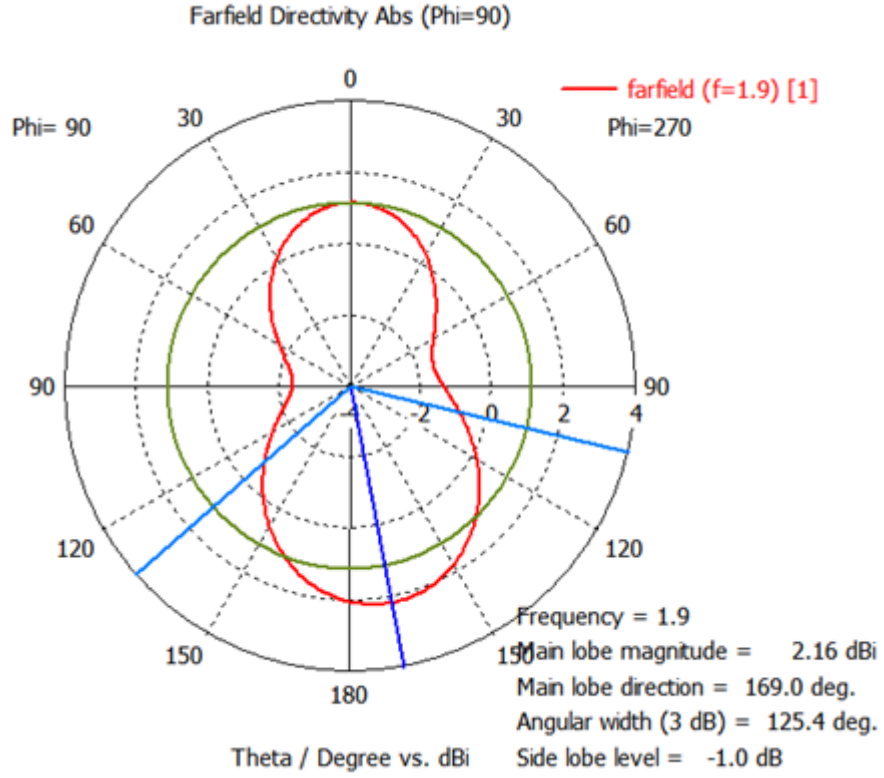


Şekil 6.58 1.8 GHz için ışınma yoğunluğu

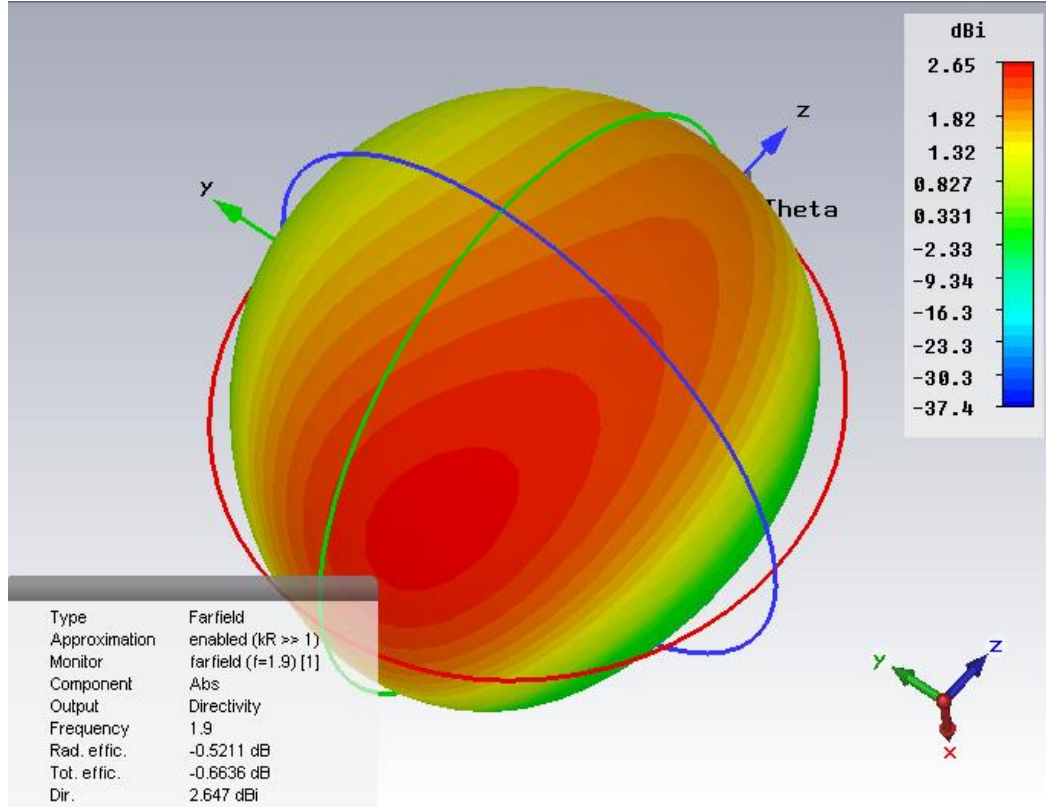


Şekil 6.59 1.8 GHz için akım yoğunluğu.

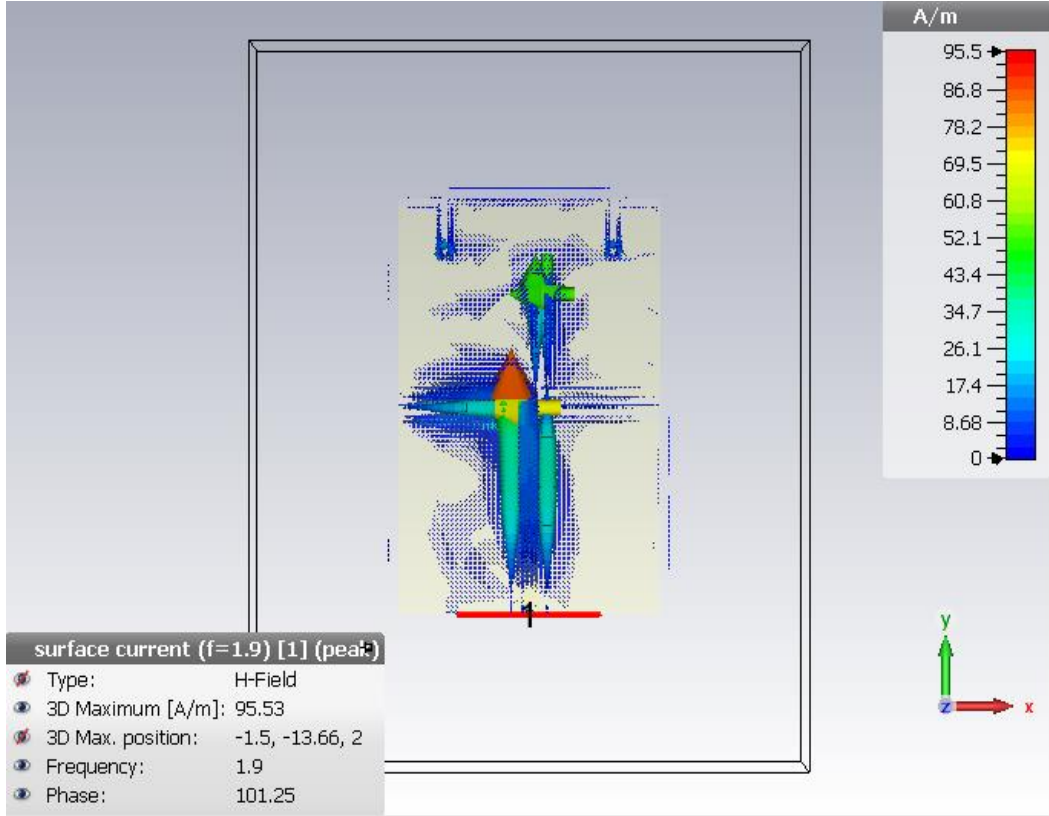
1.9 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.60 1.9 GHz için polar kazanç grafiği.

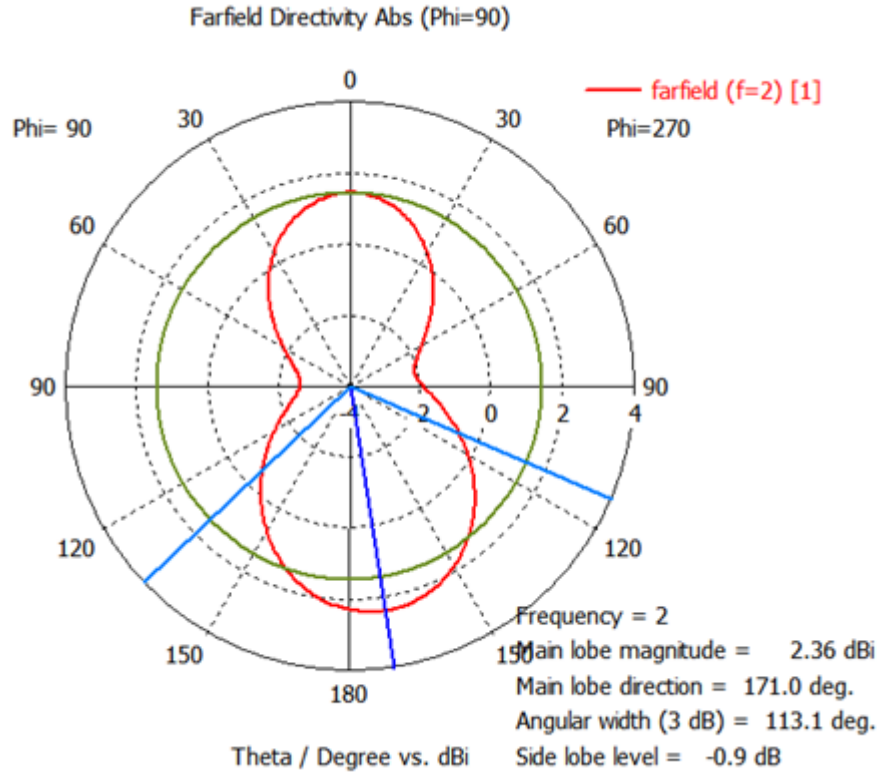


Şekil 6.61 1.9 GHz için ışıma yoğunluğu.

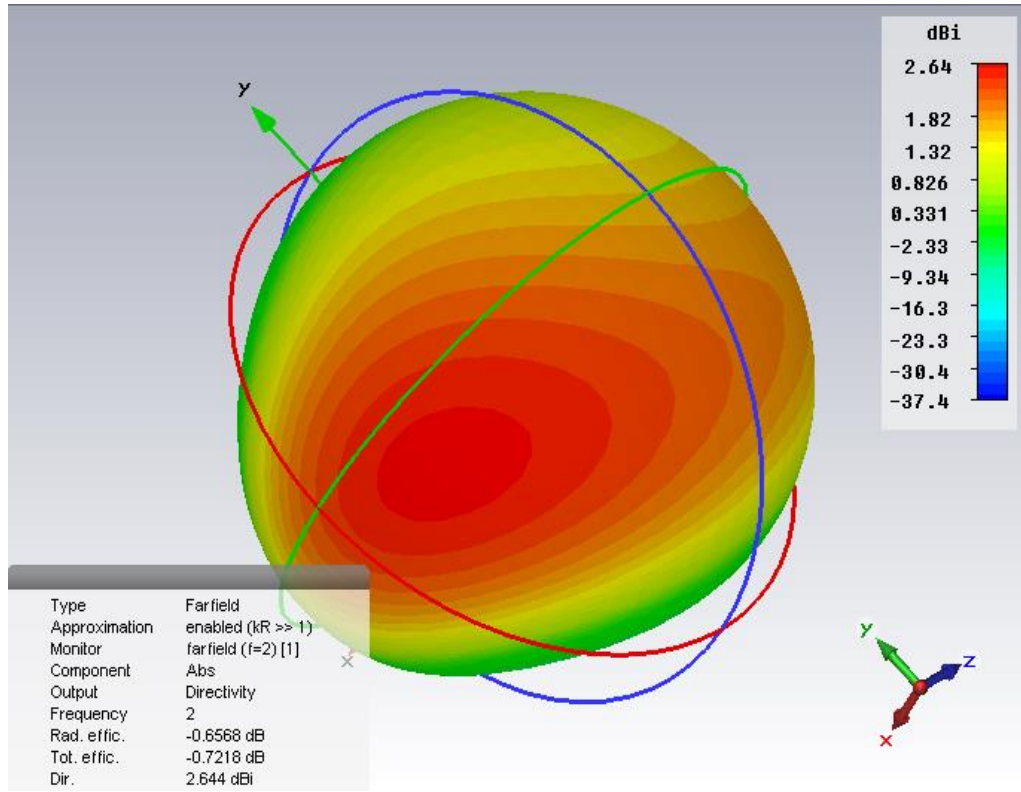


Şekil 6.62 1.9 GHz için akım yoğunluğu.

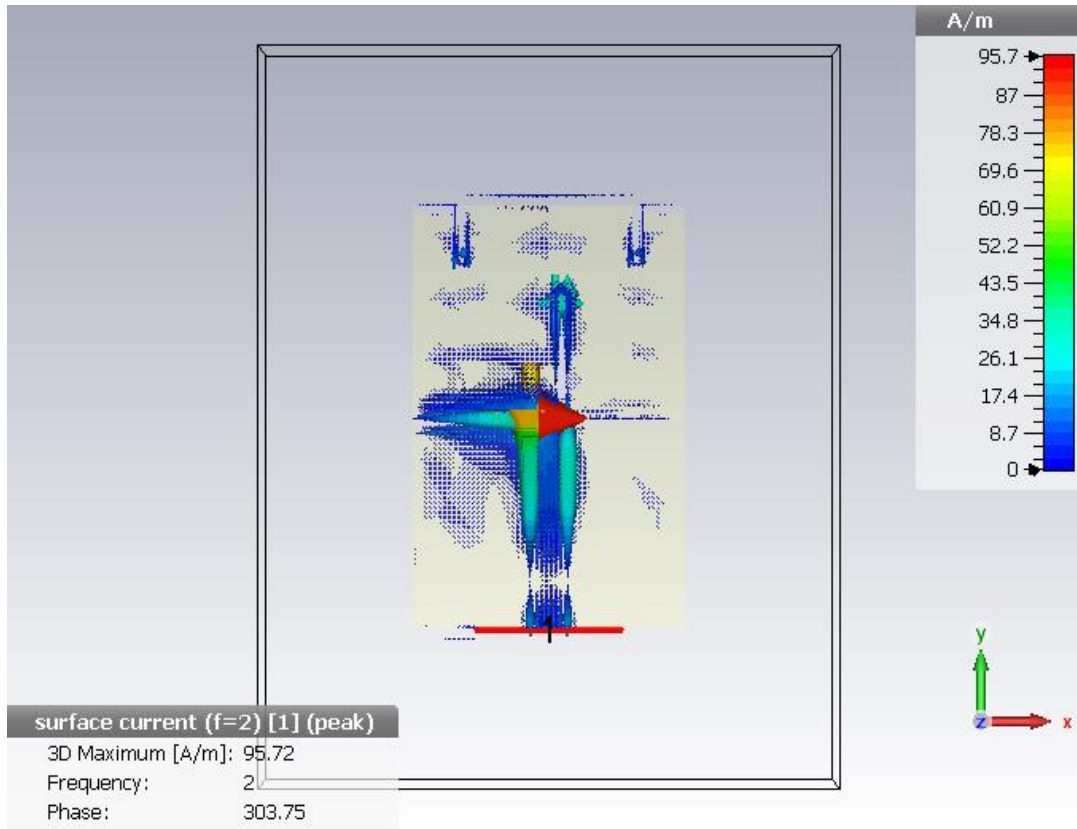
2.0 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.63 2.0 GHz için polar kazanç grafiği.

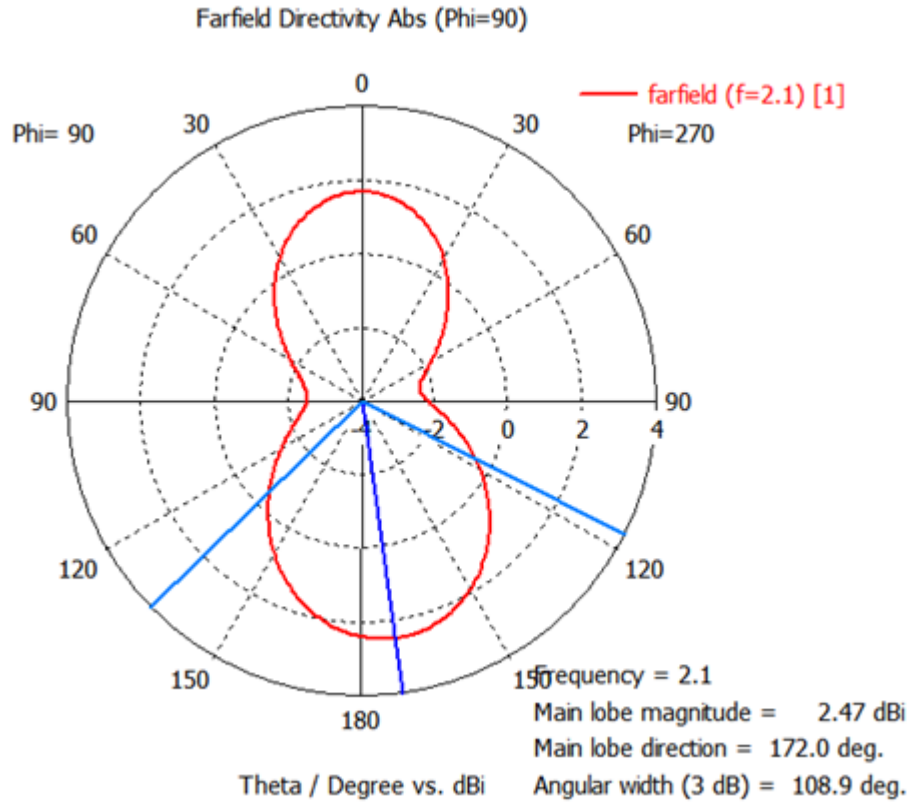


Şekil 6.64 2.0 GHz için ışıma yoğunluğu.

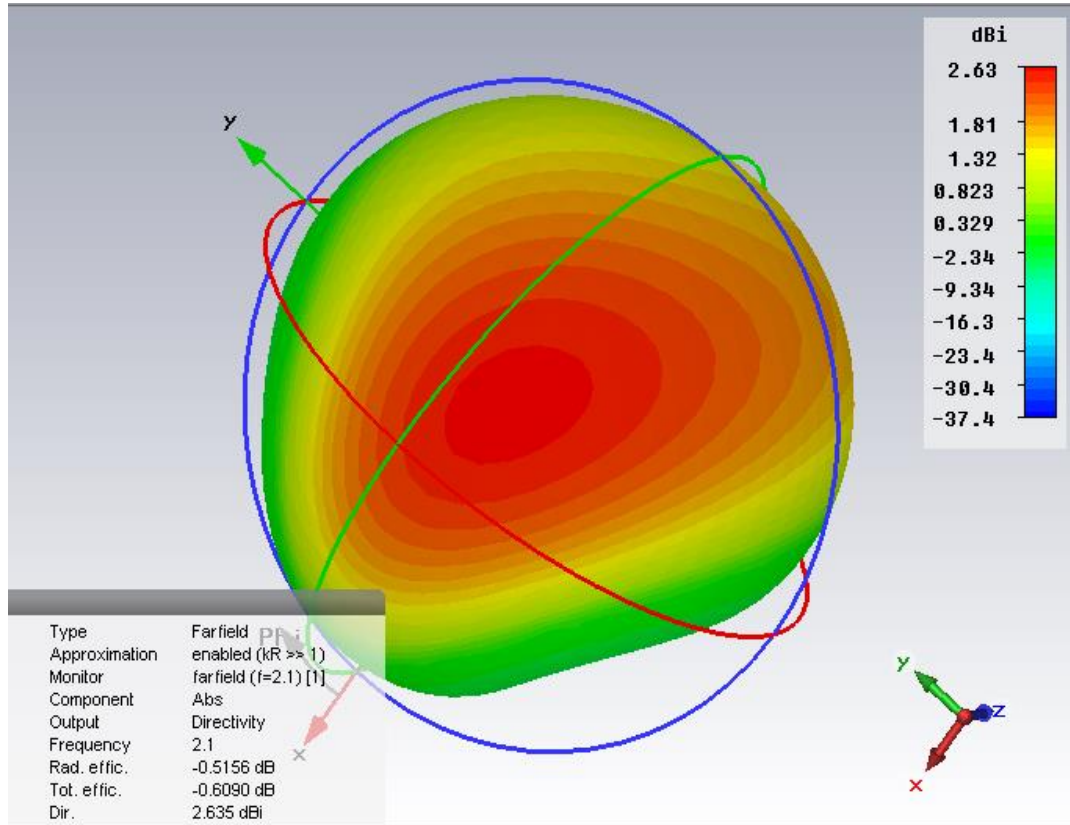


Şekil 6.65 2.0 GHz için akım yoğunluğu.

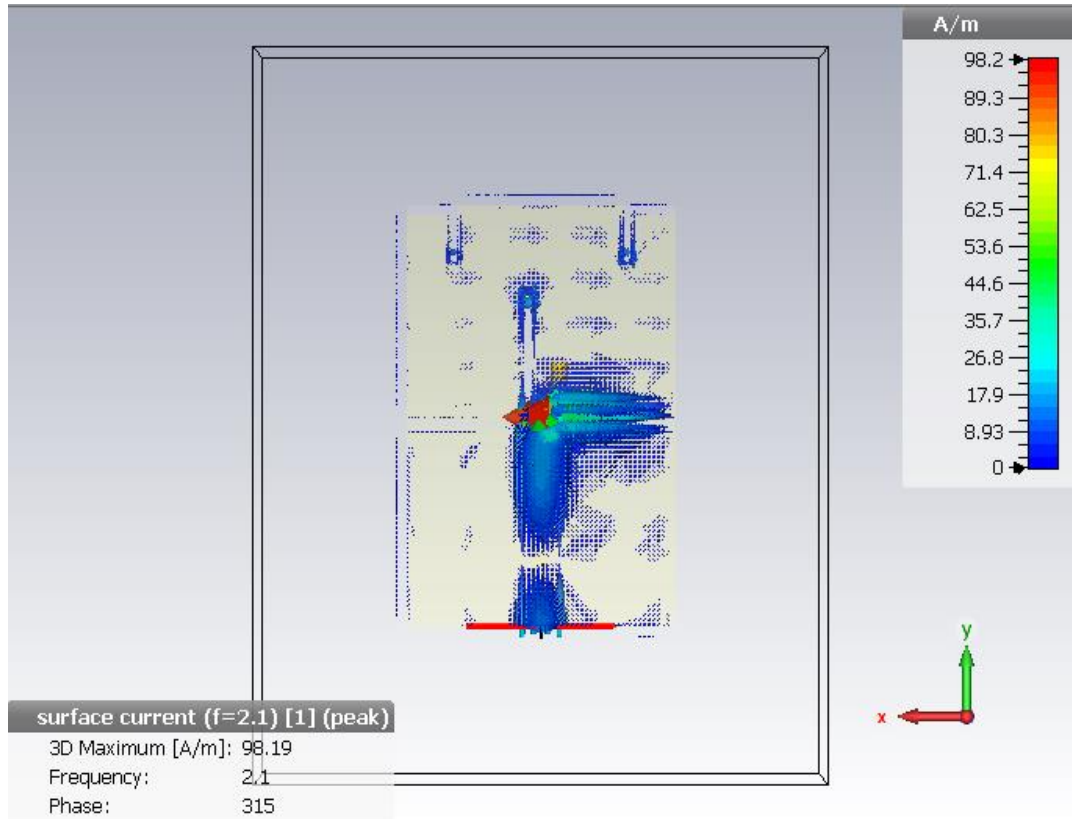
2.1 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.66 2.1 GHz için polar kazanç grafiği.

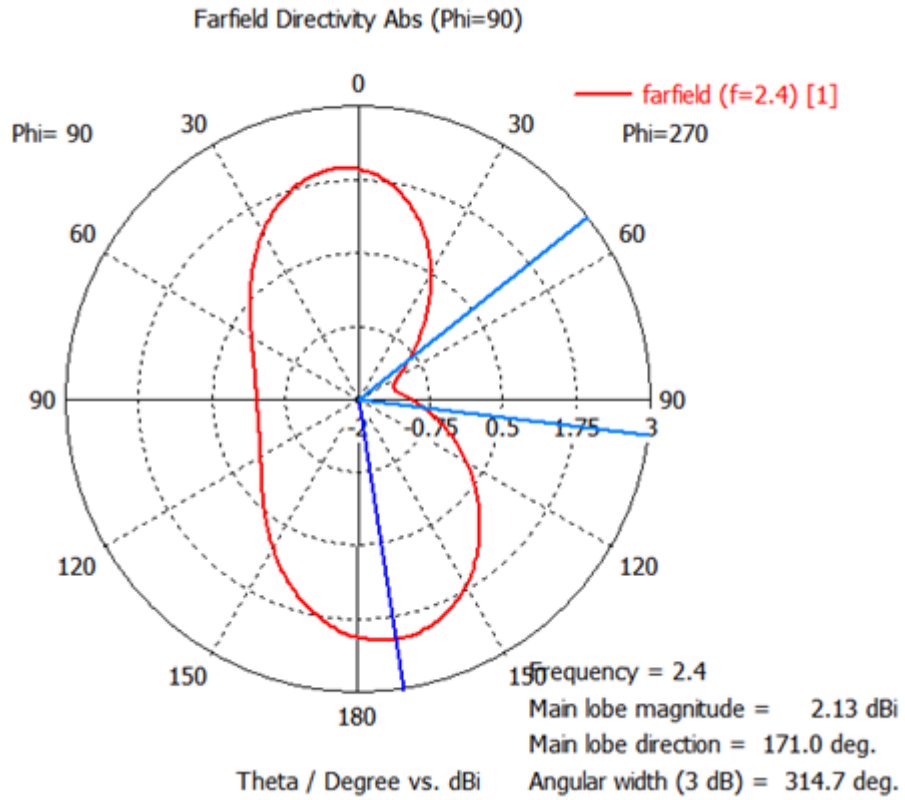


Şekil 6.67 2.1 GHz için ışıma yoğunluğu.

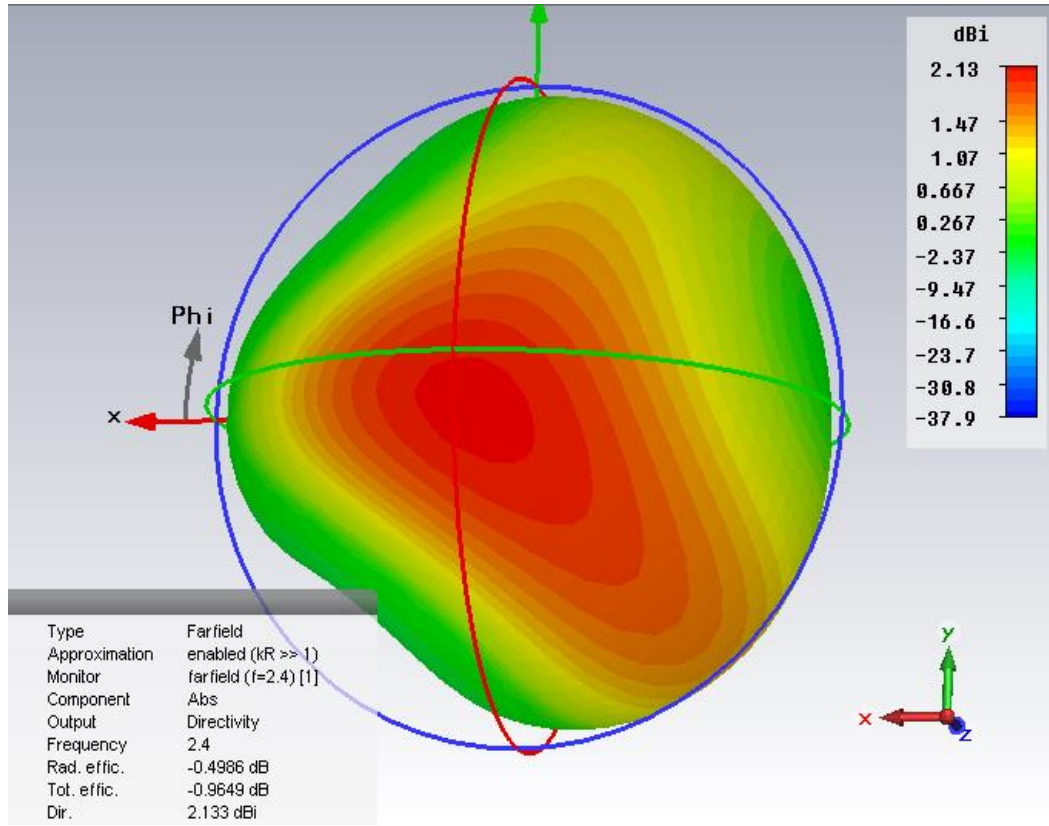


Şekil 6.68 2.1 GHz için akım yoğunluğu.

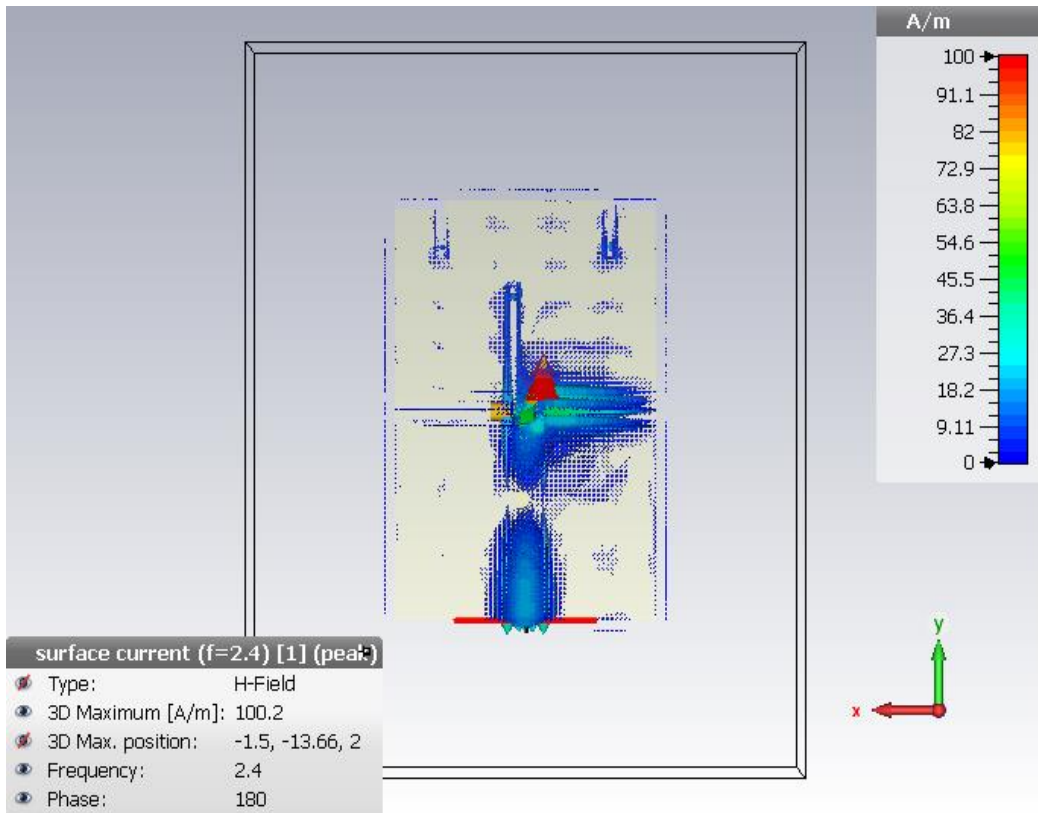
2.4 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.69 2.4 GHz için polar kazanç grafiği.

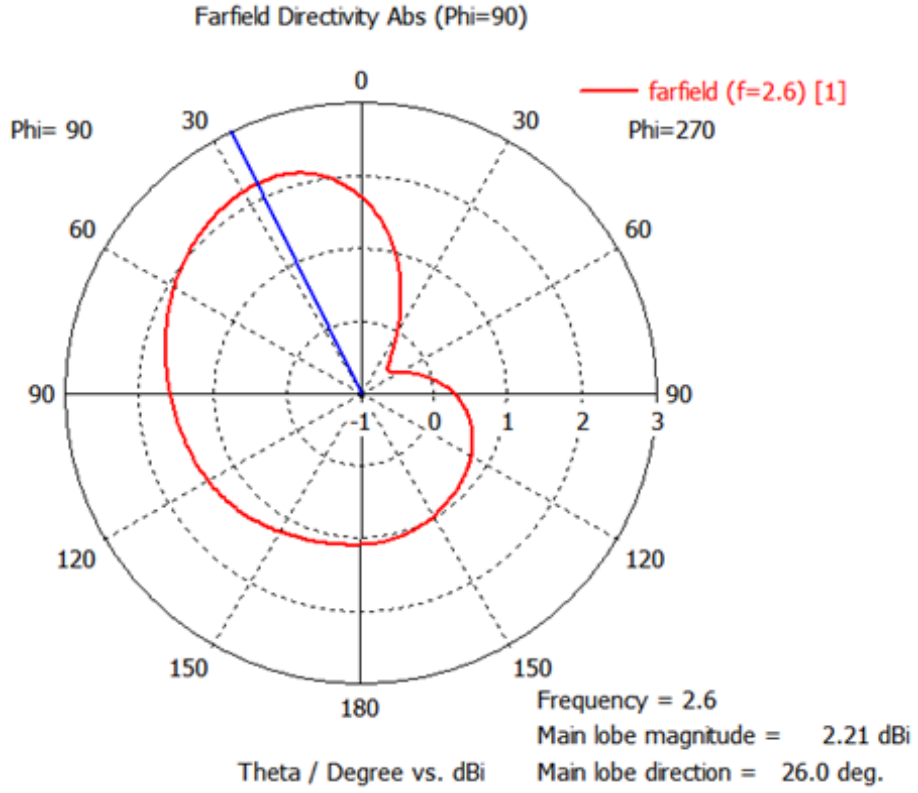


Şekil 6.70 2.4 GHz için ışıma yoğunluğu.

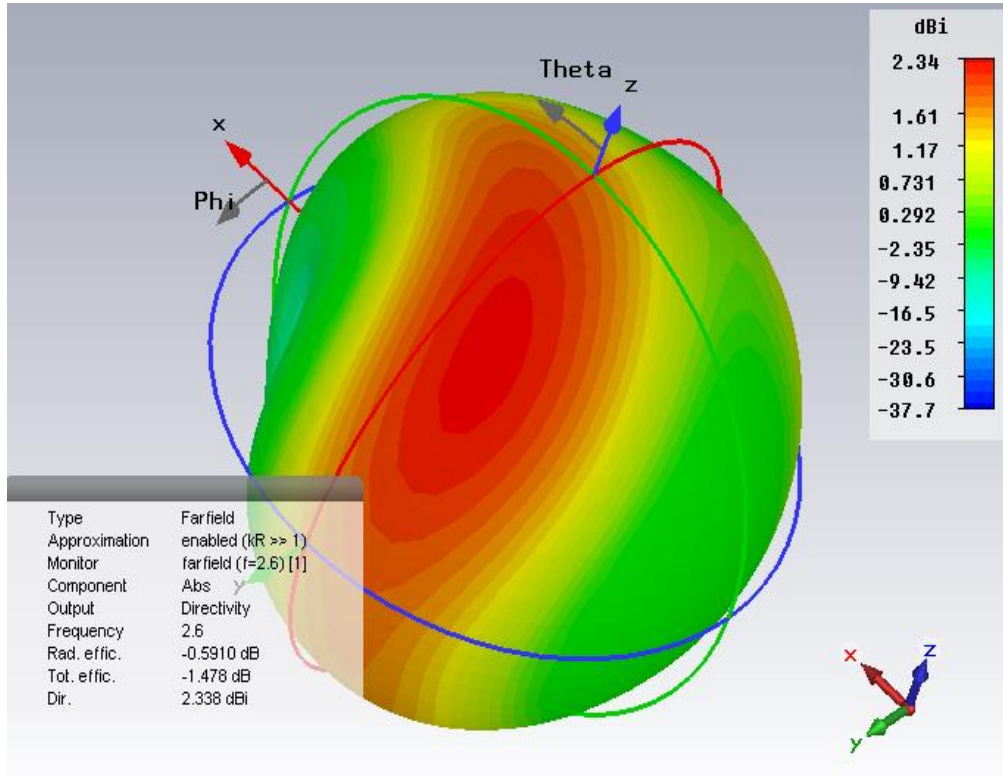


Şekil 6.71 2.4 GHz için akım yoğunluğu.

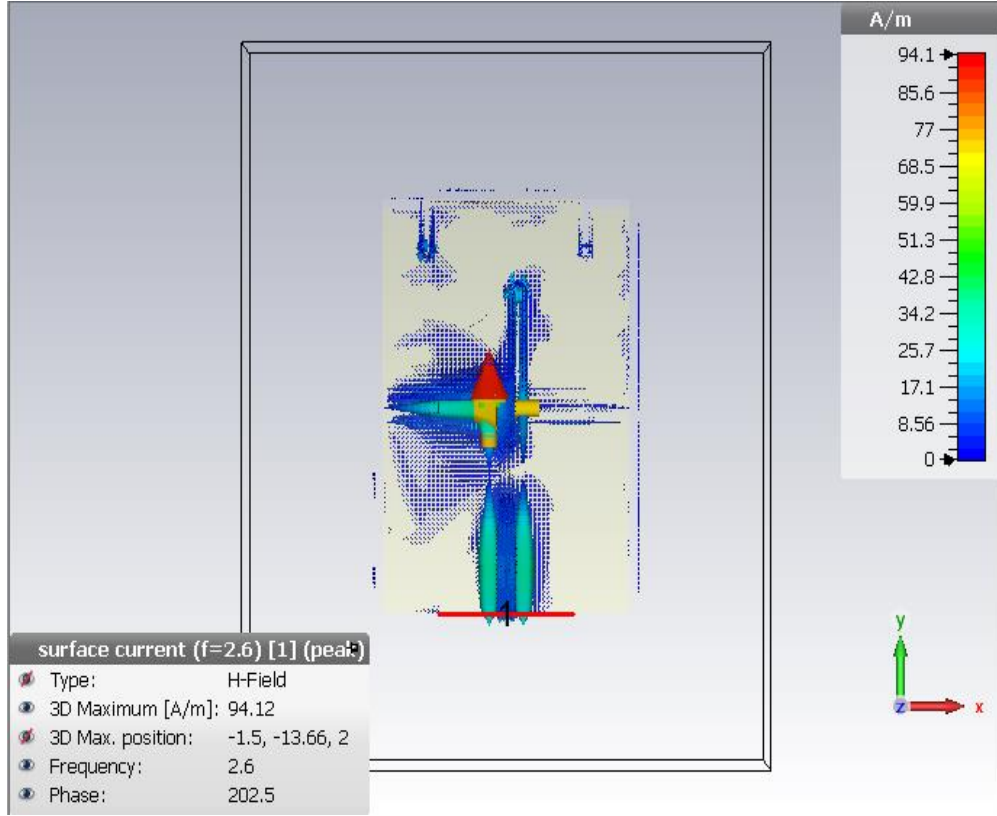
2.6 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.72 2.6 GHz için polar kazanç grafiği.

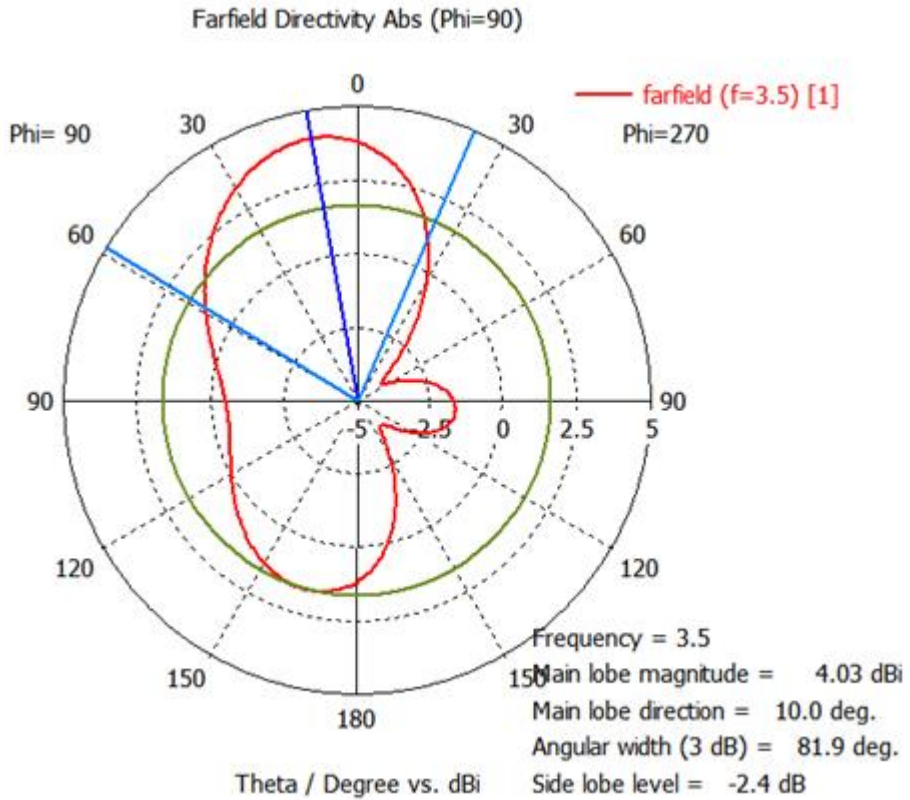


Şekil 6.73 2.6 GHz için ışıma yoğunluğu.

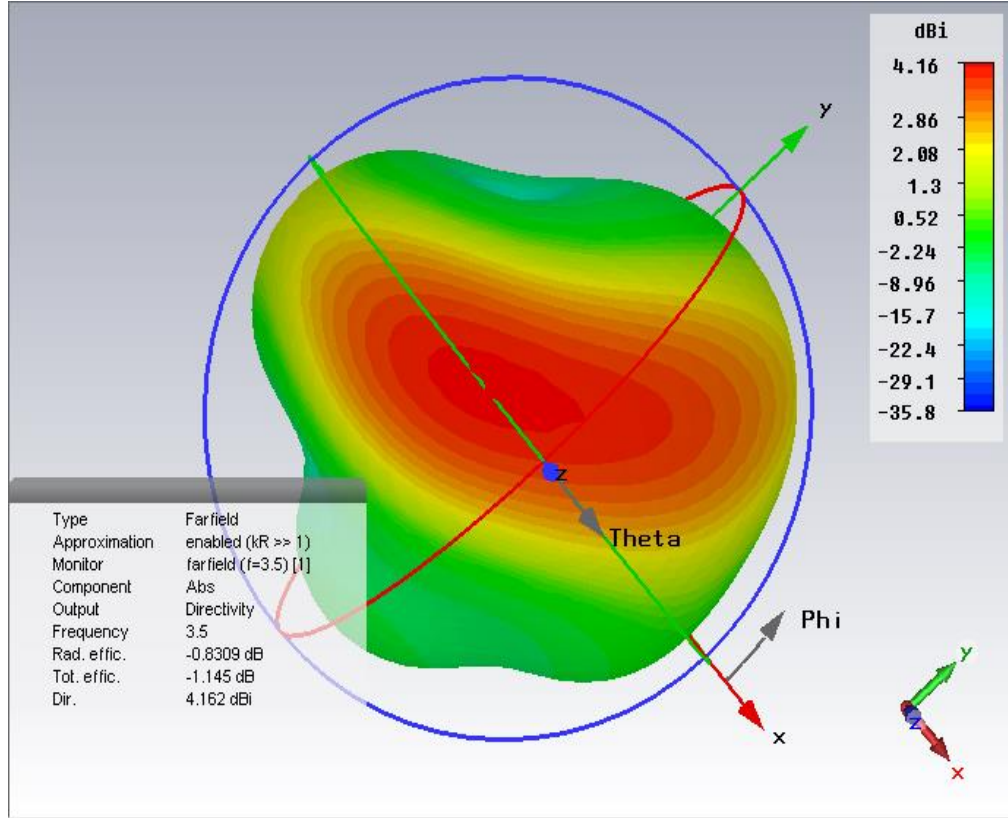


Şekil 6.74 2.6 GHz için akım yoğunluğu.

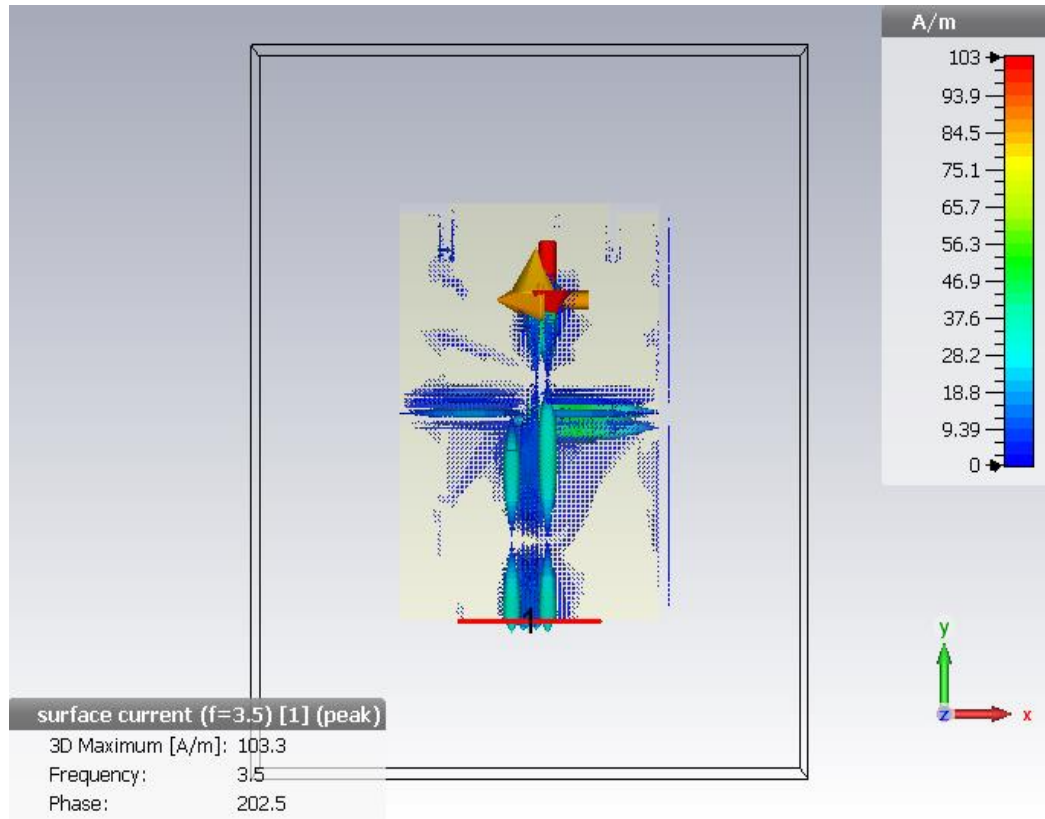
3.5 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.75 3.5 GHz için polar kazanç grafiği.

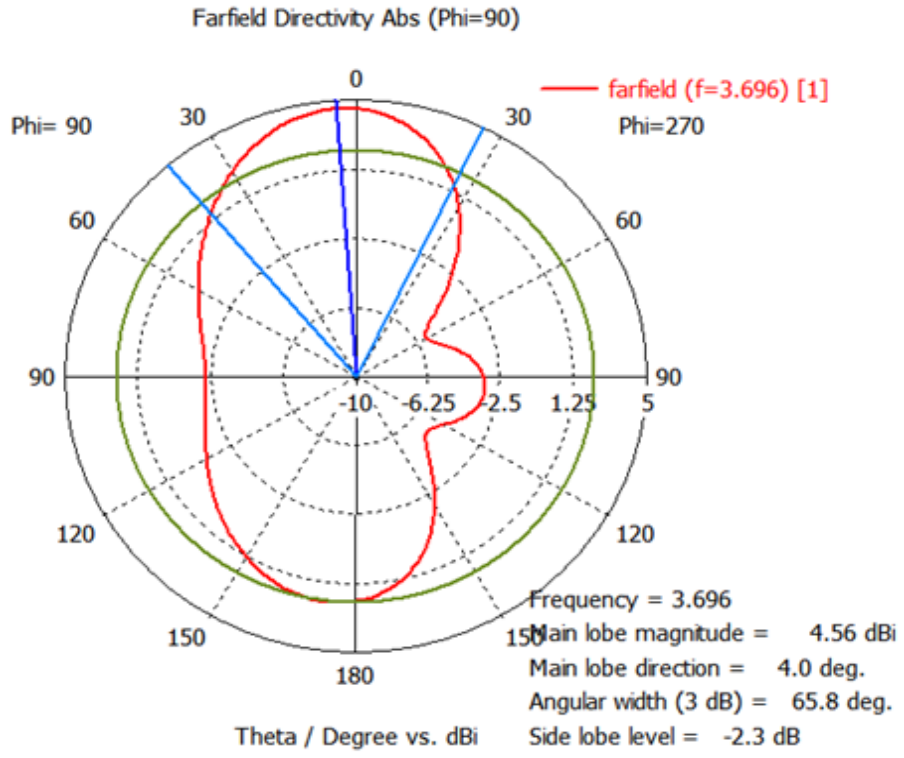


Şekil 6.76 3.5 GHz için ışıma yoğunluğu.

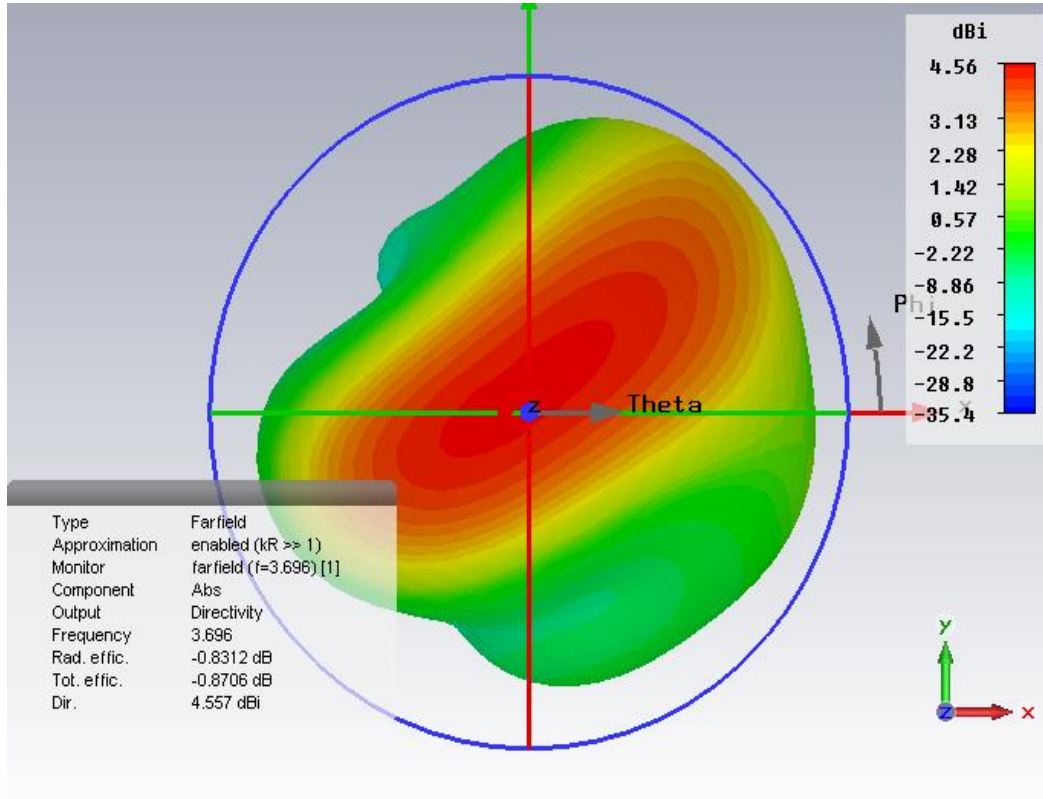


Şekil 6.77 3.5 GHz için akım yoğunluğu.

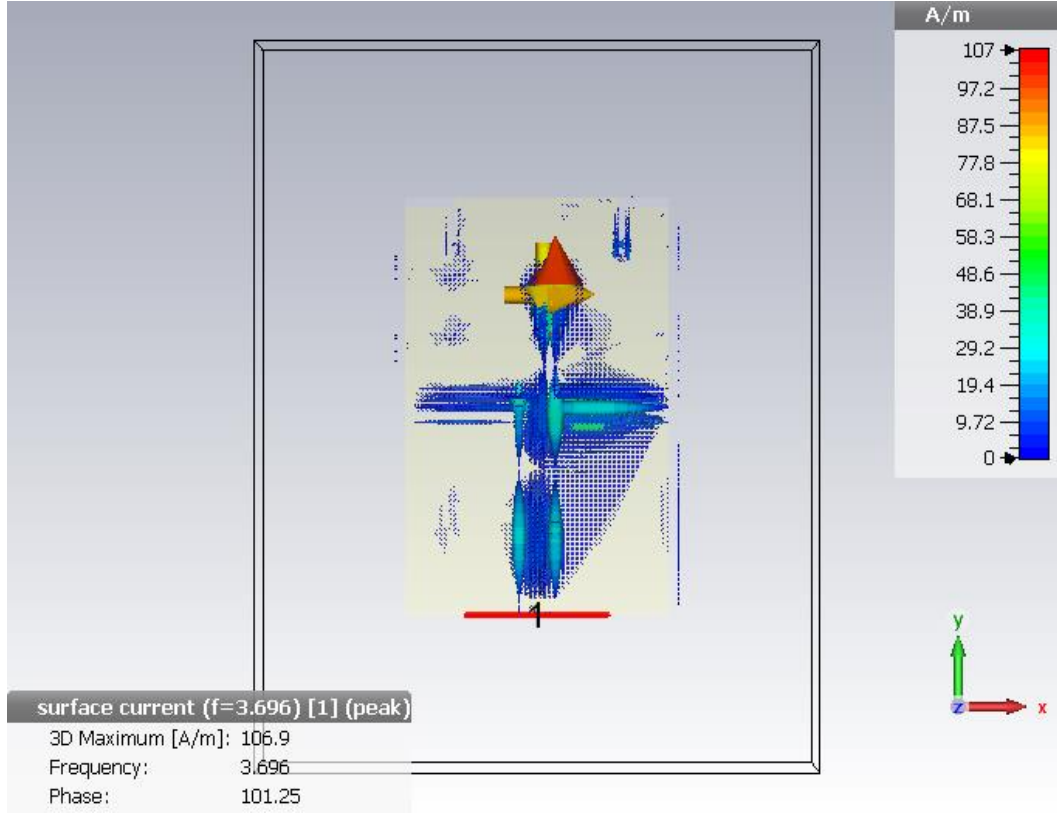
3.696 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.78 3.969 GHz için polar kazanç grafiği.

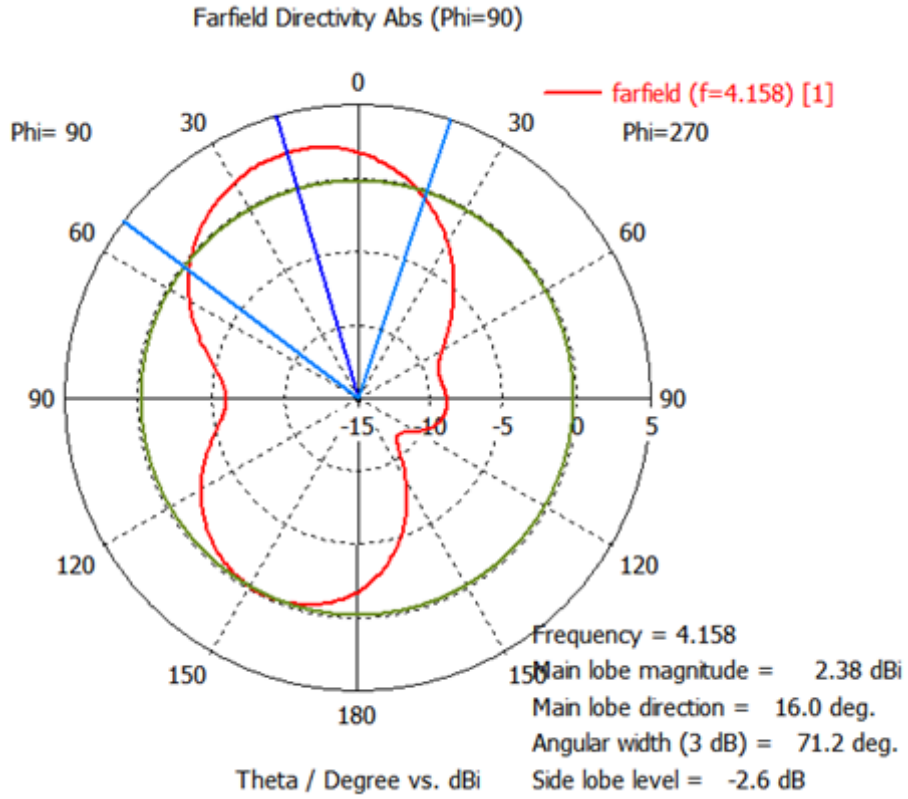


Şekil 6.79 3.969 GHz için ışıma yoğunluğu.

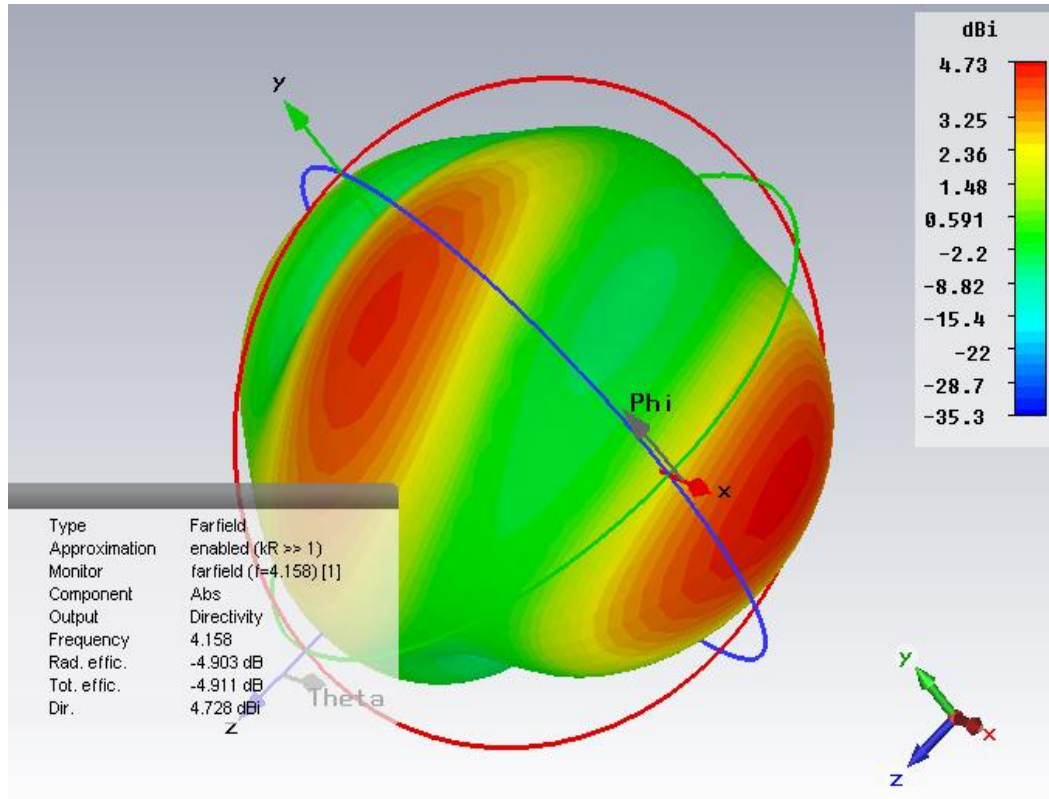


Şekil 6.80 3.969 GHz için akım yoğunluk grafiği.

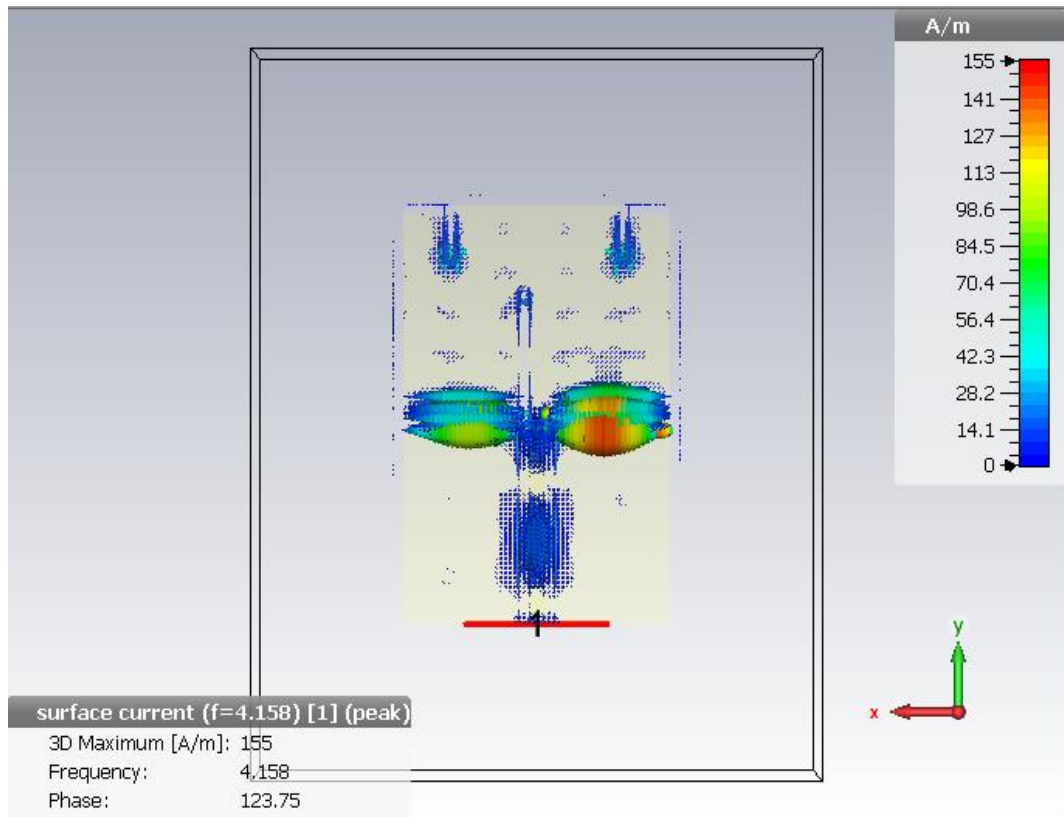
4.158 GHz İçin Grafikler



Şekil 6.81 4.158 GHz için polar kazaç grafiği.



Şekil 6.82 4.158 GHz için ışıma yoğunluğu.



Şekil 6.83 4.158 GHz için akım yoğunluğu.

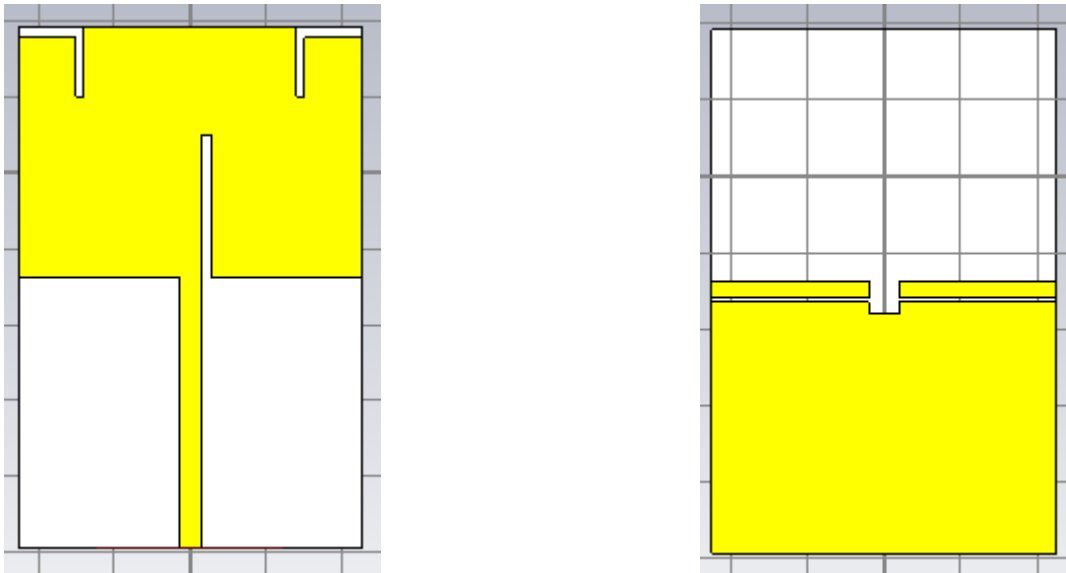
Anten geometrisi üzerinde uygulanmış olan optimizasyon ve slotlardan dolayı -5 dB ve -10 dB seviyelerinde frekanslar elde edilmiştir. Elde edilen bu frekanslarımızdaki -5 dB seviyesinde bulunan 1.8 GHz, 2.4 GHz ve 2.6 GHz'i -10 dB indirebilmek için sırasıyla şu işlemler yapılmıştır.

6.1.2.1. Frekansların -10 dB Seviyesine Çekilmesi

Antenimizin -5 dB seviyesindeki 3 frekans bulunmaktadır. Bunlar 1.8 GHz, 2.4 GHz ve 2.6 GHz dir. Elde edilen bu frekansların -10 dB seviyesine çekilebilmesi için sırasıyla şu işlemler ele alınacaktır;

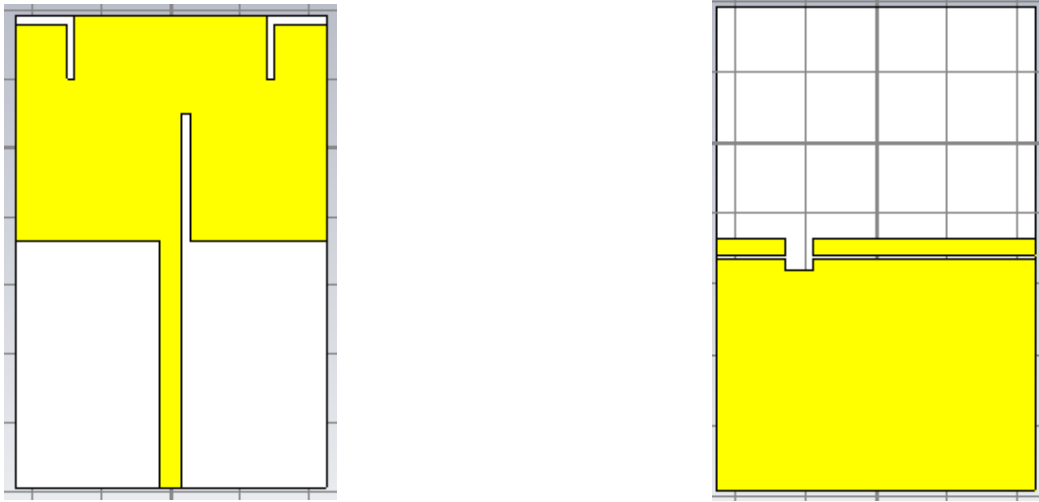
6.1.2.2. Ground Düzlemine Uygulanmış Olan Slotların Sağa ve Sola Kaydırılarak Analiz Yapılması

Antenimizin en son üstten ve alttan görünümü şu şekildedir;

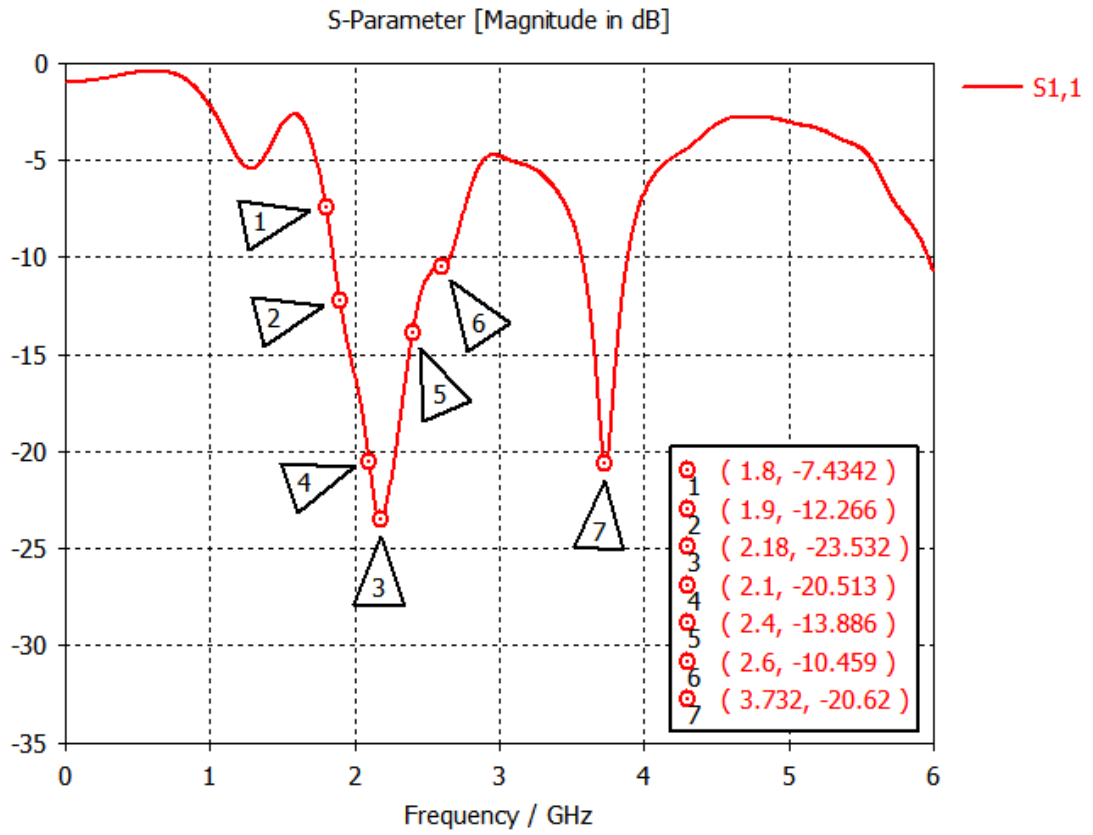


Şekil 6.84 Referans antenin üstten ve alttan görünümü.

- i. Toprak düzlem üzerindeki zeminine uygulanmış olan 4mm boyundaki yarığın 10.9125 (W/4) mm sağa kaydırılmış olup analizler $h=1.5$ mm ve $h=2$ mm olarak yapılmıştır. Antenin alttan ve üstten görünümü ve analiz sonucu şu şekildedir;



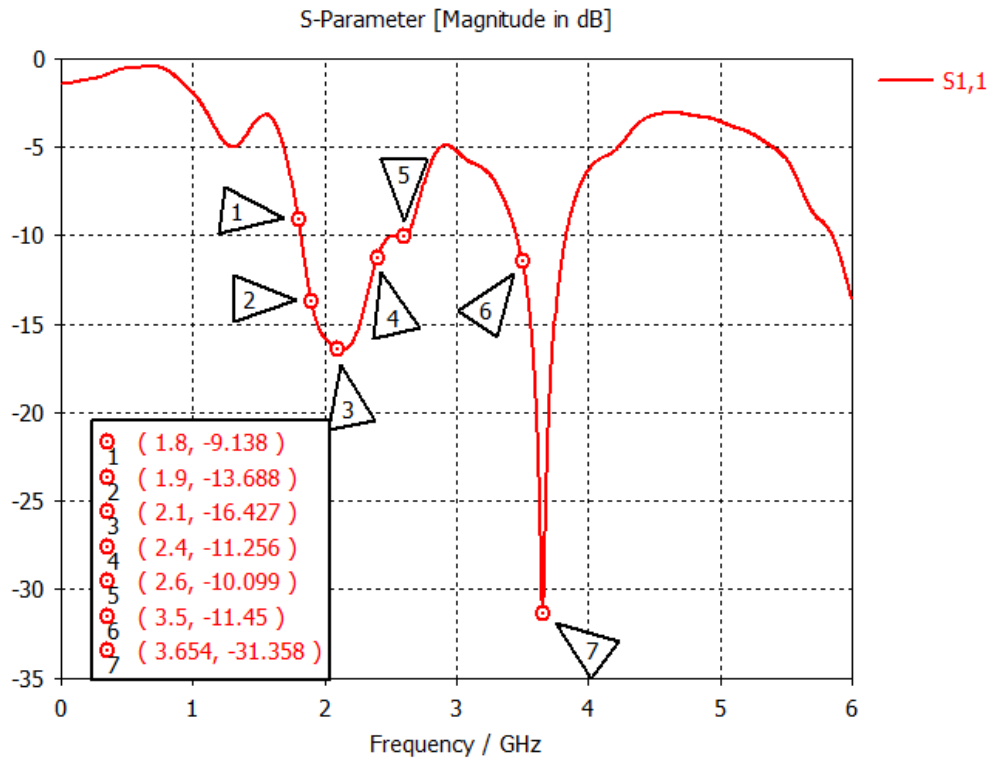
Şekil 6.85 Toprak düzlem üzerindeki yarığın sağa kaydırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.



Şekil 6.86 Toprak düzlemin yarıklarının sağa kaydırılmış S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).

Tablo 6.9 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=1.5 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-7.4342	-	2.82
1.9	-12.266	-	2.68
2.1	-20.513	-	2.8
2.18	-23.532	1148.2	2.71
2.4	-13.886	-	2.48
2.6	-10.459	-	1.76
3.732	-20.62	1119.5	1.53



Şekil 6.87 Ground slotunun sağa kaydırılmış S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).

Analiz sonucunda h=2mm göre 3.5 GHz'de frekans elde edilmiştir. Fakat h=1.5 mm göre elde edilememiştir. -5 dB seviyesinde 1.8 GHz de frekans elde edilmiştir. -10 dB seviyesinde 1.9 GHz, 2.1 GHz, 2.4 GHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz ve 3.654 GHz frekanslar elde edilmiştir. Frekanslara ait geri dönüş kaybı, bant genişliği ve maksimum kazanç şu şekildedir;

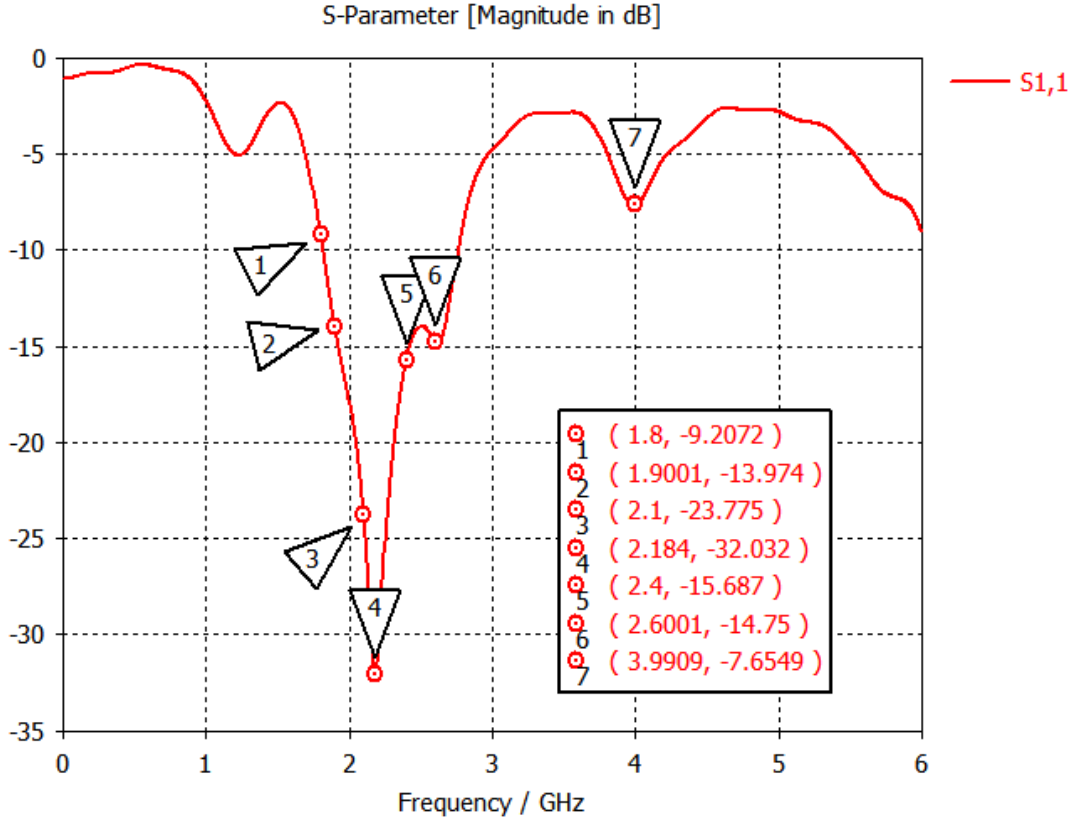
Tablo 6.10 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-9.138	-	2.78
1.9	-13.688	-	2.73
2.1	-16.427	1185.7	2.81
2.4	-11.256	-	2.37
2.6	-10.099	-	2.01
3.5	-11.45	-	4.26
3.654	-31.358	1135	4.65

- i. Ground (toprak) zeminine uygulanmış olan 4 mm boyundaki slotu 10.9125 (W/4) mm sola kaydırılmıştır. Antenin alttan ve üstten görünümü ve analiz sonucu şu şekildedir;



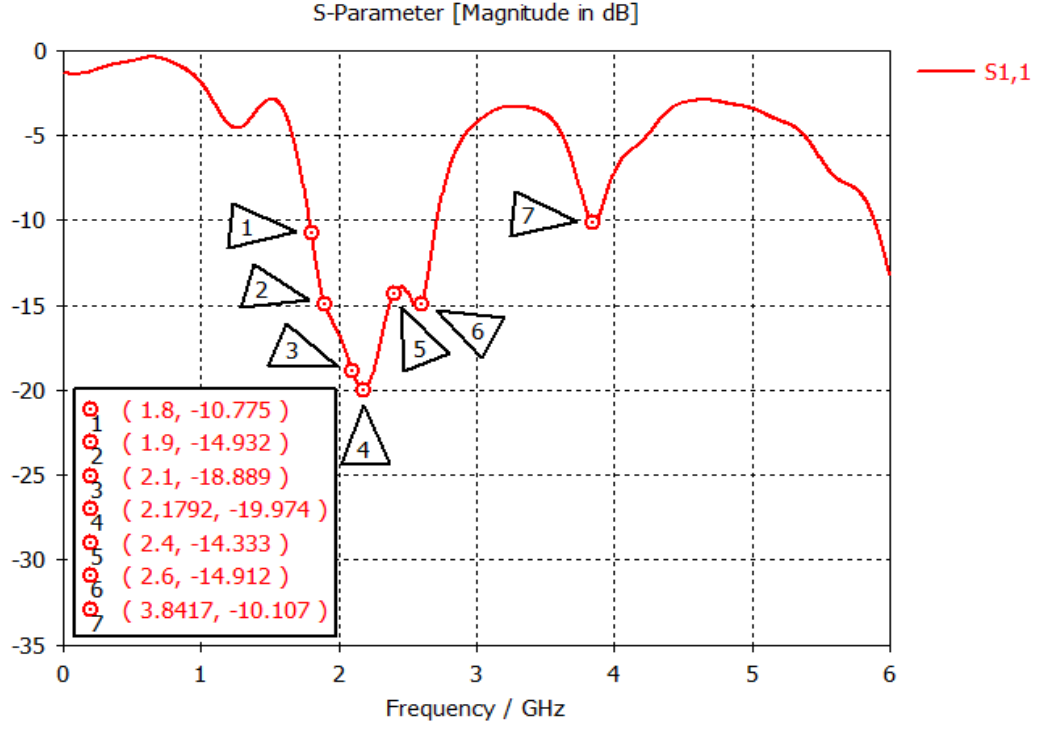
Şekil 6.88 Toprak Düzlem üzerindeki yarığın sola kaydırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.



Şekil 6.89 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).

Tablo 6.11 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=1.5 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-9.2072	-	2.66
1.9	-13.974	-	2.74
2.1	-13.775	-	2.74
2.184	-32.032	1200	2.67
2.4	-15.687	-	2.09
2.6	-14.75	-	3.02



Şekil 6.90 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).

Tablo 6.12 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-10.775		2.68
1.9	-14.932		2.74
2.1	-18.889		2.7
2.178	-19.973	1300	2.57
2.4	-14.333		2.08
2.6	-14.912		3.37
3.8417	-10.107	616	4.81

Sonuç; Ground zeminine uygulanmış olan slot, sağa ve sola 10,9125 mm kaydırılarak analiz yapılmıştır. Analizlerde de görüldüğü gibi sağa kaydırılmış olan slotun performansının, sola kaydırılmış olan slotun performansından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

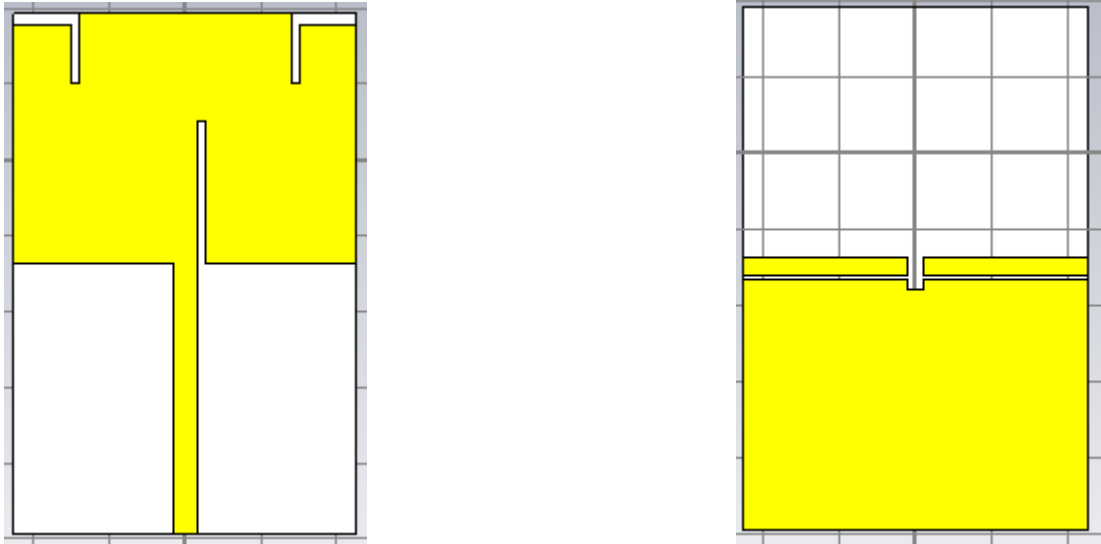
6.1.2.3. Ground Düzlemine Uygulanmış Olan Slotun Boyunun Attırılması Azaltılması

Antenimizin en son alttan ve üstten görünümü şekillerdeki gibidir. Ground zemin üzerindeki slotun boyu 4 mm dir.

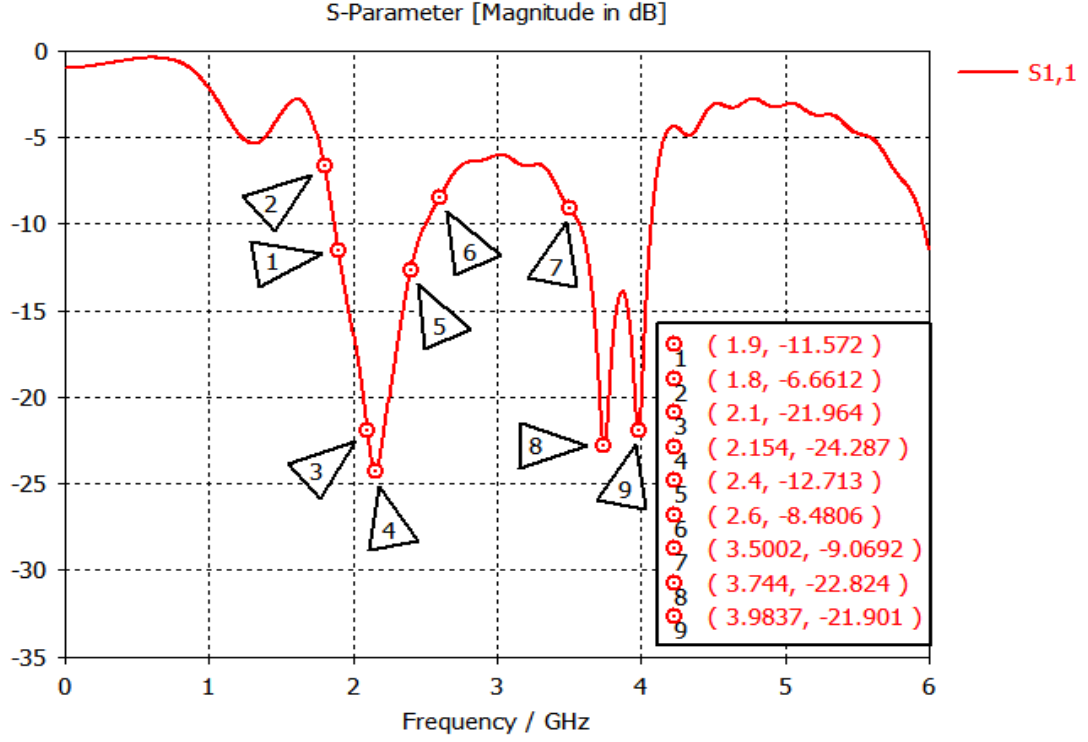


Şekil 6.91 Antenin alttan ve üstten görünümü.

- ✓ Slotun genişliği 2 mm yapılmıştır antenin alttan ve üstten görünümü, analiz sonucu şu şekildedir.



Şekil 6.92 Ground slot genişliği 2 mm olan antenin üstten ve alttan görünümü.

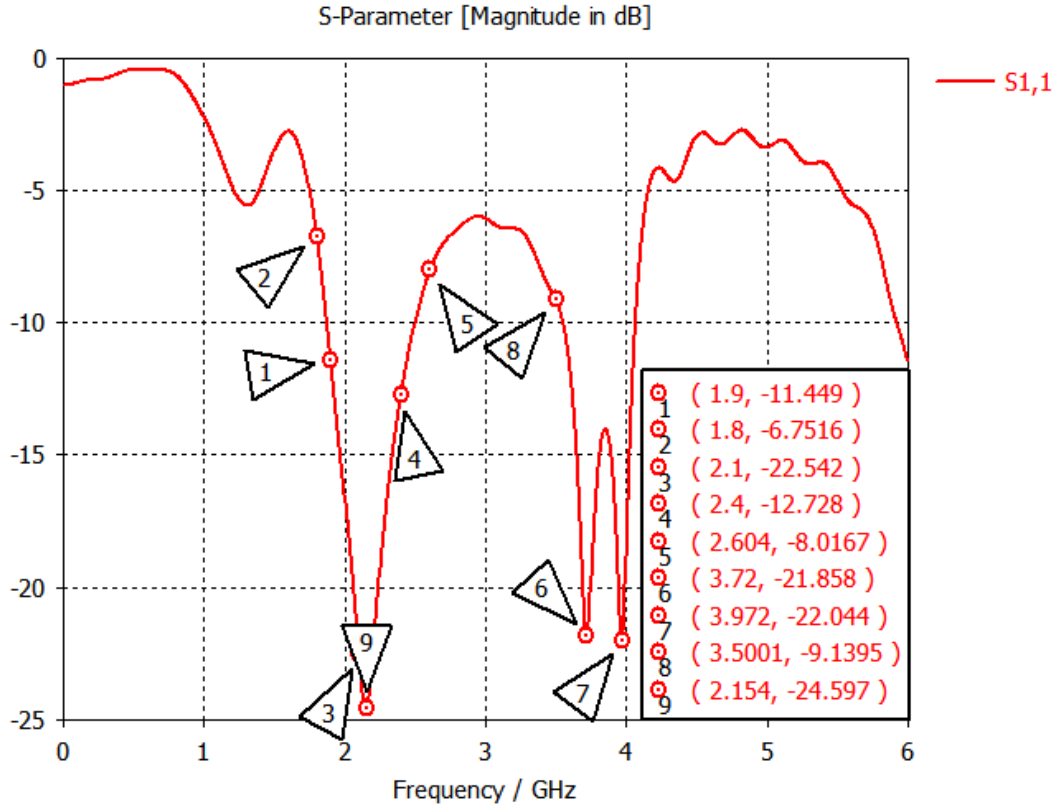


Şekil 6.93 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).

Tablo 6.13 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=1.5 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-6.6612	-	3.01
1.9	-11.572	-	2.65
2.1	-21.964	-	2.63
2.154	-24.287	1147.6	2.62
2.4	-12.713	-	2.25
2.6	-8.4806	-	1.92
3.5	-9.0692	-	3.81
3.744	-22.824	902.5	4.21
3.9837	-21.901	902.5	4.36

h=1.5 mm göre yapılan analizde – 5 dB seviyesinde 1.8, 2.6 ve 3.5 GHz frekansları elde edilmiştir.



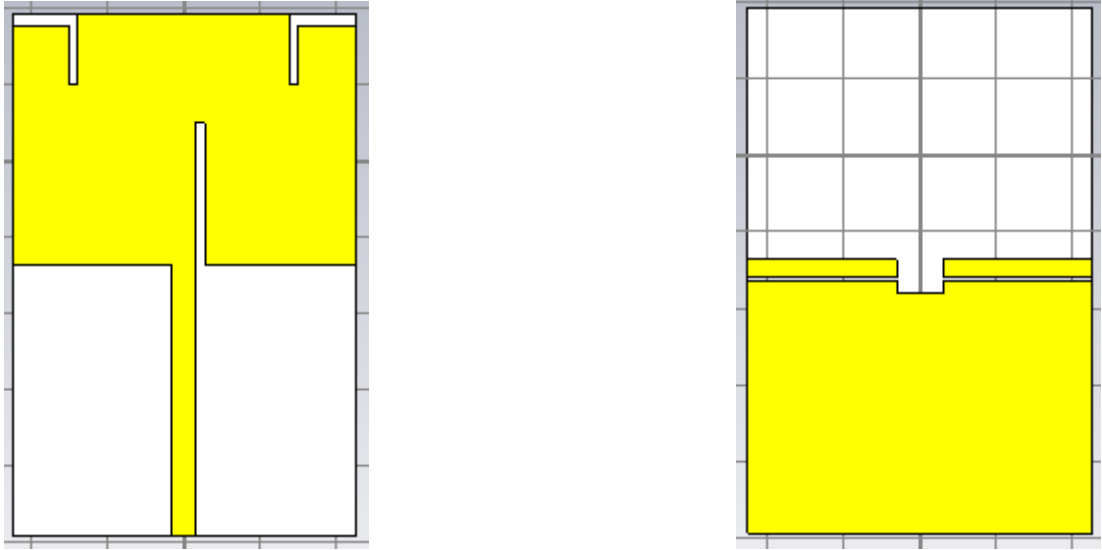
Şekil 6.94 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).

Burada dikkat edilmesi gereken 3.5 GHz de frekans elde edilirken, 1.8 GHz ve 2.6 GHz frekansları –tekrardan -10 dB seviyesinden aşağı inmiştir. Bilgiler Tablo 6.14’de görüldüğü gibidir.

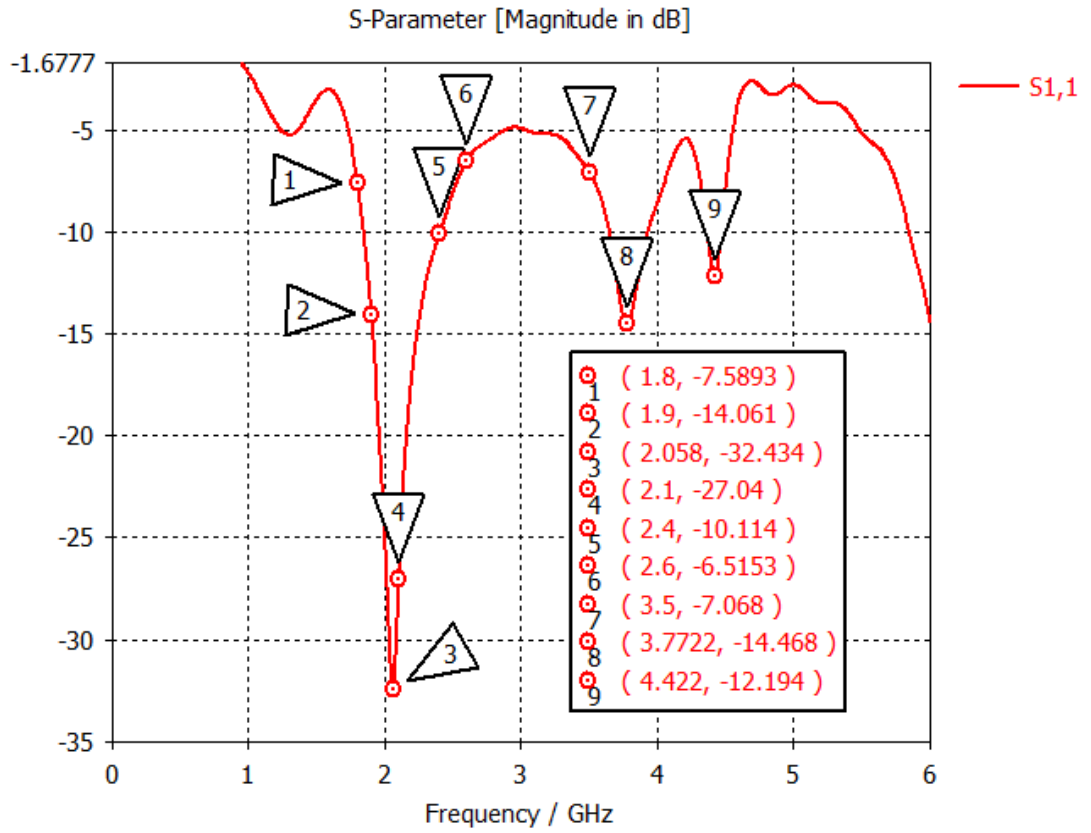
Tablo 6.14 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-6.7516	-	2.99
1.9	-11.499	-	2.67
2.1	-22.542	-	2.66
2.154	-24.597	1177.6	2.65
2.4	-12.728	-	2.24
2.6	-8.0167	-	1.93
3.5	-9.1395	-	3.75
3.72	-21.858	1167.4	4.18
3.972	-22.044		4.45

- ✓ Slotun genişliği 6 mm yapılmıştır antenin alttan ve üstten görünümü, analiz sonucu şu şekildedir.



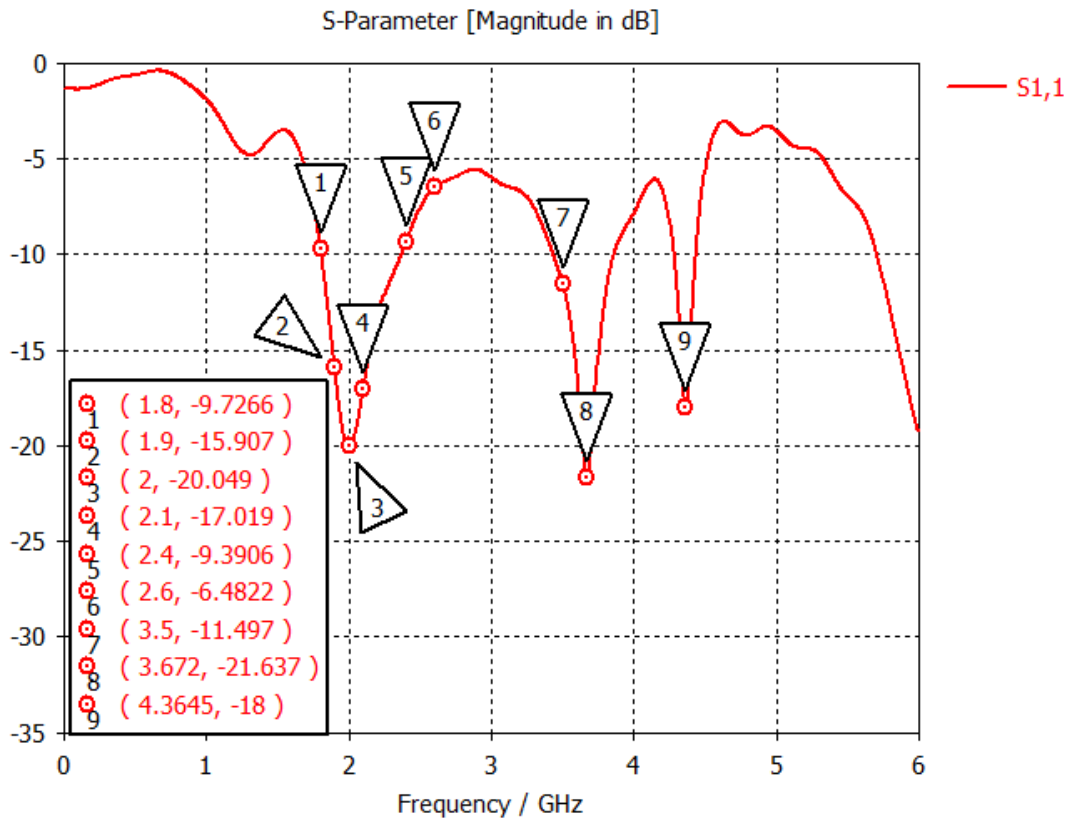
Şekil 6.95 Ground slot genişliği 6 mm olan antenin üstten ve alttan görünümü.



Şekil 6.96 S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).

Tablo 6.15 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) h= 1.5 mm	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-7.5893	-	3.01
1.9	-14.061	-	2.63
2.058	-32.246	1142	2.6
2.1	-27.034	-	2.59
2.4	-10.112	-	2.25
2.6	-6.5136	-	2.07
3.5	-7.0671	-	4.02
3.7722	-14.471	1190	4.61
4.422	-12.2	339.6	5.51



Şekil 6.97 S11 frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).

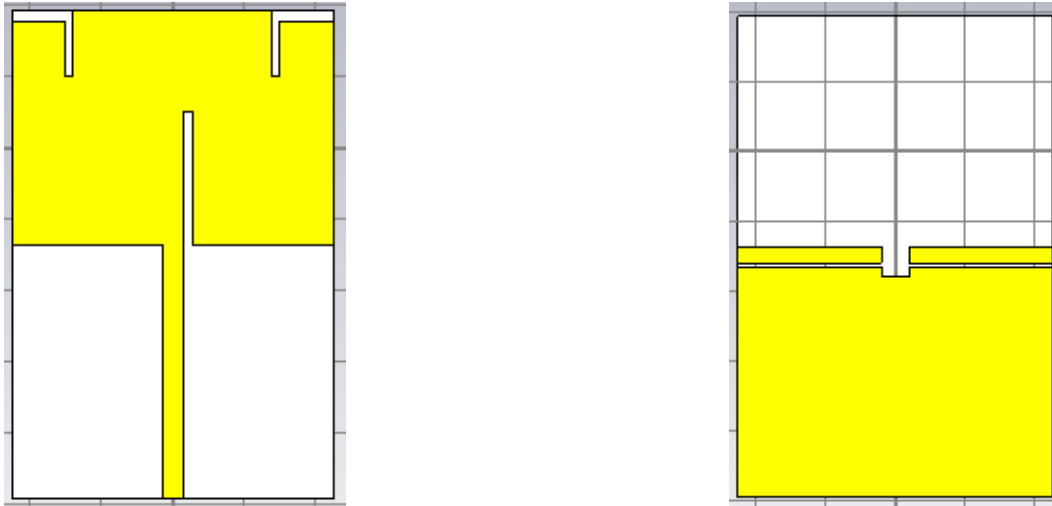
Analiz sonucunda 1.8 GHz, 2.4 GHz, 2.6 GHz frekanslarının -10 dB seviyesinden aşağı inmiştir. Bilgiler Tablo 6.12’de görüldüğü gibidir.

Tablo 6.16 Geri dönüş kaybı -5 dB ve -10 dB seviyesinde anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) h= 2 mm	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-9.7266	-	2.85
1.9	-15.904	-	2.63
2	-20.249	1052.4	2.62
2.1	-17.019	-	2.61
2.4	-9.3906	-	2.1
2.6	-6.4822	-	2.37
3.5	-11.497	-	4.28
3.672	-21.637	1151.8	4.62
4.3645	-18	346.4	5.37

6.1.2.4. Dielektrik Malzemenin Değerinin Azaltılması ve Arttırılması

Referans olarak almış olduğumuz antenimizin parametre değerleri ve antenin üstten ve alttan görünümü şekildeki gibir;



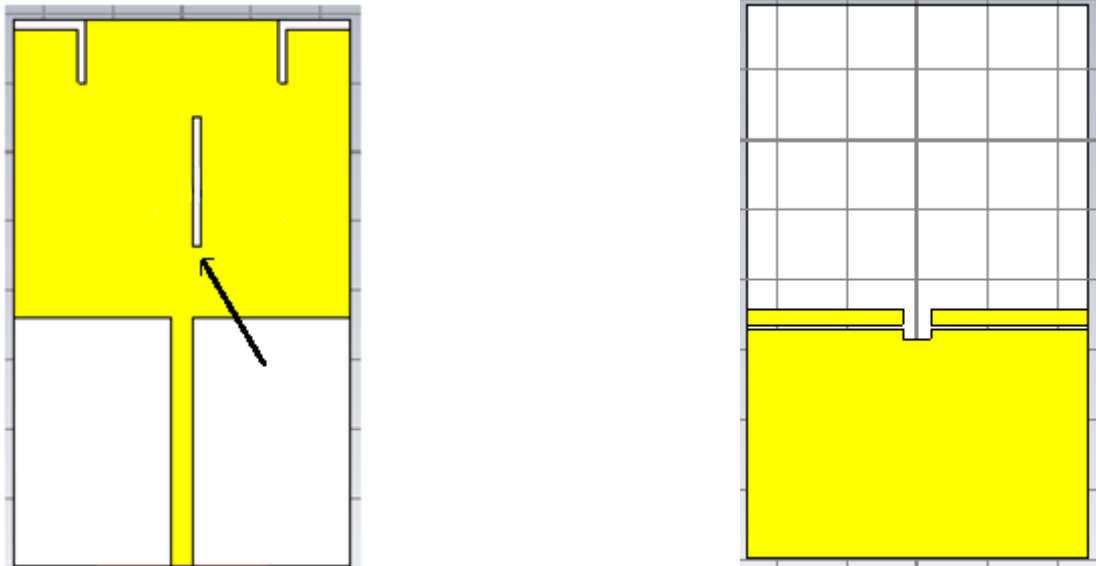
şekil 6.98 Referans antenin alttan ve üstten görünümü.

Dilektrik (ϵ_r) değerimiz 4,3’dr. Dielektrik değeri 3.6 ile 5.0’a çıkartılıyor hesaplamalar su şekildedir;

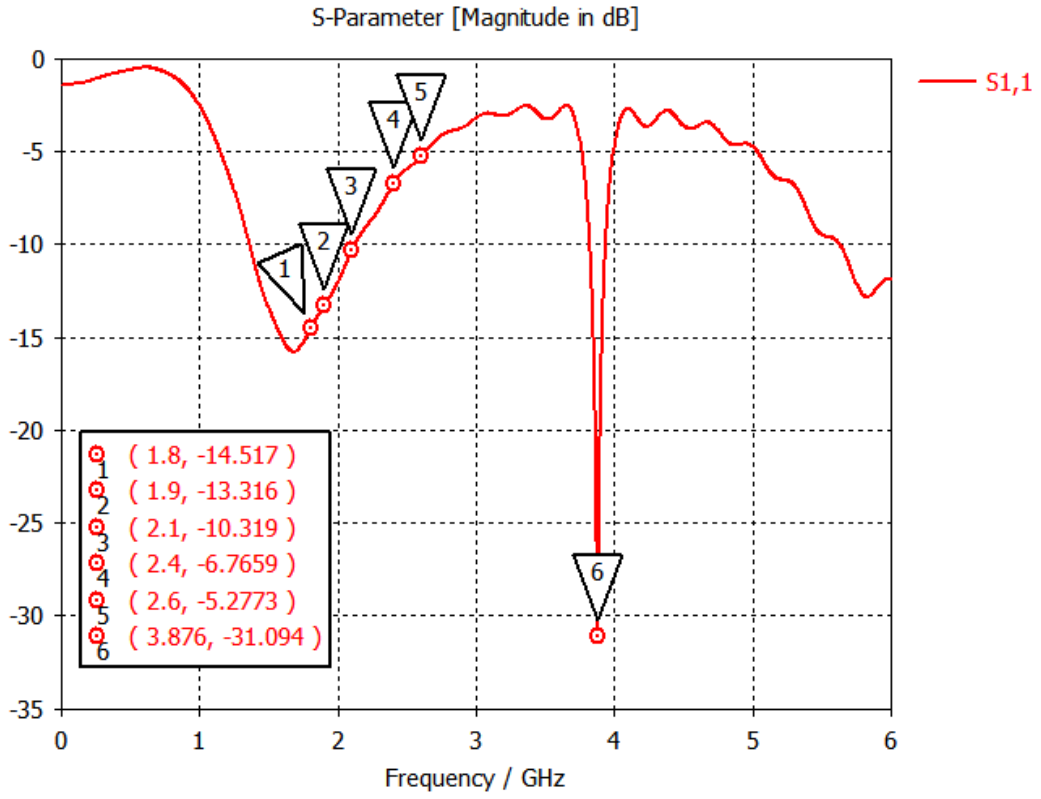
Tablo 6.17 Dielektrik malzemeye göre hesaplamalar.

Parametreler	Dielektrik Katsayısı ($\epsilon_r = 3.6$ 'e göre hesaplamalar)	Dielektrik Katsayısı ($\epsilon_r = 4.3$'e göre hesaplamalar)	Dielektrik Katsayısı ($\epsilon_r = 5.0$ 'e göre hesaplamalar)
f_0	2.1 GHz	2.1 GHz	2.1 GHz
ϵ_r	3.6	4.3	5
h	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm
W	47.1 mm	43.65 mm	41.4 mm
L	41.4 mm	33.40 mm	35.5 mm
W_f	3.28	3 mm	2.58 mm
L_f	35.7 mm	35.7 mm	35.7 mm
W_g	$W * 2$	$W * 2$	$W * 2$
L_g	$L * 2.5$	$L * 2.5$	$L * 2.5$
Slot boyu	4 mm	4 mm	4 mm

- a. $\epsilon_r = 3.6$ 'e göre antenin üstten ve alttan görünümü ve analiz sonucu şu şekildedir;

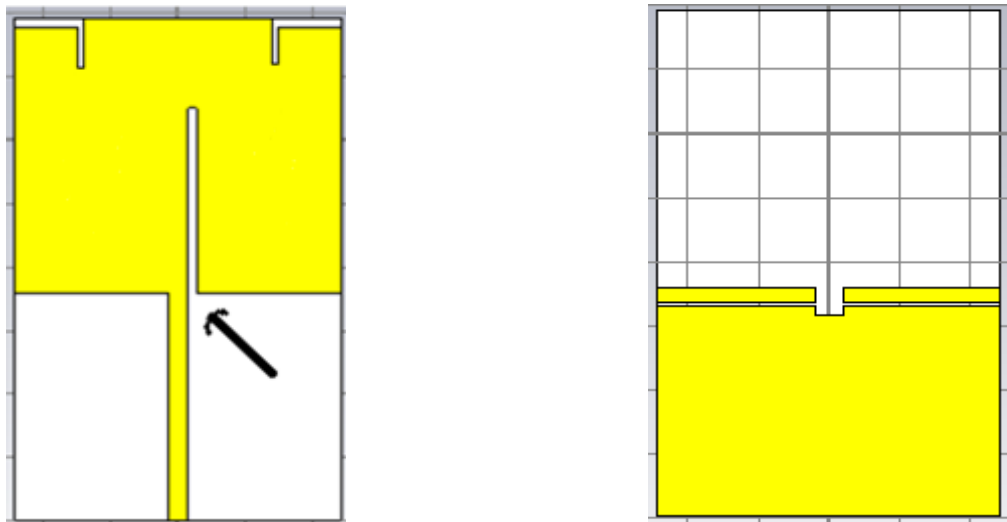


Şekil 6.99 Boyu büyütülmüş olan antenin alttan ve üstten görünümü.

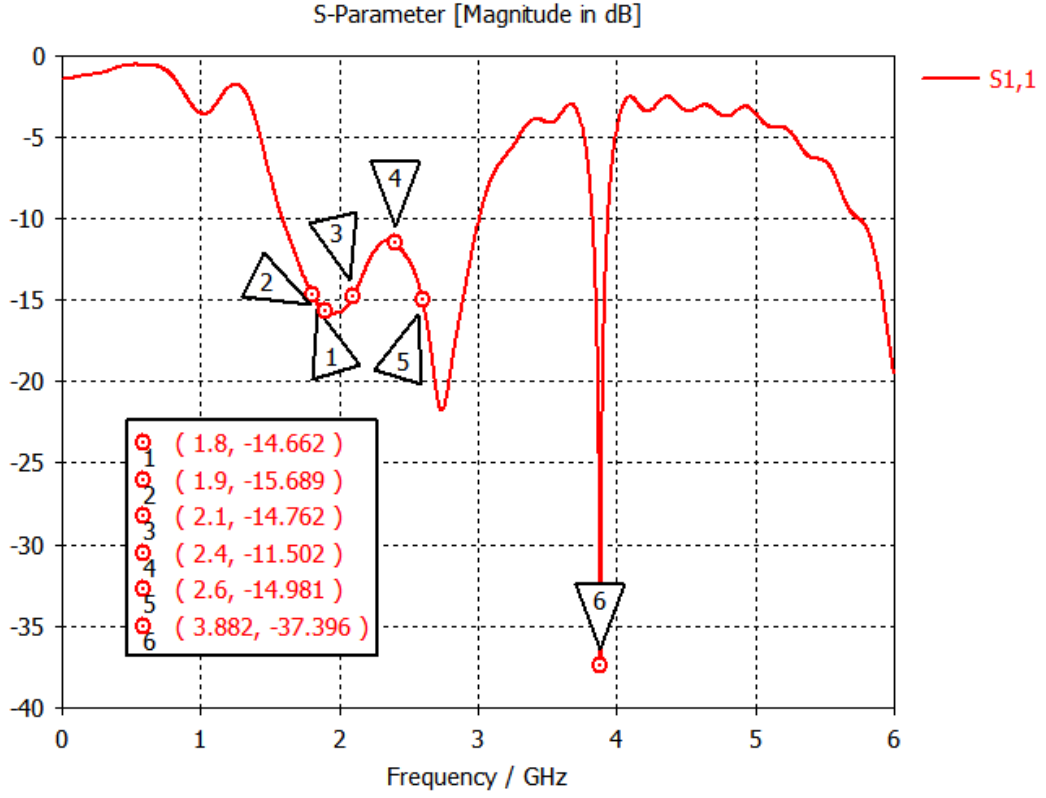


Şekil 6.100 S11 frekansa bağlı değişim grafiği.

a1. Şekil 6.89’da antenin üstten görünümünde boyutlarının artmasından dolayı mikroşerit yama üzerine atılmış olan slot, yama içerisinde kalmıştır. Bundan dolayı birinci olarak besleme hizasındaki slotun boyu arttırılmış olup, antenin üstten, alttan görünümü ve S11 grafiği şu şekildedir;

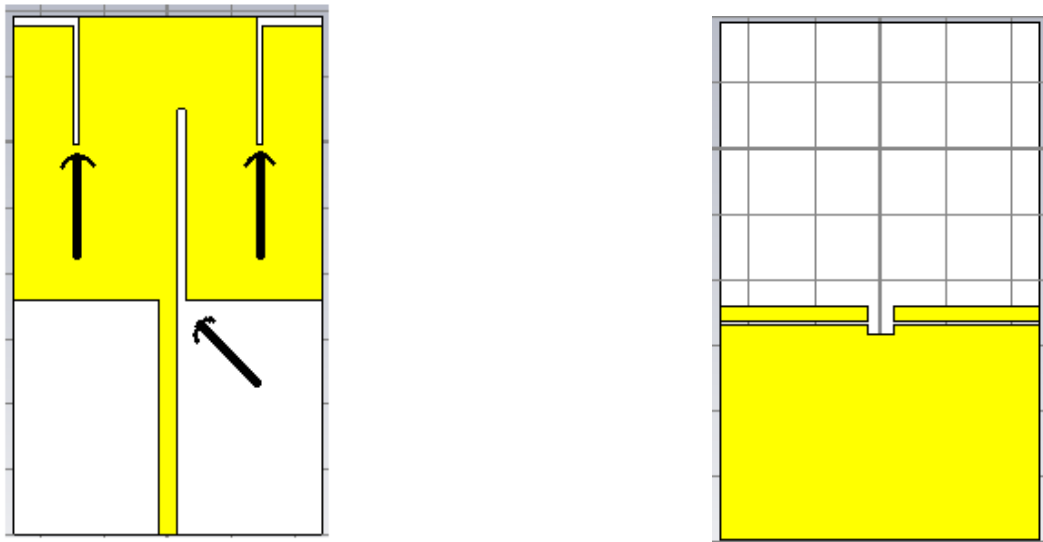


Şekil 6.101 Slot boyu arttırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.

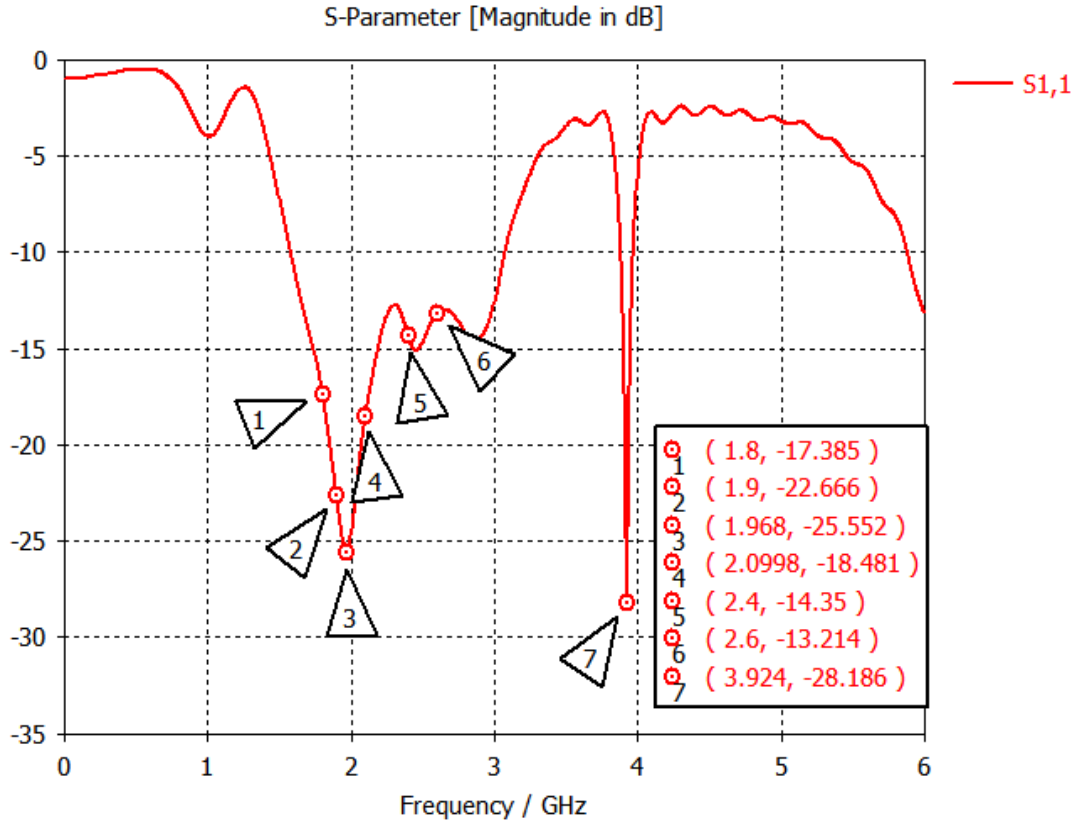


Şekil 6.102 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği.

a2. Antenin üstten görünümünde boyutlarının artmasından dolayı mikroşerit yama üzerine atılmış olan slot, yama içerisinde kalmıştır. Bundan dolayı ikinci analiz olarak patch üzerindeki 3 slotun boyu eşit olarak artırılmış olup, antenin üstten, alttan görünümü ve S11 grafiği şu şekildedir;



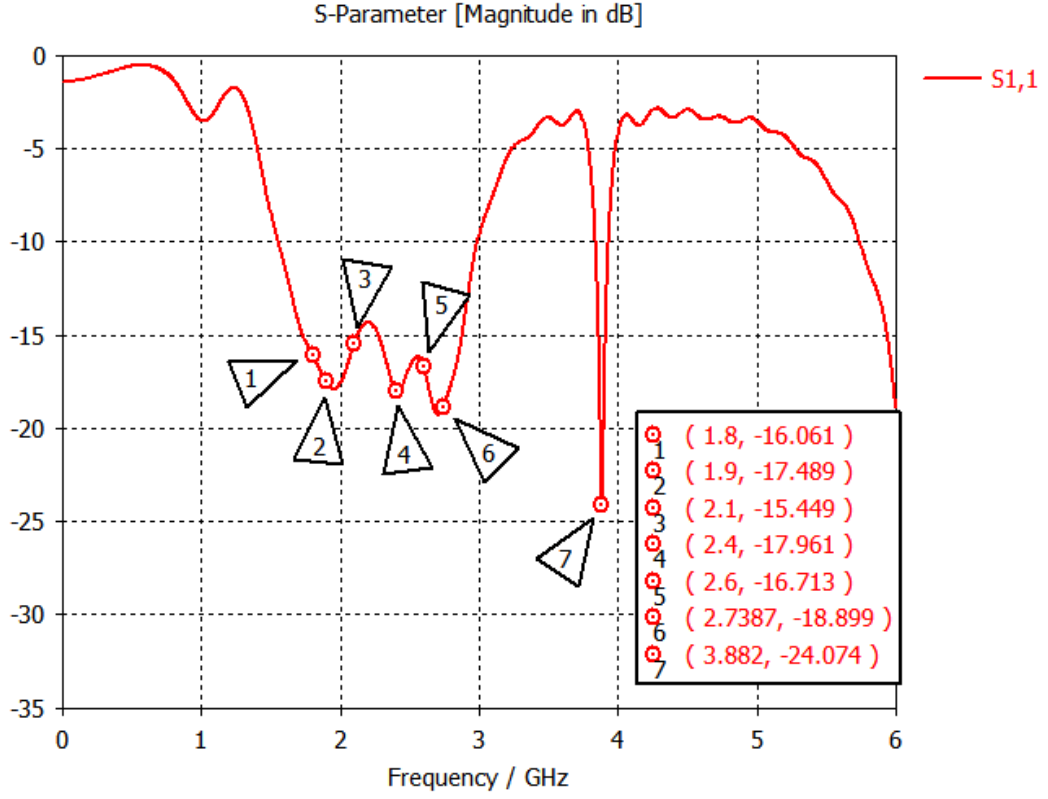
Şekil 6.103 Slotlarının boyları artırılmış antenin alttan ve üstten görünümü.



Şekil 6.104 S₁₁ Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=1.5 mm).

Tablo 6.18 Dielektrik ($\epsilon_r = 3.6$) malzemeye göre boyu artmış anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S ₁₁) (h=1.5 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-17.385	-	2.7
1.9	-22.666	-	2.72
1.968	-25.552	1905.2	2.67
2.1	-18.47	-	2.38
2.4	-14.35	-	3.47
2.6	-13.214	-	4.37
3.924	-28.186	175.2	4.96

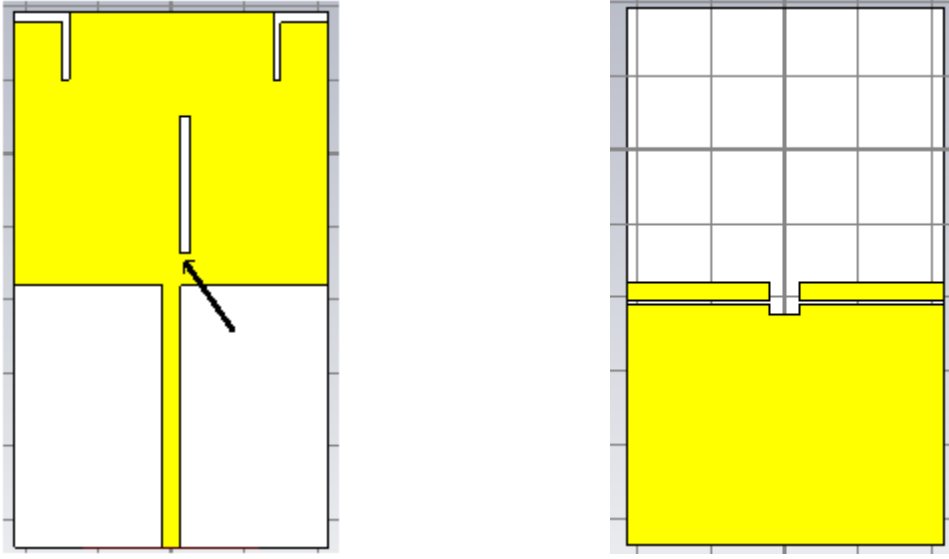


Şekil 6.105 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).

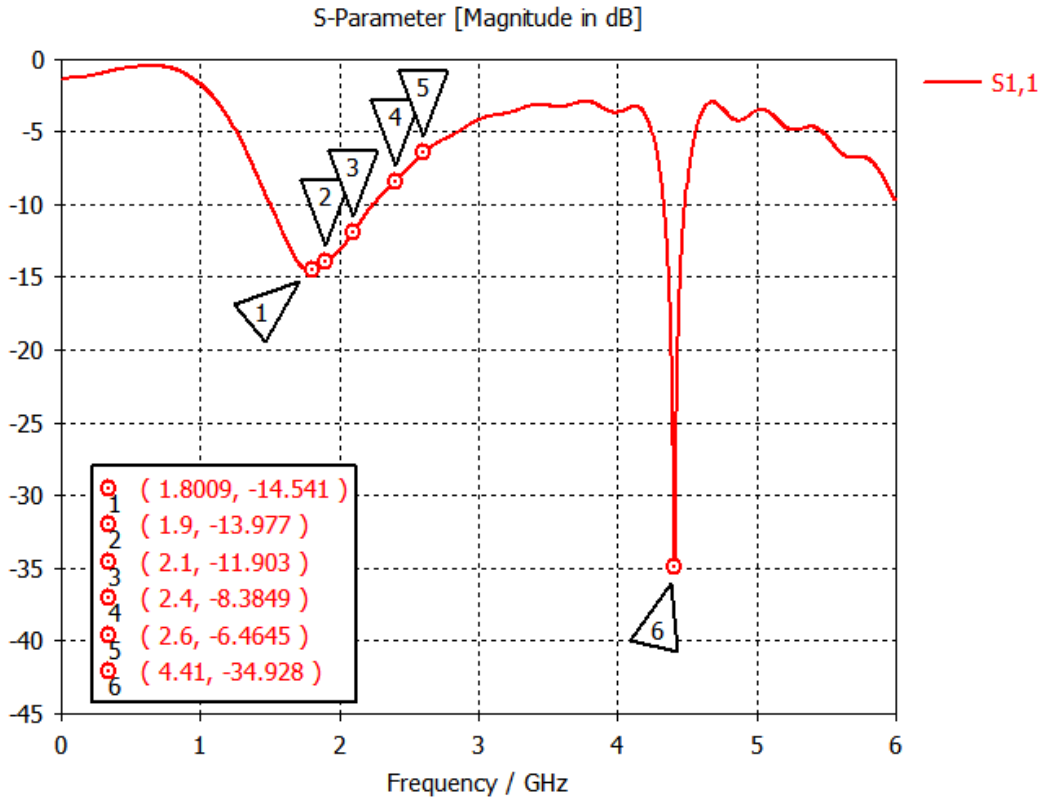
Tablo 6.19 Dielektrik ($\epsilon_r = 3.6$) malzemeye göre boyu artmış anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-16.062	-	2.74
1.9	-17.49	-	2.7
2.1	-15.451	-	2.26
2.4	-17.962	1824.2	4.06
2.6	-16.714	-	4.22
2.7387	-18.899	-	4.47
3.882	-24.145	196.5	4.87

- b. $\epsilon_r = 5$ 'e göre antenin üstten ve alttan görünümü ve analiz sonucu şu şekildedir;

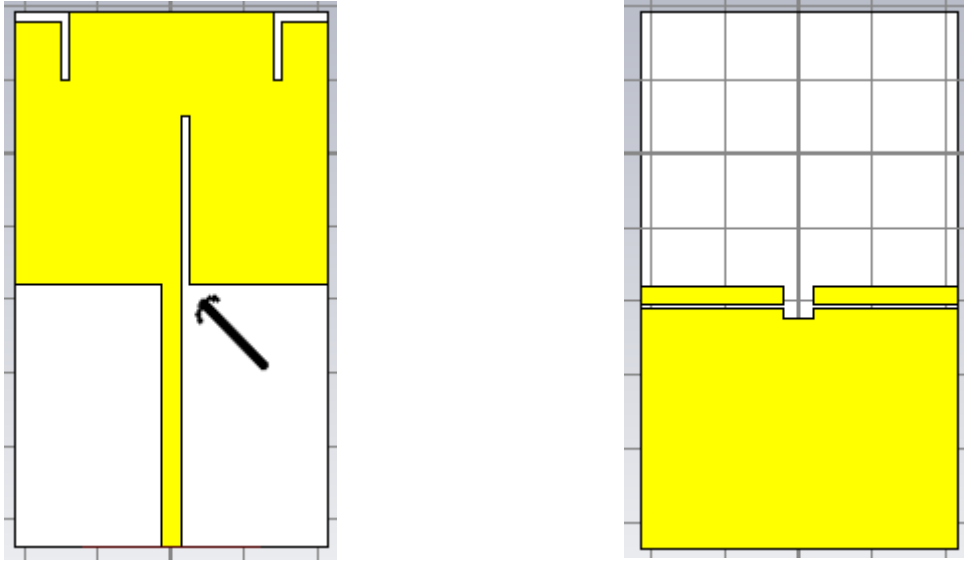


Şekil 6.106 Boyu kısaltılmış olan antenin alttan ve üstten görünümü.

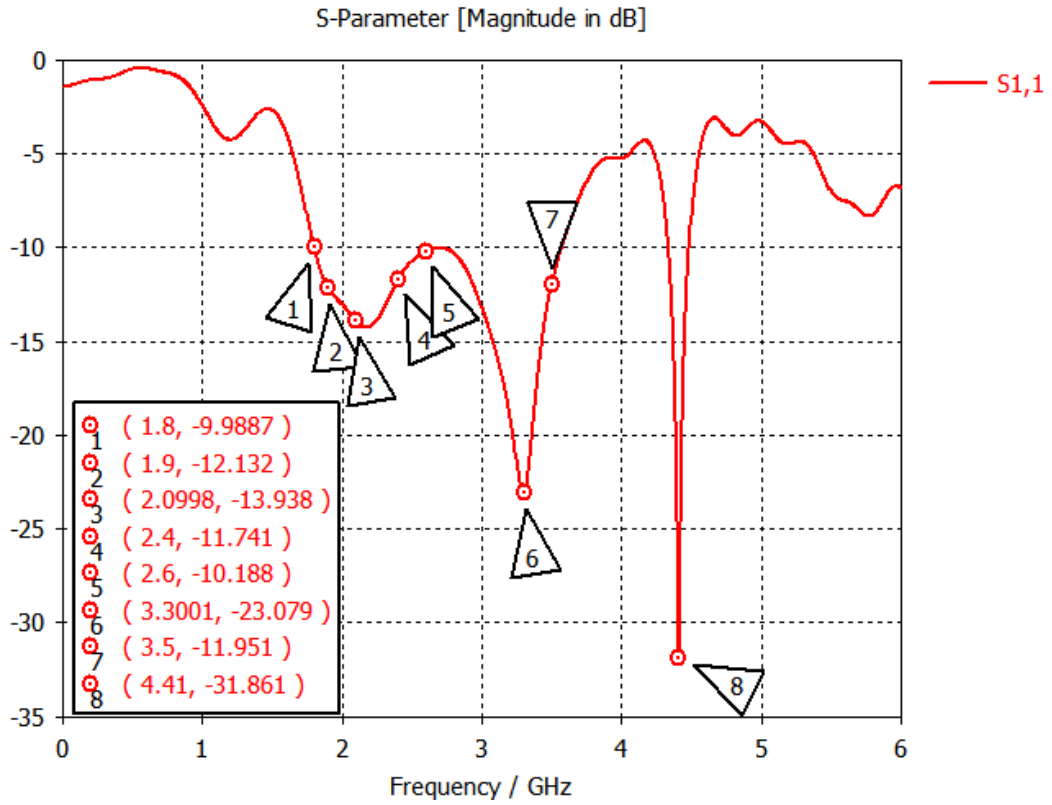


Şekil 6.107 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği.

- b1.** Antenin üstten görünümünde boyutlarının azalmasından dolayı mikroşerit yama üzerine atılmış olan slot, yama içerisinde kalmıştır. Bundan dolayı birinci olarak besleme hizasındaki slotun boyu arttırılmış olup, antenin üstten, alttan görünümü ve S11 grafiği şu şekildedir;



Şekil 6.108 Slot boyu arttırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.

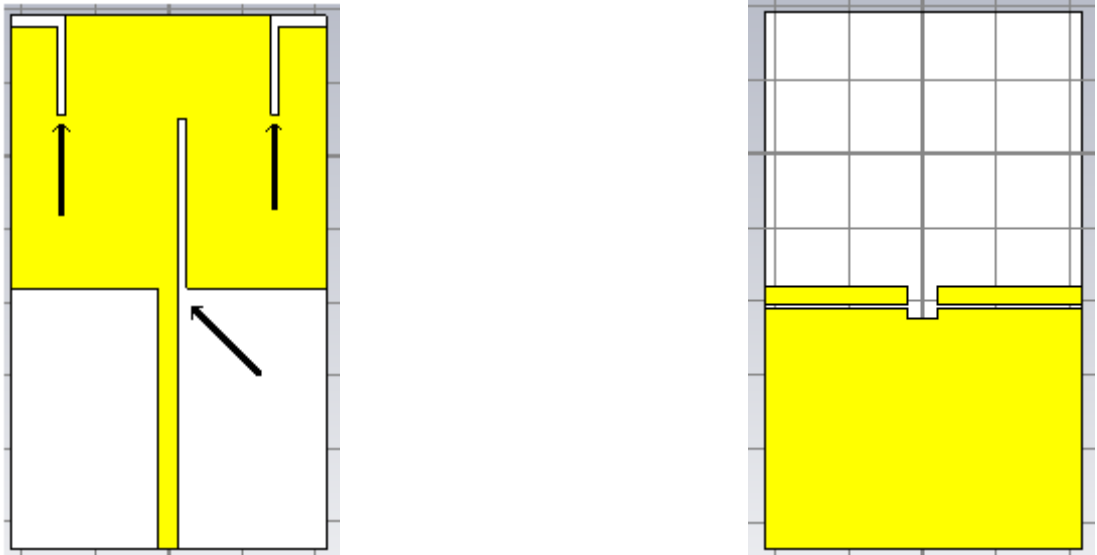


Şekil 6.109 S11 Frekanslara bağlı değişim grafikleri (h=2).

Tablo 6.20 Dielektrik ($\epsilon_r = 5$) malzemeye göre boyu azalmış anten.

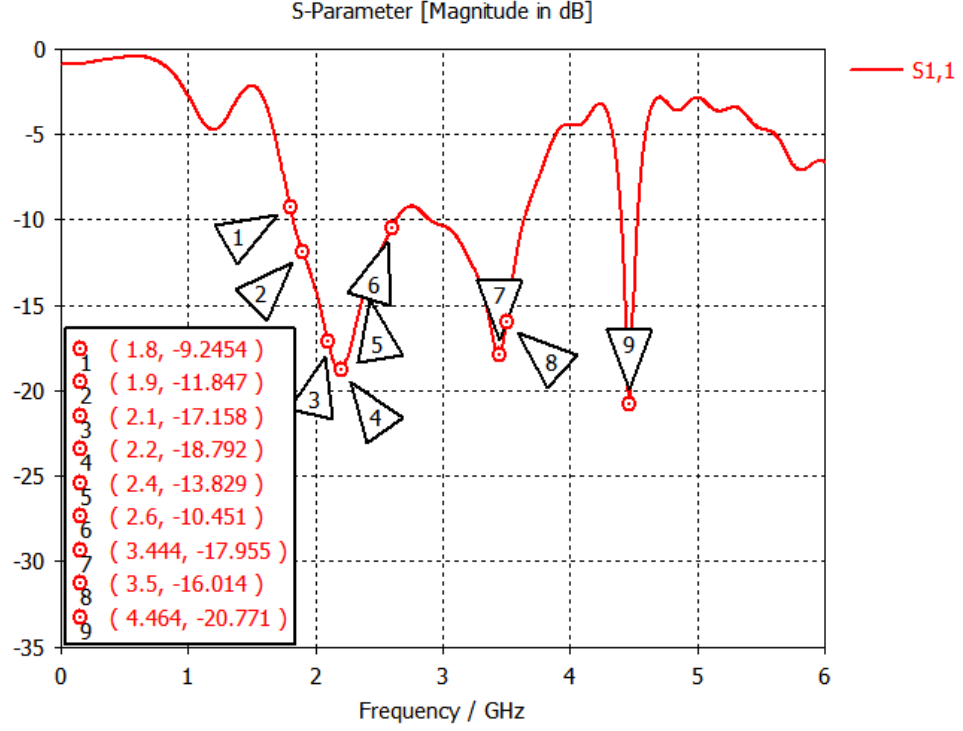
Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-9.9887	2359.1	2.82
1.9	-12.132		2.83
2.1	-13.095		2.8
2.4	-11.741		2.12
2.6	-10.188		2.66
3.3	-23.079		4.23
3.5	-11.951		4.89
4.41	-31.861	330.9	5.26

b2. Antenin üstten görünümünde boyutlarının artmasından dolayı mikroşerit yama üzerine atılmış olan yarık yama içerisinde kalmıştır. Bundan dolayı ikinci analiz olarak patch üzerindeki 3 slotun boyu eşit olarak artırılmış olup, antenin üstten, alttan görünümü ve S11 grafiği şu şekildedir;



Şekil 6.110 Yarık boyları artırılmış antenin üstten ve alttan görünümü.

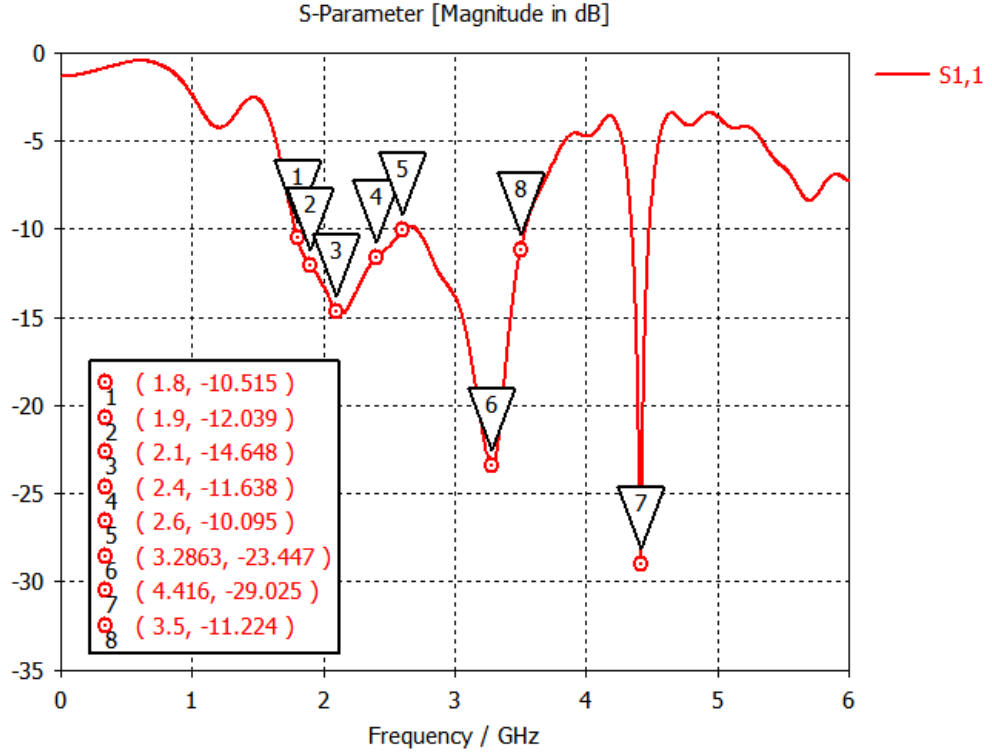
- Analiz sonuçlarında en iyi sonuç anten geometrisi Şekil 6.103'de yapılan tasarımıdır. Bundan dolayı $h=2$ olarak yapılan analize karşılaştırma yapılabilmesi için $h=1.5$ mm deki analiz sonuçları eklenmiştir.



Şekil 6.111 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği ($h=1.5$ mm).

Tablo 6.21 Dielektrik ($\epsilon_r = 5$) malzemeye göre boyu azalmış anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) ($h=1.5$ mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-9.2454	-	2.74
1.9	-11.847	-	2.77
2.1	-17.158	-	2.77
2.2	-18.792	2205.4	2.67
2.4	-13.829	-	2.22
2.6	-10.451	-	1.91
3.444	-17.955	2205.4	4.58
3.5	-16.104	-	4.66
4.464	-20.771	256.9	5.03



Şekil 6.112 S11 Frekanslara bağlı değişim grafiği (h=2 mm).

Tablo 6.22 Dielektrik ($\epsilon_r = 5$) malzemeye göre boyu azalmış anten.

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-10.515	-	2.77
1.9	-12.039	-	2.81
2.1	-14.648	-	2.76
2.4	-11.638	-	2.01
2.6	-10.095	-	2.37
3.2863	-23.447	2191.6	4.9
3.5	-11.224	-	4.43
4.41	-29.025	318.3	4.98

7. SONUÇLAR

Tablo 7.1 Analiz sonuçları.

Anten Tasarımı	Anten Boyutları (mm) $W_g \times L_g$	Rezonans Frekansı (f_0) GHz		Geri Dönüş Kaybı (dB)		Bant Genişliği (MHz)		Maksimum Anten Kazancı (dBi)		Duran Dalga Oranı (VSWR) RL	
		Dielektrik Malzeme Yükseklikleri (mm)									
		h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2
Mikroşerit Anten Tasarımı. Şekil 6.1	87.5x83.5	2.1		-6.837	6.193	9.84	9.91	7.04	7	-	6.199
		3.208		-22.222	-16.297	150	-	7.32	7.2	-	16.28
Anten Geometrisi Üzerinde 2 Tane Yarık İşlemi Uygulanması. Şekil 6.9	87.5x83.5	2.1	2.1	-12.537	-8.6868	63.8	-	7.08	-	12.95	-
		2.4	2.4	-22.53	-14.024	38	43.1	5.39	5.23	22.54	-
		3.5	3.5	-22.594	-14.016	118.2	149	7.69	-	-	-
Slotlar	X Y (mm)										
1. Slot	0.25 12										
2. Slot	1.25 21.65										

Tablo 7.2 Analiz sonuçları

Anten Tasarımı	Anten Boyutları (mm) $W_g \times L_g$	Rezonans Frekansı (f_0) GHz		Geri Dönüş Kaybı (dB)		Bant Genişliği (MHz)		Maksimum Anten Kazancı (dBi)		Duran Dalga Oranı (VSWR) RL		
		Dielektrik Malzeme Yükseklikleri (mm)										
		h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	
Anten Geometrisi Üzerinde 4 Tane Yarık 2 Tane Kulak İşlemi Uygulanması. Şekil 6.24												
Slotlar	X Y (mm)	87.5x83.5	2.4	2.4	-19.688	-22.66	37	39.9	5.31	5.31	19.62	22.66
1. Slot	0.25 12		2.6	2.6	-11.669	-16.604	67.7	71.3	5.91	6.03	11.54	16.52
2. Slot	1.25 21.65		3.5	3.5	-21.065	-21.575	189	185.8	5.77	7.59	21.048	21.67
3. Slot	1 9.75		5.0	5.0	-16.5	-13.065	124	123.3	6.94	7.06	16.48	13.56
4. Slot	1 9.75											
1. Kulak	0.75 1											
2. Kulak	0.75 1											

Tablo 7.3 Analiz sonuçları.

Anten Tasarımı	Anten Boyutları (mm) $W_g \times L_g$	Rezonans Frekansı (f_0) GHz		Geri Dönüş Kaybı (dB)		Bant Genişliği (MHz)		Maksimum Anten Kazancı (dBi)		Duran Dalga Oranı (VSWR) RL			
		Dielektrik Malzeme Yükseklikleri (mm)											
		h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2		
Anten Geometrisi Üzerinde 3 Tane Yarık 2 Tane Kulak İşlemi ve Toprak Düzlemine Yarık İşlemi Uygulanması. Şekil 6.86	45.15x67.6												
		1.8	1.8	-6.6612	-6.7516	-	-	3.01	2.99	6.66	6.75		
		1.9	1.9	-11.572	-11.499	-	-	2.65	2.67	11.56	11.44		
		Slotlar	X Y (mm)	2.154	2.154	-24.287	-24.542	-	-	2.62	2.66	22.04	24.59
		1. Slot	-	2.4	2.4	-12.713	-12.728	-	-	2.25	2.24	12.716	12.79
		2. Slot	1.25 21.65	2.6	2.6	-8.4806	-8.0167	-	-	1.92	1.93	8.48	8.0167
		3. Slot	1 9.75	3.5	3.5	-9.0962	-9.1395	-	1177.6	3.81	3.75	9.0691	9.1434
4. Slot	1 9.75	3.744	3.72	-22.824	-21.858	902.5	1167.6	4.21	4.18	22.82	21.93		
1. Kulak	0.75 1	3.9837	3.972	-21.091	-22.044	902.5	-	4.36	4.45	21.93	22.04		
2. Kulak	0.75 1												
Toprak Düzlemin 2 Yarık Boyu													

Tablo 7.4 Analiz sonuçları.

Anten Tasarımı		Anten Boyutları (mm) $W_g \times L_g$	Rezonans Frekansı (f_0) GHz		Geri Dönüş Kaybı (dB)		Bant Genişliği (MHz)		Maksimum Anten Kazancı (dBi)		Duran Dalga Oranı (VSWR) RL				
			Dielektrik Malzeme Yükseklikleri (mm)												
			h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2			
Anten Geometrisi Üzerinde 3 Tane Yarık 2 Tane Kulak ve Toprak Düzlemine Yarık İşlemi Uygulanması. Şekil 6.47, 6.48		45.15x67.6													
			1.8	1.8	-7.1189	-9.1888	-	-	3.06	2.85	7.13	9.18			
			1.9	1.9	-12.825	-14.912	-	-	2.64	2.65	12.8	14.9			
			2.1	2	-25.662	-18.28	985.6	1047.7	2.63	2.64	25.66	16.72			
			Slotlar	X	Y (mm)	2.4	2.1	-11.36	-16.721	-	-	2.24	2.63	11.36	9.92
			1. Slot		-	2.6	2.4	-7.537	-9.922	-	-	1.97	2.65	7.35	7.3471
			2. Slot	1.25	21.65	3.8348	2.6	-16.65	-7.3326	-	-	4.53	2.64	12.12	11.56
			3. Slot	1	9.75	4.2	3.5	-22.829	-11.561	2578	-	4.55	-	14.87	7.35
			4. Slot	1	9.75	-	3.696	-	-20.439	-	1688.6	-	4.56	-	20.44
			1. Kulak	0.75	1	-	4.158	-	-21.038	-	973.9	-	4.73	-	27.33
2. Kulak	0.75	1													
Toprak Düzlemin 4 Yarık Boyu															

Tablo 7.5 Analiz sonuçları.

Anten Tasarımı		Anten Boyutları (mm) $W_g \times L_g$	Rezonans Frekansı (f_0) GHz		Geri Dönüş Kaybı (dB)		Bant Genişliği (MHz)		Maksimum Anten Kazancı (dBi)		Duran Dalga Oranı (VSWR) RL			
			Dielektrik Malzeme Yükseklikleri (mm)											
			h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2		
Anten Geometrisi Uzerinde 3 Tane Yarık 2 Tane Kulak ve Toprak Düzlemine Yarık İşlemi Uygulanması. Şekil 6.95		45.15x67.6												
			1.8	1.8	-7.5893	-9.7266	-	-	3.01	2.85	7.5868	9.71		
			1.9	1.9	-14.061	-15.094	-	-	2.63	2.63	14.057	15.91		
			2.058	2	-32.246	-20.049	1142	1014	2.6	2.62	32.076	20		
			Slotlar	X Y (mm)	2.1	2.1	-27.034	-17.019	-	-	2.59	2.61	27.13	17.14
			1. Slot	-	2.4	2.4	-10.112	-9.3906	-	-	2.25	2.1	10.11	9.37
			2. Slot	1.25 21.65	2.6	2.6	-6.5136	-6.4822	-	-	2.07	2.37	6.5138	6.4844
			3. Slot	1 9.75	3.5	3.5	-7.0671	-11.497	-	1414	4.02	4.28	7.0680	11.50
			4. Slot	1 9.75	3.7722	3.672	-14.471	-21.647	1190	343	4.61	4.62	14.70	21.63
			1. Kulak	0.75 1	4.422	4.3645	-12.2	-18	339.6	-	5.51	5.37	12.21	17.75
2. Kulak	0.75 1													
Toprak Düzlemin 6 Yarık Boyu														

Tablo 7.6 Analiz sonuçları.

Anten Tasarımı	Anten Boyutları (mm) $W_g \times L_g$	Rezonans Frekansı (f_0) GHz		Geri Dönüş Kaybı (dB)		Bant Genişliği (MHz)		Maksimum Anten Kazancı (dBi)		Duran Dalga Oranı (VSWR) RL		
		Dielektrik Malzeme Yükseklikleri (mm)										
		h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	
Anten Geometrisi $\epsilon_r = 3.6$ Göre Yeniden Hesaplanmıştır. Anten Geometrisi Üzerinde 4 Tane Yarık 2 Tane Kulak ve Toprak Düzlemine Yarık İşlemi Uygulanması. Şekil 6.103	48.6x77.1											
		1.8	1.8	-17.385	-16.062	-	-	2.7	2.74	17.38	16	
		1.9	1.9	-22.666	-17.49	-	-	2.72	2.7	22.67	17.45	
		1.968	2.1	-25.552	-15.451	1905.2	-	2.67	-	25.55	-	
		2.1	2.4	-18.47	-17.962	-	-	2.38	2.26	18.46	15.44	
		2.4	2.6	-14.35	-16.714	-	1824.2	3.47	4.06	14.32	17.95	
		Slotlar	X Y (mm)	2.7387	-13.214	-18.899	-	-	4.37	4.22	13.21	16.71
		1. Slot	-	3.924	3.882	-28.186	-	175.2	-	4.96	-	28.18
		2. Slot	1.25 21.65									
		3. Slot	1 9.75									
4. Slot	1 9.75											
1. Kulak	0.75 1											
2. Kulak	0.75 1											
Toprak Düzlemin 4 Yarık Boyu												

Tablo 7.7 Analiz sonuçları.

.Anten Tasarımı	Anten Boyutları (mm) $W_g \times L_g$	Rezonans Frekansı (f_0) GHz		Geri Dönüş Kaybı (dB)		Bant Genişliği (MHz)		Maksimum Anten Kazancı (dBi)		Duran Dalga Oranı (VSWR) RL			
		Dielektrik Malzeme Yükseklikleri (mm)											
		h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2	h=1.5	h=2		
Anten Geometrisi $\epsilon_r = 5.0$ 'e Göre Yeniden Hesaplanmıştır. Anten Geometrisi Üzerinde 4 Tane Yarık 2 Tane Kulak ve Toprak Düzlemine Yarık İşlemi Uygulanması. Şekil 6.103	42.9x35.5												
		1.8	1.8	-9.2454	-10.515	-	-	2.74	2.77	5.8	10.51		
		1.	1.9	-11.847	-12.039	-	-	2.77	2.81	11.8	12		
		2.1	2.1	-17.158	-14.648	-	-	2.77	2.76	17.15	14.65		
		Slotlar	X Y (mm)	2.2	2.4	-18.792	-11.638	2205.4	-	2.67	2.01	18.79	-
		1. Slot	-	2.4	2.6	-13.829	-10.095	-	-	2.22	2.37	13.82	11.64
		2. Slot	1.25 21.65	2.6	3.2863	-10.451	-23.447	-	2191.6	1.91	4.9	10.44	10
		3. Slot	1 9.75	3.444	3.5	-17.955	-11.224	2205.4	-	4.58	4.43	16	-
		4. Slot	1 9.75	3.5	4.41	-16.104	-29.025	-	318.3	4.66	4.98	17.95	11.22
		1. Kulak	0.75 1	4.464		-20.771		256.9	-	5.03	-	20.77	-
2. Kulak	0.75 1												
Toprak Düzlemin 4 Yarık Boyu													

Mikroşerit yama anten geometrisi üzerinde performans iyileştirilmesi yapabilmek için birçok teorik olarak yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemler sırasıyla şu şekildedir;

1. Akım yoğunluğu incelenerek uygun olduğu yerlere anten geometrisi üzerinde yarıklar atılarak, geri dönüş kaybında iyileştirme ve yeni rezonans frekansı elde edilmesi için gözlemler yapılmıştır. Mikroşerit yama geometrisi üzerinde atılmış olan yarıklar ve oluşturulan kulaklar;
 - i. Mikroşerit hattın bulunduğu konuma asimetrik yarıklar uygulanmış ve geri dönüş kaybında iyileşme ve yeni frekans elde edilmiştir.
 - ii. Mikroşerit yama geometrisinin üzerine sağ ve üst sol köşeye simetrik yarıklar uygulanmış 2.6 GHz de rezonans frekansı elde edilmiştir.
 - iii. Sağ ve sol üst köşeye simetrik kulaklıklar uygulanmış 2.4 GHz de rezonans frekansı elde edilmiştir.
2. Taban malzemesinin yüksekliğinin değiştirilerek $h=1.5$ mm den $h=2$ mm yapılan uygulamaları;
 - i. Yapılan uygulamalarda taban malzemesinin yüksekliğinin artırılması bant genişliğini arttırmaktadır.
3. Mikroşerit hat anten geometrisi üzerinde $W/4$ sağa ve sola uygulanmış ve istenilen sonuçlar elde edilememiştir.
 - i. Mikroşerit hat anten geometrisi üzerinde sola kaydırılmış 2.1 GHz de rezonans frekansı elde edilmiştir.
 - ii. Mikroşerit hat anten geometrisi üzerinde sağa kaydırılmış 2.7279 GHz de rezonans frekansı elde edilmiştir.
4. Mikroşerit yamanın boyutları ile yama boyutlarının bağıl olarak değiştirilmesi uygulamaları;
 - i. Mikroşerit yamanın boyutları küçültülmüş istenilen rezonans frekansları bulunduğu frekansta 0.1-0.2 GHz yukarı yöne kaymıştır.
 - ii. Mikroşerit yamanın boyutları küçültülmüş istenilen rezonans frekansları 0.1-0.3 GHz aşağı yönlü olarak kaymıştır.

5. Mikroşerit yamanın Toprak düzlemine yarık uygulanması;
 - i. Mikroşerit yama antenin Toprak düzlemine genişliği 2 mm yarık atılmış 3 rezonans frekanslı 9 banttı kapsayacak -5 dB seviyesinde 3, -10 dB seviyesinde 6 geri dönüş kaybına sahip frekanslar elde edilmiştir.
 - ii. Mikroşerit yama antenin Toprak düzlemine genişliği 4 mm yarık atılmış ve 3 rezonans frekanslı 9 bandı kapsayacak -5 dB seviyesinde 3, -10 dB seviyesinde 6 geri dönüş kaybına sahip frekanslar elde edilmiştir. -5 dB seviyesindeki geri dönüş kayıpları -10 dB seviyesine yaklaştığı görülmektedir.
 - iii. Mikroşerit yama antenin Toprak düzlemine genişliği 6 mm slot atılmış olup 3 rezonans frekanslı 9 bandı kapsayacak -5 dB seviyesinde 3, -10 dB seviyesinde 6 geri dönüş kaybına sahip frekanslar elde edilmiştir. -5 dB seviyesindeki geri dönüş kayıpları -10 dB seviyesine yaklaştığı görülmektedir.
6. Mikroşerit yama antenin dielektrik sabiti 3.6 olarak uygulanması;
 - i. Dielektrik malzeme değeri 3.6 alınmış mikroşerit yamanın büyüklüğü artmış ve analiz sonuçlarında bant genişliklerinin ve geri dönüş kayıplarını arttığı gözlemlenmiştir. -10 dB seviyesinde 3 rezonans frekanslı 7 bantlı anten elde edilmiştir.
7. Mikroşerit yama antenin dielektrik sabiti 5.0 olarak uygulanması;
 - i. Dielektrik malzeme değeri 5.0 alınmış mikroşerit yamanın boyu azalmış ve analiz sonuçlarında bant genişliklerinin ve geri dönüş kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. -10 dB seviyesinde 4 rezonans frekanslı 8 bantlı anten elde edilmiştir.

Başlangıç itibari ile 2.1 GHz rezonans frekansı baz alınarak tasarım yapılmıştır. İlk analiz sonucunda 2.1 GHz ve 3.208 GHz frekansında iki tane rezonans frekansı elde edilmiştir. Analiz sonucunda istenilen frekanslarda rezonans frekansı ve geri dönüş kaybı elde edilmemiştir. Bunun üzerine teorik olarak mikroşerit yama anten geometrisi üzerinde akım yoğunluğunun yoğun olduğu yerlere slotlar atılmıştır. Slotlar sayesinde farklı rezonanslar da frekanslar elde edilmiş olup GSM bandını kapsayacak şekilde frekanslar elde edilememiştir. Bazı frekanslarda kaymalar olmuş olup bu kaymalar optimizasyon yapılarak 2.4 GHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz ve 5.0 GHz frekansında 4 rezonans frekansı elde edilmiştir.

Elde edilmiş olan bu 4 rezonans frekansının bant genişliğini arttırabilmek adına taban malzemesinin değeri artırılarak gözlemler yapılmış olup bu sayede bant genişliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ground düzlemine atılmış olan slot sayesinde bant genişliğinin büyük oranda arttığı gözlemlenmiştir. Buna istinaden dielektrik sabitini azaltılmasında bant genişliği ve geri dönüş kaybının arttığı gözlemlenmiştir. 1.8, 1.9, 2.1, 2.4, 2.6, GHz frekanslarını kapsayacak 3 rezonans frekanslı bir anten elde edilmiştir. Dielektrik sabitini artırılması ile bant genişliği ve geri dönüş kaybının arttığı gözlemlenmiştir. 1.8, 1.9, 2.1, 2.4, 2.6, 3.5 GHz frekanslarını kapsayacak 4 rezonans frekanslı bir anten elde edilmiştir.

Mikroşerit dikdörtgen yama antenlerde bant genişlikleri düşüktür. Sırasıyla yapmış olduğumuz çalışmalar ile mikroşerit yama antenlerde geri dönüş kaybı bant genişliği gibi değerleri nasıl daha iyi bir hale getirilebilir bunun çalışması yapılmıştır. Referans olarak bir antenin alınabilmesi için;

- En iyi geri dönüş kaybı (-10 dB seviyesinde),
- En iyi bant genişliği,
- En iyi kazanç,
- Pratik de üretilebilir olması,
- Boyutlarını küçük olması gerekmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmalarda buna uyan iki tane antenimiz bulunmaktadır.

Birinci antenimiz 1.8, 1.9, 2.1, 2.4 ve 2.6 GHz frekanslarını kapsayan 2 bantlı Şekil 6.103'de $\epsilon_r = 3.6$ göre hesaplamaları yapılan antenimizden. Bu antenimiz 3.5 GHz WIMAX bandını kapsamamaktadır. Antenimize ait parametre değerleri şu şekildedir;

Tablo 7.8 En iyi performanslı anten ($\epsilon_r = 3.6$).

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-16.062	-	2.74
1.9	-17.49	-	2.7
2.1	-15.451	-	2.26
2.4	-17.962	1824.2	4.06
2.6	-16.714	-	4.22
2.7387	-18.899	-	4.47
3.882	-24.145	196.5	4.87

İkinci antenimiz 1.8, 1.9, 2.1, 2.4, 2.6 ve 3.5 GHz i kapsayan 3 bantlı Şekil 6.110'da $\epsilon_r = 5$ göre hesaplamaları yapılan antenimizdir. Frekans olarak kullanacağımız ve üretimini yapabileceğimiz antenimiz Şekil 6.110'da ki geometrik yapıya sahip antenimizdir.

Tablo 7.9 En iyi performanslı anten ($\epsilon_r = 5$).

Rezonans Frekansı (GHz)	Geri Dönüş Kaybı(S11) (h=2 mm)	Bant Genişliği (MHZ)	Maksimum Anten Kazancı (dBi)
1.8	-10.515	-	2.77
1.9	-12.039	-	2.81
2.1	-14.648	-	2.76
2.4	-11.638	-	2.01
2.6	-10.095	-	2.37
3.2863	-23.447	2191.6	4.9
3.5	-11.224	-	4.43
4.41	-29.025	318.3	4.98

8. KAYNAKLAR

- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design* John Wiley & Sons.
- Sainati, R.A. (1996). *Cad of Microstrip Antennas For Wireless Applications*. Artech House Antenna And Propagation Library.
- G. Derneryd. (1976). *Linearly polarized microstrip antennas*. IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-24, no. 6, pp. 846-850.
- Pozar, D. M. (1992). *Microstrip antennas*. Proceedings of the IEEE, 80(1), 79-91.
- David K. Cheng. (2009). *Mühendislik Elektromanyetiğinin Temelleri*. Palme Yayıncılık,
İkinci Baskı
- Çakır, G. (2004). *Gezgin İletişim Sistemleri İçin Huzme Yönlendirmeli Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı Doktora Tezi*. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Nesem K. (2012). *UHF RFID Pasif Etiket İçin Dipol Anten Tasarımları*. Yüksek Lisans Tezi. Haliç Üniversitesi, İstanbul.
- Katehi, P. B., & AlexÓpoulos, Ó. G. (1984). *On the modeling of electromagnetically coupled microstrip antennas--The printed strip dipole*. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 32(11), 1179-1186.
- Amin, Sunbel S. (2011). *Çeşitli Frekanslarda Geniş Bant Dairesel Mikroşerit Yama Anten Analizi ve Tasarımı*. Diss. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- K. Cihan Dalar (2013). *Elektromanyetik Simülasyon Yöntemiyle Mikrodalga Devre Dizaynı Lisans Tezi*. Haliç Üniversitesi, İstanbul.
- Avşar A. (2008). *GPS Amaçlı 1.5805 GHz Parça Tipi Mikroşerit Anten Tasarımı Ve Gerçeklenmesi Lisan Tezi*. Uludağ Üniversitesi, Bursa.

- Chen, W. S., Wong, K. L., & Wu, C. K. (2000). Inset microstripline-fed circularly polarized microstrip antennas. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 48(8), 1253-1254.
- Garg, R. (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House.
- Bahl, I. J., & Bhartia, P. (1980). *Microstrip Antennas*. Artech house.
- James, J. R., & Hall, P. S. (Eds.). (1989). *Handbook of Microstrip Antennas* (Vol. 28). IET.
- SEVGI, G. C. L. (2005). *Design, simulation and tests of a low-cost microstrip patch antenna arrays for the wireless communication*. *Turk J Elec Engin*, 13(1).
- Fatthi Alsager, A. (2011). Design and analysis of microstrip patch antenna arrays.
- Munson, R. E. (1995). *Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays*.
- Fang, S. T. (1999). *Analysis and design of triangular microstrip antennas*(Doctoral dissertation, Ph. D. Dissertation).
- Maci, S., & Gentili, G. B. (1997). Dual-frequency patch antennas. *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, 39(6), 13-20.
- Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*, 68.
- Wong, K. L. (2004). *Compact and Broadband Microstrip Antennas* (Vol. 168). John Wiley & Sons.
- Rao S.S. (1984). *Optimization Theory and Applications*. 2nd.Edition, Halsted, Inc.
- Chiou, T. W., & Wong, K. L. (2001, July). *Designs of compact microstrip antennas with a slotted ground plane*. In *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2001. IEEE* (Vol. 2, pp. 732-735). IEEE.

Younis, A. N. S. (2014). *Compact Loop Antenna for Multi-Bands Mobile Handset Applications. Electrical and Electronic Engineering*, 4(3), 58-61.

İNTERNET KAYNAKLARI

https://en.wikipedia.org/wiki/Motorola_DynaTAC

https://en.wikipedia.org/wiki/Motorola_StarTAC

<http://www.raymaps.com/index.php/category/sim/> SAMSUNG

www.antenna-theory.com

www.microwaves101.com

<https://www.cst.com/>

<http://www.emagtech.com/content/using-emcube-and-neoscan-system-together-antenna-design>

9. EKLER

EK:1 Mikroşerit Yama Anten Hesaplamaları programı.

```
clc
clear all
format long
disp('Design Rectangular Microstrip Antenna by Transmission Line Model Using
MATLAB');
disp('=====
=====');
er=input('Enter the dielectric constant:');
h=input('Enter the substrate thickness (in mm):');
f=input('Enter the frequency (GHz): ');
z=input('Enter the input impedance (ohm):');
disp('Calculating. Please wait. ');
f=f*1e9;

%calculate the width
wid=(3e8/(sqrt((er+1)/2)*2*f))*1000; %in mm

%calculate the effective dielectrc constant
e_eff=((er+1)/2)+ (((er-1)/2)* (1+((12*h)/wid))^-0.5);

%calculate teh extension of length L
del_1=(((e_eff+0.3)*((wid/h)+0.264))/((e_eff-0.258)*((wid/h)+0.8)))*(0.412*h); %in
mm

%calculate the effective length
l_eff=(3e8/(2*f*sqrt(e_eff)))*1000;

%calculate the actual length
L=l_eff-(2*del_1);
```

```

la=(3e8/f)*1000;
k=(2*pi)/la;
x=k*(wid);
i1=-2+cos(x)+(x*sinint(x))+sin(x)/x;
g1=i1/(120*pi*pi);      %Conductance

a=@(th)(((sin((x./2).*cos(th))./cos(th)).^2).*(besselj(0,(k.*L.*sin(th))))).*(sin(th)).^3)
;
a1=integral(a,0,pi);
g12=a1/(120*pi*pi); %in siemens
r_in=1/(2*(g1+g12)); %in ohm

inset=(L/pi)*(acos(sqrt(z/r_in))); % in mm

Lg_min=6*h+L;
Wg_min=6*h+wid;

B=60*pi*pi/(z*sqrt(er));
m1=2*B-1;
m=log(m1);
n1=B-1;
n=log(n1);

W=(2*h/pi)*(B-1-m+(((er-1)/(2*er))^(n+(0.39*0.61)/er))); %based on Liang J.
(2004) book

g=(3e8*4.65e-9)/(sqrt(2*e_eff)*f*10^-9); %based on Journal by M A Matin (2010)

disp ('Rectangular Patch:');
disp(['The width of the patch (Wp) is:',num2str(wid),' mm'])
disp(['The length of the patch (Lp) is:',num2str(L),' mm'])

```

```
disp(['The inset feed point (Fi) is:',num2str(inset),' mm'])
disp(['The width of the feed line (Wf) is:',num2str(W),' mm'])
disp(['The gap of the feed line (Gpf) is:',num2str(g),' mm'])
disp(['The mininum length of ground plane is:',num2str(Lg_min),' mm'])
disp(['The mininum width of ground plane is:',num2str(Wg_min),' mm'])
```

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Gaziantep’ de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimlerini Gaziantep’ de tamamladı. 2008 yılında Haliç Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2012 yılında yine Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği programında yüksek lisans programına başladı ve bu süre zarfında Uneco, Net İletişim ve halen devam etmekte olan BELBİM A.Ş çalışıyor.

İstanbul, 2017

Eyüp KIRIK

Eyüp Kırık_BitirmeTezi

ORJİNALLİK RAPORU

%**20**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**10**

İNTERNET
KAYNAKLARI

%**13**

YAYINLAR

%**6**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Kavas, Aktul, and Eyup Kirik. "Antenna design for smart devices", 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 2016. Yayın	% 9
2	Submitted to University of Glasgow Öğrenci Ödevi	% 2
3	www.ursi.org.tr İnternet Kaynağı	% 2
4	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	% 1
5	www.slideshare.net İnternet Kaynağı	% 1
6	www.emo.org.tr İnternet Kaynağı	% 1
7	Submitted to Haliç Üniversitesi Öğrenci Ödevi	% 1
8	tr.scribd.com İnternet Kaynağı	<% 1