



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**RF ENERJİ HASATLAMA İÇİN
MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI
UYGULAMALARI**

**Hüseyin ASLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**KASIM-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin ASLAN tarafından hazırlanan “RF Enerji Hasatlama İçin Mikroşerit Anten Tasarımı Uygulamaları” adlı tez çalışması 10/11/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Serdar EKİNCİ

.....

Danışman

Doç. Dr. Davut İZCİ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hakan DONUK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri (BAP) tarafından BTÜBAP- 2022-YL-25 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezde sunduğum veriler ve dökümanları etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, yararlandığım ve bana ait olmayan eserlerin tümünü kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

DECLARATION PAGE

I declare that I have obtained the data and documents I have presented in this thesis within the framework of ethical behavior and academic rules, that I have benefited from and that I have cited all the works that do not belong to me.

Hüseyin ASLAN
Tarih:10/11/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

RF ENERJİ HASATLAMA İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI UYGULAMALARI

Hüseyin ASLAN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mükendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr Davut İZCİ

2023, 80 Sayfa

Jüri

Danışman: Doç. Dr. Davut izci

Doç. Dr. Serdar EKİNCİ

Dr. Öğr. Üyesi Hakan DONUK

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesi özellikle yarı iletkenlerin icadından sonra akıl almaz bir hızla ilerlemiştir. Bu ilerleme teknolojik cihazlarının çoğalmasına neden olmuştur. Dünya nüfusunun artması ve bu nüfusun teknolojik cihazları sürekli kullanması enerji tüketimin artmasına sebep olmuştur. Dünya genelinde enerji tüketimin her geçen gün artması bilim insanlarını enerjiyi farklı yollardan kolay ve az maliyetle elde etmek için araştırmalar yapmaya itmiştir. Enerjiyi elde etmenin onlarca farklı yolu vardır. Bu yollardan biri de ortamda çeşitli cihazlardan (Mikrodalga ve Radyo dalga) oluşan ve serbest halde dolaşan Elektromanyetik dalgalardan uygun koşullar ve uygun aparatlarla (Anten ve enerji hasatlama modülü) enerji hasadı yapmaktır.

Son yıllarda haberleşme sistemlerinin ve diğer sistemlerin sayıca çoğalması ortamdaki frekans yoğunluğunda ve çeşitliliğinde artışa sebep olmuştur. Bu durum RF (Radyo Frekans) enerji hasatlama yönteminin haberleşme devrelerinde çokça kullanılmasına olanak tanımıştır. Böylelikle kesintisiz ve düşük güçlerde RF enerji hesatlama yapabilen sistemlerin oluşmasına ve çoğalmasına yol açmıştır. Bir RF enerji hasat atlama sistemi 5 adet aşamadan oluşmaktadır bunlar anten, empedans uyumlandırma, filtreler, doğrultucu devreler ve yüküdür.

Bazı cihazlarda kullanılması için uygun hale getirilen enerjinin batarya veya pil benzeri depolama aygıtları tarafından depolanıp o şekilde tüketilmesi beraberinde çeşitli maliyetler getirmektedir. Bu maliyetleri azaltmanın yöntemlerinden biri sürekli serbest halde dolaşan elektromanyetik dalgalardan RF enerji hasatlama yöntemiyle enerji elde etmektir. RF enerji hasat atlama düşük güç ile çalışan sistemler için oldukça popüler bir çözüm yöntemidir burada enerji kesintisiz sağlandığından batarya kullanımının önüne geçilerek hem maliyet azaltıcı hem de depolama cihazlarının atıkları sonucu çevrede oluşacak çevre kirliliklerinde önüne geçilmiştir.

Bu çalışmada iletim hattı modeli kullanılarak 50 ohm luk karakteristik empedansa sahip RF enerji hasadı yapmak için farklı ebatlarda mikroşerit yama antenler tasarlanmıştır. Tasarlana antenler üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak hem tek bantlı hem de çift bantlı frekanslarda çalışacak antenler elde edilmiştir. Daha sonra simülasyonlarla adım adım optimizasyonlar yapılarak daha iyi antenler elde edilmiştir. Bu aşamalardan sonra en iyi parametrelere sahip biri tek bantlı, diğeri çift bantlı (Dual bant) iki adet mikroşerit yama antenin baskı devresi (PCB) ile üretimi yapılmıştır. Üretimleri yapılan antenler enerji hesaplama modülüne bağlanıp multimetre ile gerilim değerleri, geri dönüş kaybı (S_{11}), kazanç, yönlülük değerlerinin tek, iki ve üç boyutlu grafik değerleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, Mikroşerit Anten, Rezonans Frekansı, RF Enerji hasadı

ABSTRACT

MS THESIS

MICROSTRIP ANTENNA DESIGN APPLICATIONS FOR RF ENERGY HARVESTING

Hüseyin ASLAN

**Batman University Graduate Education Institute
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Davut İZCİ

2023, 80 Pages

Jury

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Davut İZCİ

Assoc. Prof. Dr. Serdar EKİNCİ

Asst. Prof. Dr. Hakan DONUK

Recently, the development of technology has progressed at an incredible pace, especially after the invention of semiconductors. This progress has led to the proliferation of technological devices. The increase in the world population and the constant use of technological devices by this population has led to an increase in energy consumption. Increasing energy consumption around the world has led scientists to conduct research to obtain energy easily and at low cost in different ways. There are dozens of different ways to obtain energy. One of these ways is to harvest energy from the freely circulating Electromagnetic waves consisting of various devices (Microwave and Radio wave) in the environment, under suitable conditions and with suitable equipment (Antenna and energy harvesting module).

In recent years, the increase in the number of communication systems and other systems has led to an increase in frequency density and diversity in the environment. This situation has allowed the RF (Radio Frequency) energy harvesting method to be widely used in communication circuits. Thus, it has led to the formation and proliferation of systems capable of RF energy storage without interruption and at low powers. An RF energy harvesting jump system consists of 5 stages: antenna, impedance matching, filters, rectifier circuits and load.

The storage and consumption of the energy made suitable for use in some devices by batteries or battery-like storage devices incurs various costs. One of the methods of reducing these costs is to obtain energy by RF energy harvesting method from electromagnetic waves that are constantly circulating in a free state. RF energy harvesting skipping is a very popular solution method for low-power systems, since energy is provided uninterruptedly here, battery usage has been prevented, preventing environmental pollution that will occur in the environment as a result of both cost-reducing and storage device waste.

In this study, microstrip patch antennas of different sizes were designed to harvest RF energy with a characteristic impedance of 50 ohms using the transmission line model. By making various changes to the designed antennas, antennas that will operate at both single-band and dual-band frequencies have been obtained. Later, step-by-step optimizations were made with simulations to obtain better antennas. After these stages, the production of two microstrip patch antennas with the best parameters, one with a single band and the other with a dual band (Dual band), was carried out with a printing circuit (PCB). The antennas manufactured were connected to the energy calculation module and single, two and three-dimensional graphical values of voltage values, return loss (S_{11}), gain, directivity values were examined with a multimeter.

Keywords: Microstrip Antenna, Microwave, Resonance Frequency, RF Energy harvesting

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesi sırasında bilgi ve birikimleri ile beni aydınlatan ve yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Davut İZCİ'ye, anten tasarımı, üretimi ve anten ölçüm cihazlarının kullanılması aşamasında hiçbir yardımını esirgemeyen Dr. Araştırma Görevlisi Hüseyin ÖZMEN hocama ve manevi desteklerini her daim yanımda hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Hüseyin ASLAN
BATMAN-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER	ix
ÇİZELGELER	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
Simgeler	xii
Kısaltmalar	xii
1. GİRİŞ	1
2. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER	3
2.1. Mikroşerit Yama Antenlerin Analiz Modelleri.....	4
2.1.1. Transmisyon Hat Modeli	4
2.1.2. Kavite Modeli	4
2.1.3. Tam Dalga Modeli	4
2.2. Mikroşerit Yama Antenlerin Besleme Yöntemleri	5
2.2.1. Mikroşerit Hat Besleme Yöntemi	5
2.2.2. Koaksiyel Besleme Yöntemi	5
2.2.3. Elektromanyetik Kuplaj Besleme Yöntemi	6
2.3. RF Enerji Hasadının Avantajları	6
2.4. Mikroşerit Yama Antenlerin Avantajları	7
3. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ	8
3.1. Işıma Örüntüsü	8
3.1.1. Işıma Örüntüsü Kulakları.....	8
3.1.2. Alan Bölgeleri.....	8
3.2. Işıma Yoğunluğu	9
3.3. Işıma Şiddeti.....	9
3.4. Hüzme Genişliği.....	9
3.5. Yönlülük.....	10
3.6. Anten Verimi ve Kazanç	10
3.7. Bant Genişliği.....	11
3.8. Geri Dönüş Kaybı	11
3.9. Kutuplama	11
3.10. Sayısal Teknikler	11
4. MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN YAPISI, TASARIM FORMÜLLERİ VE BAZI TASARIM PROGRAMLARI	12

4.1.	Tasarım Programları.....	13
4.1.1.	CST (Computer simulation Technology Microwave Studio).....	13
4.1.2.	HFSS (High-Frequency Structure Simulator).....	14
4.1.3.	ADS (Advanced Design System).....	14
4.2.	Antenlerin Uzunluk Genişlik ve Dielektrik Sabitinin Belirlenmesi	14
4.3.	Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Tasarımı.....	15
5.	KAYNAK ARAŞTIRMASI	17
6.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
7.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR.....	22
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
9.	KAYNAKÇA.....	63
10.	EKLER	66
11.	ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Sistem blok şeması (Muhammad vd., 2020)	3
Şekil 2.2. Mikroşerit yama anten temel modeli	4
Şekil 3.1. Antenin ışıma kulakları ve hüzme genişlikleri (Balanis, 2015)	8
Şekil 3.2. Antenin alan bölgeleri (Balanis, 2015)	9
Şekil 3.3. Antenin iki boyutlu güç örüntüsünün hüzme genişlikleri (Balanis, 2015)	10
Şekil 4.1. Anten geometrileri	12
Şekil 4.2. Tasarlanan mikroşerit yama anten şekilleri	13
Şekil 4.3. CST microwave studio suite simülasyon programı arayüzü (https://www.3ds.com)	14
Şekil 6.1. CST microwave studio suite arayüzü (https://www.3ds.com)	20
Şekil 6.2. FR-4 epoksi malzemesi	21
Şekil 7.1 P21XXCSR-EVB Enerji hasatlama modülü	22
Şekil 7.2. Tasarlanan ilk mikroşerit yama anten modeli	23
Şekil 7.3. Tasarlanan ilk antenin S_{11} grafikleri	24
Şekil 7.4. Tasarlanan ilk antenin VSWR oranları grafiği	24
Şekil 7.5. Tasarlanan ilk antenin tek boyutlu kazanç grafiği	25
Şekil 7.6. Tasarlanan ilk antenin iki boyutlu kazanç grafiği	25
Şekil 7.7. Tasarlanan ilk antenin tek boyutlu yönlülük grafiği	26
Şekil 7.8. Tasarlanan ilk antenin iki boyutlu yönlülük grafiği	26
Şekil 7.9. Tasarlanan ilk antenin üç boyutlu yönlülük grafiği	27
Şekil 7.10. Tasarlanan ilk antenin üç boyutlu kazanç grafiği	27
Şekil 7.11. Tasarlanan ikinci mikroşerit yama anten modeli	27
Şekil 7.12. Tasarlanan ikinci antenin S_{11} grafikleri	28
Şekil 7.13. Tasarlanan ikinci antenin VSWR oranları grafiği	29
Şekil 7.14. Tasarlanan ikinci antenin tek boyutlu kazanç grafiği	29
Şekil 7.15. Tasarlanan ikinci antenin iki boyutlu kazanç grafiği	30
Şekil 7.16. Tasarlanan ikinci antenin tek boyutlu yönlülük grafiği	30
Şekil 7.17. Tasarlanan ikinci antenin iki boyutlu yönlülük grafiği	31
Şekil 7.18. Tasarlanan ikinci antenin üç boyutlu yönlülük grafiği	31
Şekil 7.19. Tasarlanan ikinci antenin üç boyutlu kazanç grafiği	31
Şekil 7.20. Tasarlanan üçüncü mikroşerit yama anten modeli	33
Şekil 7.21. Tasarlanan üçüncü antenin S_{11} grafikleri	33
Şekil 7.22. Tasarlanan üçüncü antenin VSWR grafikleri	33
Şekil 7.23. Tasarlanan üçüncü antenin tek boyutlu kazanç grafiği	34
Şekil 7.24. Tasarlanan üçüncü antenin iki boyutlu kazanç grafiği	34
Şekil 7.25. Tasarlanan üçüncü antenin tek boyutlu yönlülük grafiği	35
Şekil 7.26. Tasarlanan üçüncü antenin iki boyutlu yönlülük grafiği	35
Şekil 7.27. Tasarlanan üçüncü antenin üç boyutlu yönlülük grafiği	36
Şekil 7.28. Tasarlanan üçüncü antenin üç boyutlu kazanç grafiği	36
Şekil 7.29. Tasarlanan dördüncü mikroşerit yama anten modeli	36
Şekil 7.30. Tasarlanan dördüncü antenin S_{11} grafikleri	37
Şekil 7.31. Tasarlanan dördüncü antenin VSWR grafikleri	38
Şekil 7.32. Tasarlanan dördüncü antenin tek boyutlu kazanç grafiği	38
Şekil 7.33. Tasarlanan dördüncü antenin iki boyutlu kazanç grafiği	39
Şekil 7.34. Tasarlanan dördüncü antenin tek boyutlu yönlülük grafiği	39
Şekil 7.35. Tasarlanan dördüncü antenin iki boyutlu yönlülük grafiği	40
Şekil 7.36. Tasarlanan dördüncü antenin üç boyutlu yönlülük grafiği	40
Şekil 7.37. Tasarlanan dördüncü antenin üç boyutlu kazanç grafiği	40
Şekil 7.38. Tasarlanan beşinci mikroşerit yama anten modeli	42

Şekil 7.39. Tasarlanan beşinci antenin S_{11} grafikleri	42
Şekil 7.40. Tasarlanan beşinci antenin VSWR grafikleri	42
Şekil 7.41. Tasarlanan beşinci antenin tek boyutlu kazanç grafiği	43
Şekil 7.42. Tasarlanan beşinci antenin iki boyutlu kazanç grafiği	43
Şekil 7.43. Tasarlanan beşinci antenin tek boyutlu yönlülük grafiği.....	44
Şekil 7.44. Tasarlanan beşinci antenin iki boyutlu yönlülük grafiği	44
Şekil 7.45. Tasarlanan beşinci antenin üç boyutlu yönlülük grafiği.....	45
Şekil 7.46. Tasarlanan beşinci antenin üç boyutlu kazanç grafiği.....	45
Şekil 7.47. Tasarlanan ve üretilen yapılan mikroşerit yama anten modeli (6. anten)	46
Şekil 7.48. Tasarlanan ve üretilen altıncı antenin ön ve arka görüntüsü	47
Şekil 7.49. Tasarlanan altıncı antenin S_{11} grafikleri	47
Şekil 7.50. Tasarlanan altıncı antenin VSWR grafikleri	47
Şekil 7.51. Tasarlanan altıncı antenin tek boyutlu kazanç grafiği	48
Şekil 7.52. Tasarlanan altıncı antenin iki boyutlu kazanç grafiği.....	48
Şekil 7.53. Tasarlanan altıncı antenin tek boyutlu yönlülük grafiği	49
Şekil 7.54. Tasarlanan altıncı antenin iki boyutlu yönlülük grafiği.....	49
Şekil 7.55. Tasarlanan altıncı antenin üç boyutlu yönlülük grafiği	49
Şekil 7.56. Tasarlanan altıncı antenin üç boyutlu kazanç grafiği	50
Şekil 7.57. Tasarlanan yedinci mikroşerit yama anten modeli	51
Şekil 7.58. Tasarlanan yedinci antenin S_{11} grafikleri	51
Şekil 7.59. Tasarlanan yedinci antenin VSWR grafikleri.....	52
Şekil 7.60. Tasarlanan yedinci antenin tek boyutlu kazanç grafiği	52
Şekil 7.61. Tasarlanan yedinci antenin iki boyutlu kazanç grafiği	53
Şekil 7.62. Tasarlanan yedinci antenin tek boyutlu yönlülük grafiği	53
Şekil 7.63. Tasarlanan yedinci antenin iki boyutlu yönlülük grafiği.....	53
Şekil 7.64. Tasarlanan yedinci antenin üç boyutlu yönlülük grafiği	54
Şekil 7.65. Tasarlanan yedinci antenin üç boyutlu kazanç grafiği	54
Şekil 7.66. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant (dual bant) antenin ön ve arka yüz modeli	55
Şekil 7.67. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin ön ve arka yüz görüntüleri	55
Şekil 7.68. Tasarlanan ve üretilen yapılan çift bant antenin S_{11} grafiği.....	56
Şekil 7.69. Tasarlanan ve üretilen çift bant antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon grafikleri.....	56
Şekil 7.70. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin VSWR grafiği	57
Şekil 7.71. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 1.8 GHz tek boyutlu kazanç grafiği.....	57
Şekil 7.72. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 2.4 GHz tek boyutlu kazanç grafiği.....	57
Şekil 7.73. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 1.8 GHz üç boyutlu kazanç grafiği.....	58
Şekil 7.74. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 2.4 GHz üç boyutlu kazanç grafiği.....	58
Şekil 7.75. Tasarlanan altıncı antenin network analizör sonuç görüntüsü.....	58
Şekil 7.76. Tasarlanan sekizinci çift bantlı antenin network analizör sonuç görüntüsü	59
Şekil 7.77. Tasarlanan sekizinci çift bant antenin (a) 2.4 GHz ve (b) 1.8 GHz gerilim sonuçları.....	59
Şekil 7.78. Tasarlanan altıncı antenin 2.4 GHz’de gerilim sonucu	60

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Bazı besleme tiplerinin karşılaştırılması (Garg, 2001).....	5
Çizelge 7.1. P21XXCSR-EVB Enerji hasatlama modülünün parametreleri (Powercast, 2023).....	22
Çizelge 7.2. Benzetimi yapılan ilk antenin ebat ölçüleri.....	23
Çizelge 7.3. Benzetimi yapılan ikinci antenin ebat ölçüleri	28
Çizelge 7.4. Benzetimi yapılan üçüncü antenin ebat ölçüleri.....	32
Çizelge 7.5. Benzetimi yapılan dördüncü antenin ebat ölçüleri.....	37
Çizelge 7.6. Benzetimi yapılan beşinci antenin ebat ölçüleri.....	41
Çizelge 7.7. Benzetimi yapılan altıncı antenin ebat ölçüleri	46
Çizelge 7.8. Benzetimi yapılan yedinci antenin ebat ölçüleri	50
Çizelge 7.9. Benzetimi yapılan sekizinci çift bant (dual bant) antenin ebat ölçüleri	55



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μ_0	:	Boş Uzay Manyetik Geçirgenlik Katsayısı
C	:	Işık Hızı
D	:	Yönlülük
dB	:	Desibel
e	:	Verim
ϵ_{eff}	:	Etkin Dielektrik
f	:	Frekans
fr	:	Çalışma Frekansı
G	:	Kazanç
h	:	Mikroşerit Anten Dielektrik Kalınlığı (Yükseklik)
L	:	Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Kalınlığı
ϵ_0	:	Boş Uzay Dielektrik Katsayısı
ϵ_r	:	Dielektrik Sabiti
RL	:	Anten Yük Direnci
S_{11}	:	-dB Değerli İletim Parametresi
T	:	Periyot
W	:	Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Genişliği
Z_0	:	Karakteristik Empedans
α	:	Alfa
β	:	Beta
Γ	:	Yansıma Katsayısı
λ	:	Dalga Boyu
λ_d	:	Dielektrik Sabitinin Dalga Boyu
λ_0	:	Serbest Uzay Dalga Boyu
ϕ	:	Küresel Koordinat Sistemi Boylam Açısı Değeri
θ	:	Küresel Koordinat Sistemi Enlem Açısı Değeri

Kısaltmalar

%BW	:	Yüzde Bant Genişliği
Antx	:	Antenin Saçıcı Yüzey Alanının Genişliği
Anty	:	Antenin Saçıcı Yüzey Alanının Uzunluğu
BW	:	Bant Genişliği
CST	:	Computer Simulation Technology
EM	:	Elektro Manyetik
FNBW	:	First Null Beam Width
FR-4	:	Flame Retardant-4
GHz	:	Giga Hertz
HPBW	:	Half Power Beam Width
İnsx	:	Antende Açılan Çentik (Oyuk) Genişliği
İnsy	:	Antende Açılan Çentik (Oyuk) Uzunluğu
MHz	:	Mega Hertz
MWS	:	Microwave studio suite
MYA	:	Mikroşerit Yama Anten
PCB	:	Printed Circuit Board
RF	:	Radio Frequency
RL	:	Return Loss

Sbx : Dielektrik Malzemenin Uzunluğu
Sby : Dielektrik Malzemenin Genişliği
VSWR : Voltage Standing Wave Ratio



1. GİRİŞ

Antenlerin tarihi James Clark Maxwell'e kadar gitmektedir. 1873'te elektrik ve manyetik teorilerini birleştirerek yayını yapmıştır. Daha sonra 1886'da Profesör Heinrich Rudolf Hertz ve 1901'de Guglielmo Marconi gibi bilim adamları antenin gelişmesinde katkı sağlamıştır (Balanis, 2015; Pozar, 1993; Yerlikaya & Gultekin, 2021).

Mikroşerit yama antenler her ne kadar fikir olarak 1953'te sunulmuş olsalar da 1955'te patenti alınmış ama 1970'li yıllardan sonra Popüler olmaya başlamıştır. Bu antenler ebatları küçük, maliyetleri düşük, performansları iyi ve üretim kolaylığı sebebiyle uçak, uzay, uydu sistemleri, füze ve kablosuz cihazlar gibi yaygın bir kullanım alanları vardır (Balanis, 2015).

RF (Radyo Frekans) enerji hasadı çevremizde serbest halde bulunan elektromanyetik dalgalar (Divakaran vd., 2019) radyo dalgaları ve elektronik cihazlar tarafından oluşturulan manyetik enerji ve sinyallerin çeşitli teknolojilerle dönüştürülmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi mümkün olan bir enerji çeşididir (Belen & Belen, 2021). RF enerji hasadı konusu son yıllarda oldukça popüler bir konu olmuştur. Bunun sebeplerinden bazıları taşınabilir kablosuz cihazlar, kablosuz enerji transferi, tıbbi cihazlar, uzaktan izleme sistemleri ve akıllı şebekeler gibi sistemlerin gelişmesiyle mikroşerit yama antenlerin düşük güç seviyelerinde dahi enerji hasadı yapabilme özelliklerine sahip olmalarıdır.

Mikroşerit yama antenlerin RF enerji hasadı için uygun olmalarının birçok sebebi vardır bunlar verimliliklerinin yüksek ve geniş bantta çalışmaları gibi özelliklerde olmalarıdır. Bu antenlerin boyut olarak küçük üretilebilir olması düşük maliyetli olmaları gibi olumlu özelliklerinden dolayı giyilebilir cihaz teknolojilerinde, akıllı şebekelerde ve otonom sistemlerde kullanılabilirler (Uluslu, 2021).

RF enerji toplama devreleri anten, empedans uyumlaştırma devresi, RF doğrultucu devresi, DC filtre devresi ve yükten oluşmaktadır (Cansız, 2019). Buradaki her bir devre elemanının görevi vardır. Anten alan şiddetini gerilim farkına çevirir, diyotlar doğrultma görevi yapar ve kondansatörler regülasyon işini yapar. Böylelikle enerji DC'ye dönüştürülür. Bu enerji düşük değerli olduğundan empedans uyumlaştırma devresi yoluyla istenilen seviyeye çıkartıldıktan sonra yüke aktarılır (Cansız, 2019).

Mikroşerit yama antenler RF enerji hasadında kullanılan entegresi kolay maliyeti ve profilleri düşük antenler olduğundan kullanımı yaygındır. Ayrıca ebat ve şekil olarak sayısızca tasarımlara sahip olması üretim kolaylığı ve farklı frekans bantlarında çalışıyor

olması gibi özelliklerinin kullanımının yaygın olması üzerinde etkisi vardır (Erbaş, 2021; Kumar & Nath, 2018).

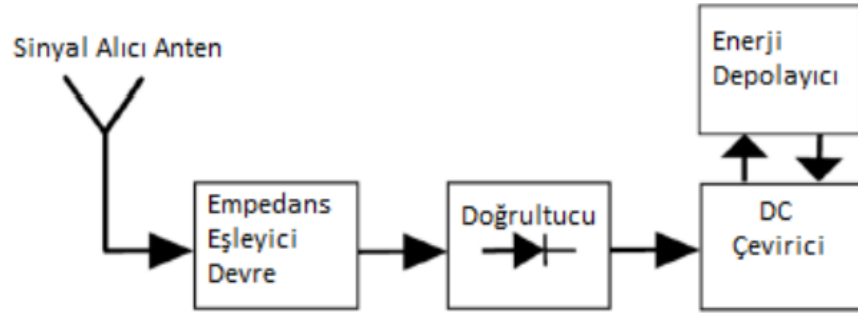
Bu çalışmada mikroşerit yama anten tasarımları yapılmış, yapılan tasarımlar üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak antenin RF enerji hasadında kullanılabilme olanağına ulaşması için Üzerinde çeşitli oyuk ve yarıklar açılarak empedans bant genişliği artırılarak (Prajapati vd., 2015) iyileştirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada mikroşerit yama antenlerlerin yapısal özellikleri, temel prensipleri, avantaj ve dezavantajları ve RF enerji hasadı gibi kavramlar hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiş olup yapmış olduğumuz anten tasarımlarının simülasyonları ve iyileştirilme aşamaları adım adım detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışmaların sonuçlarında ve tasarlanan antenlerden de yola çıkılarak çeşitli önerilerde bulunulmuştur.



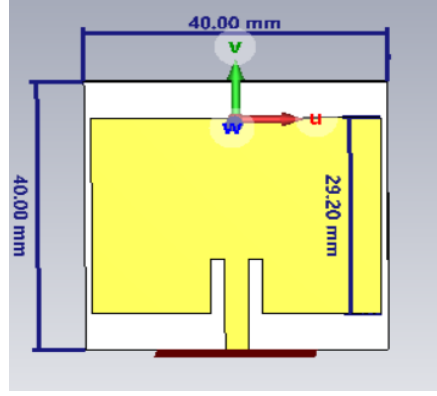
2. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER

Mikroşerit yama antenler genel olarak dielektrik (substrat) bir malzeme üzerine iletken metal parçası kullanılarak oluşturulan bir tasarımdır. Bu tasarımın temel bileşenleri saçıcı yüzey alanı (yama), iki iletken yüzey arasındaki dielektrik malzeme, besleme hattı ve toprak düzlemi (ground) gibi bileşenlerdir. Bu parçalardan besleme hattı elektrik akımını sağlamak için, diğer bir yüzeyi olan toprak düzlemi ise elektromanyetik alanın yönünün belirlenmesini sağlar. Yama antenin bazı özelliklerinin çalışma frekansı üzerinde etkileri vardır (Dogusgen Erbas, 2022a). Bunlar antenin genişliği, antenin uzunluğu ve malzemenin dielektrik sabitidir. Ayrıca antenin şekli, dielektrik malzemesinin kalın veya ince olması ve boyutlarında bant genişliğinin değişimine etkisi vardır (Kurt & Kaya, 2022; Yerlikaya & Gultekin, 2021).

Mikroşerit yama antenler RF enerji hasatlama işinde, uzay ve uçak teknolojilerinde, kablosuz haberleşme sistemlerinde ve radar sistemlerinde başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de anten Sistem blok şeması ve Şekil 2.2’de mikroşerit temel anten modeli gösterilmiştir. Bu antenlerin bu kadar yaygın kullanılmasının sebepleri arasında antenlerin yüksek kazanç, düşük profile, geniş frekans bandına ve yapısı itibarıyla montajlarının kolay olması gibi özelliklere sahip olmalarıdır (Anguera vd., 2020; Dogusgen Erbas, 2022b).



Şekil 2.1. Sistem blok şeması (Muhammad vd., 2020)



Şekil 2.2. Mikroşerit yama anten temel modeli

2.1. Mikroşerit Yama Antenlerin Analiz Modelleri

Çalışmanın bu kısmında mikroşerit yama antenlerin analizinde kullanılan hem performans analizi hem de antenlerin tasarımının iyileştirilmesinde katkısı olan üç temel analiz modelinden bahsedilmektedir.

2.1.1. Transmisyon Hat Modeli

Bu teknik basit bir teknik olmasının yanında antenin empedans eşleştirme, bant genişliği ve rezonans frekansı gibi değişkenlerin analizinde kullanılır. Transmisyon hat modeli matematiksel bir model olup, antenin etrafındaki elektromanyetik alanın yoğunluk, kutuplanma (polarizasyon), frekans ve yönünü belirlemek için kullanılır (Balanis, 2015).

2.1.2. Kavite Modeli

Transmisyon hat modeline kıyasla daha ayrıntılı çözümleme yapabilme özelliğine sahiptir. Karmaşık anten yapılarında etkilidir. Bu özelliklerinden dolayı empedans eşleştirme, yayılma örüntüsü ve rezonans frekansı gibi değişkenlerin çözülmesinde kullanılır. Bu yaklaşım manyetik alanları ve elektrik alanlarını birlikte değerlendirerek antenin yapısını daha ayrıntılı bir şekilde incelemesini sağlar (Balanis, 2015).

2.1.3. Tam Dalga Modeli

Bu teknik hem daha detaylı hem de daha kesin çözümleme yaparak antende oluşan elektromanyetik dalgaların etkisiyle modellenir. Bu model çok yüksek hassasiyetli ve karmaşık anten yapılarında kullanılmaya müsaittir.

Anlatılan bu üç modeli kendi aralarında karşılaştırıldığında transmisyon hat modeli daha hızlı ve basit, kavite modeli daha ayrıntılı bir analiz modeli ve tam dalga

modeli ise kesin bir çözümleme sağlamasına rağmen hem çok yönlü hem de karmaşık bir hesaplama yöntemidir (Balanis, 2015).

2.2. Mikroşerit Yama Antenlerin Besleme Yöntemleri

Çalışmanın bu kısmında mikroşerit yama antenlerin besleme yöntemlerinden olan mikroşerit besleme yöntemi, koaksiyel besleme yöntemi ve elektromanyetik kuplaj besleme yöntemlerinden bahsedilecektir. Çizelge 2.1’de bazı besleme tiplerinin bant genişliği, güvenilirlik, empedans uyumluluğu, polarizasyon ve üretilebilirlik gibi özellikleri açısından karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı besleme tiplerinin karşılaştırılması (Garg, 2001)

Özellikler	Koaksiyel	Mikroşerit	Yakınlık B.	Açıklık B.
Bant Genişliği	% 5’e kadar	% 5’e kadar	% 13’e kadar	% 21’e kadar
Empedans Uyumluluğu	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
Güvenirlik	Düşük Lehimden dolayı	İyi Üretimden Dolayı	İyi	İyi
İstenmeyen Işıma Besleme kay.	Fazla	Fazla	Fazla	Az
Polarizasyon Saflığı	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok İyi
Üretilebilirlik	Zor Delme Lehimleme Gerekli	Kolay	Zor Hassas Hizalama Gerekli	Zor Hassas Hizalama Gerekli

2.2.1. Mikroşerit Hat Besleme Yöntemi

Bu yöntemde mikroşerit yama antenin kenarında bulunan ve mikroşerit hattına besleme kablosunun direk bağlanmasıyla oluşan bir yöntem olup besleme hattının eni, boyu ve bağlantı noktasının antenin performansını etkilediği bir yöntemdir. Mikroşerit hatlı beslemede antenin konum ve ebatları itibariyle bant genişliği sınırlı kalarak bir dezavantaja sebep olmasına rağmen antenin düşük kayıplı olması ve antenin besleme hattına direk bağlanması şeklinin basit olmasına ve maliyet olarakta düşük değerde kalmasına sebep olarak bir avantaj sağlar (Satılmış & Güneş, 2018).

2.2.2. Koaksiyel Besleme Yöntemi

Bu besleme yöntemi en çok kullanılan besleme yöntemlerden biridir. Bu yöntemde antenin orta kısmına koaksiyel kablonun direk bağlanmasıyla yapılan bir

yöntemdir. Koaksiyel besleme yönteminde kayıplar düşük, bant genişliği de yüksektir ama antenin ebat olarak büyümesi yüksek bant kayıplarına sebep olur.

Koaksiyel besleme yönteminde düşük kayıp dolayısıyla yüksek verimlilik sağlanmasına rağmen bant sınırlamalara sahiptir. Bu sınırlama antenin frekansına ve güç gereksinimlerine uygun boyutlarda koaksiyel kablo seçilmesiyle ilişkilidir. Koaksiyel besleme yöntemi popüler bir yöntem olup kablosuz iletişim, radar ve diğer telsiz iletişim sistemlerinde kullanılan bir yöntemdir (Kütük vd., 2013).

2.2.3. Elektromanyetik Kuplaj Besleme Yöntemi

Mikroşerit yama antenlerde elektromanyetik kuplaj besleme yöntemi antenin saçıcı yüzey alanının yanındaki bir adet veya daha fazla sayıda saçıcı yüzey alanı yoluyla bağlanan besleme hatları bağlanarak geliştirilir. Bu tasarımda dikkat edilmesi gereken bazı etkenler vardır. Bunlar elektromanyetik kuplaj miktarı ve saçıcı yüzey alanı arasındaki mesafe miktarlarıdır. Bu yöntem düşük profilli antenlerde kullanılabilir bir yöntem olup antenin saçıcı yüzey alanının yapı değişiklikleri ve ek malzeme gerektirmemesi gibi durumlardan dolayı üretimi basittir. Bu yöntemin iyi yönlerinin yanında bazı sınırlılıkları vardır. Bunlar antenin performansını etkileyen besleme şeridinin, yama antenin şekli ve konumunun uygun seçilememesidir. Ayrıca çalışma frekansı ve bant genişliği ilgili olan saçıcı yüzey alanı arasındaki mesafe seçimidir (Yousefalturk & Cansız, 2022).

2.3. RF Enerji Hasadının Avantajları

RF enerji hasadı elektromanyetik dalgaların alınıp uygun formatlara dönüştürülerek ve kullanıma sunulmak üzere depolanarak enerji elde etmede kullanılan bir teknolojidir. Enerjinin elde edilmesi cihazların mesafesi başta olmak üzere, sinyallerin gücü ve sinyallerin frekans aralığından etkilenir. RF enerji hasadı cihazların depolama aygıtlarına olan ihtiyacı azalttığı için temiz ve çevreci bir teknoloji olmasının yanında hem düşük maliyetli hem de kablo kullanım miktarını da azaltıcı etkiye sahip bir teknoloji olması nedeniyle ekonomiktir. RF enerji hasadı yaygın bir kullanım alanına sahip olup kullanılacağı devrelere mikroşerit antenler yoluyla entegre edilmesi kolaydır. Ayrıca güneş enerjisi ile kıyaslandığında güç yoğunluğu daha az gibi görülmese de güneş enerjisinin mevsimlerden ve hava şartlarından etkilenmesi ve süreklilik göstermemesinden dolayı RF enerjisinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır (Cansız vd., 2019).

2.4. Mikroşerit Yama Antenlerin Avantajları

Mikroşerit yama antenler düşük profilli, ince, düz ve hafif bir yapıya sahip olduklarından dolayı farklı uygulamalarda kullanılmaya müsait olup elektronik cihazlara entegrasi kolaydır. Mikroşerit yama antenlerin yönlendirebilirlik değerleri iyi olduğundan sinyal gücünün istenilen yönde artmasını ve iletişim sinyallerinin istenilen yön ve bölgeye yoğunlaşmasını sağlar. Bu antenlerin üretimi oldukça basit ve kolaydır. PCB üzerinde istenilen tasarımlarda üretilebilir. Antenlerin bu şekilde kolay üretilebilir olması hem ekonomik olarak katkı sağlar hem de seri üretimde tasarruf sağlar. Ayrıca Mikroşerit yama antenlerin bant genişliklerinin değişimleri kolay olduğundan anten birçok uygulamada kullanılmasına olanak sağlayıp doğru bir tasarım ve uygun iyileştirme yöntemleriyle kazançları ve verimlilikleri yükseltilebilir. Böylelikle iyi bir performansa yükseltilebilirler (İmamoğlu & Karpat, 2019; Kurt & Kaya, 2022).

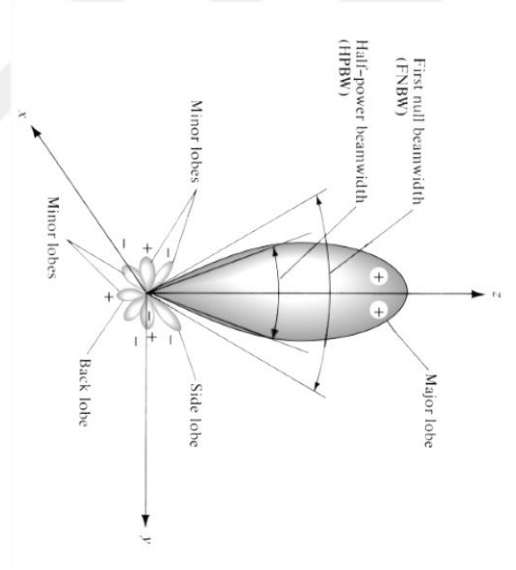
3. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ

3.1. Işıma Örüntüsü

Işıma örüntüsü antenin ışıma özelliğinin matematiksel ya da grafiksel olarak 2 ve 3 boyutlu gösterilmesidir. Antenin genişlik ve yüksekliğine bağlı olup elektromanyetik alanın dışı doğru yayılan şeklidir.

3.1.1. Işıma Örüntüsü Kulakları

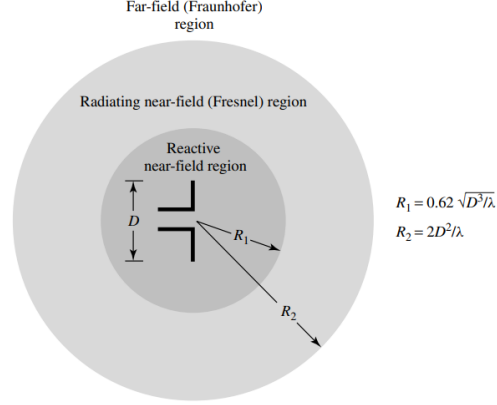
Işıma örüntüsünü oluşturan parçalara kulak (lobe) denilmektedir. Şekil 3.1’de antenin ışıma kulakları ve hüzme genişlikleri gösterilmiştir. Üst kısımlara ana kulak, küçük ışıma yapan kısımlara ise ikincil kulak, yan kulak veya arka kulak diye adlandırılır. Işıma örüntüsünde ana kulak istenen temel hüzme (ışın demeti) olup maksimum ışıma şiddetine sahiptir. İkincil kulaklar(lobes) ise istenmeyen ışımalardır ve küçültülmesi gerekir (Balanis, 2015).



Şekil 3.1. Antenin ışıma kulakları ve hüzme genişlikleri (Balanis, 2015)

3.1.2. Alan Bölgeleri

Alan bölgeleri anteni çevreleyen uzay olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi bir anteni çevreleyen üç tane alan vardır. Bunlar içten dışı doğru reaktif yakın alan, ışıyan yakın alan (frensel bölgesi) ve uzak alan (fraunhofer) olarak adlandırılır (Balanis, 2015).



Şekil 3.2. Antenin alan bölgeleri (Balanis, 2015)

3.2. Işıma Yoğunluğu

Antenlerde ışıma güç yoğunluğu elektromanyetik dalgaların boşlukta bir bilgiyi bir yerden başka bir yere aktarmaya yarar. Buradaki elektromanyetik gücü tanımlayan şey ise anlık pointing vektörüdür ve formül (3.1) ile hesaplanır (Balanis, 2015).

$$W = \epsilon XH \quad (3.1)$$

Burada; W: anlık pointing vektörününü (w/m^2), ϵ : anlık elektrik alan şiddetini (V/m), H: anlık manyetik alan şiddetini (A/m) ifade etmektedir.

3.3. Işıma Şiddeti

Bir yöndeki birim açı başına, antenden yayılan güç şeklinde ifade edilir. Birim uzak alan parametresidir. Formülü (3.2) ile ifade edilir (Balanis, 2015).

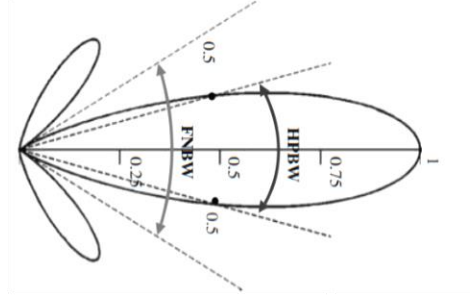
$$U = r^2 \cdot W_{rad} \quad (3.2)$$

Burada; U: ışıma şiddetini, W_{rad} : ışıma güç yoğunluğunu ifade eder.

3.4. Hüzme Genişliği

Hüzme ışın şiddeti olup hüzme genişliği ise anten örüntüsü ile ilgili bir durumdur. Hüzme genişliği örüntünün iki yanındaki özdeş noktalar arasındaki açı değeri olarak tanımlanır. Bir anten ile ilgili birden fazla hüzme genişliği vardır. Bunlardan en çok kullanılanı yarı güç bant genişliğidir (HPWB). Diğer önemli bir hüzme genişliği ise yarı ilk sıfır hüzme genişliğidir (FNBW). Hüzme genişliği açısal bir aralığı ifade eder geniş

olması daha fazla yöne iletişim sağlayabilme özelliğine sahip olduğunu gösterir (Balanis, 2015).



Şekil 3.3. Antenin iki boyutlu güç örüntüsünün hüzme genişlikleri (Balanis, 2015)

3.5. Yönlülük

Verilen bir yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönlerdeki ışıma şiddetine oranı olarak açıklanabilir. Ya da antenin ışıma örüntüsünün belirli yönlerde daha fazla güç yayması şeklinde de ifade edilebilir. Yönlülük kazanç ile doğru orantılı artan bir değerdir. Formülü (3.3) ile ifade edilir (Ozmen & Kurt, 2020).

$$D = \left(\frac{U}{U_o} \right) = \left(\frac{A_n U}{P_{rad}} \right) \quad (3.3)$$

Burada; D: yönlük, U: Işıma şiddeti (W/birim katı aç), U_o: yönbağımsız kaynağın ışıma şiddeti (W/ birim katı aç), P_{rad} : toplam ışıyan güç (W)'tür.

3.6. Anten Verimi ve Kazanç

Verim antenlerin elektromanyetik enerjisinin harcanan güce olan oranı olarak ifade edilir. Bir antenin verimli bir anten sayılabilmesi için daha az güç tüketip daha fazla güç ürettiyor olması gerekmektedir. Kazanç ise antenin performansını ölçmek için kullanılan ve bir antenin belli bir yönde yoğunlaştırdığı sinyal gücü olarak ifade edilir. Bir antenin ışıma verimliliği yönlülüğün kazanca oranlanmasıyla elde edilir. Formülü (3.4)'te gösterildiği şekildedir (Ozmen & Kurt, 2020; Yerlikaya & Gultekin, 2021).

$$Kazanç = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (3.4)$$

Burada; U : ışıma şiddetini, P_{in} : toplam girişte alınan gücü ifade eder.

3.7. Bant Genişliği

Bant genişliği giriş empedansı, hüzme genişliği, örüntü gibi karakteristiklere göre alınan anten performansının belirli bir frekans aralığında olmasıdır. Diğer bir ifadeyle antenin belirli bir frekansta yüksek performans sağladığı frekans değeridir (Balanis, 2015).

3.8. Geri Dönüş Kaybı

Antene uygulanan gücün anten tarafından yansıtılan güce oranı olup antene gelen sinyalin ne kadarının anten tarafından yansıtıldığını gösteren kayıba geri dönüş kaybı (return loss) denir. Bu yansıtmanın küçük olması verimliliğin iyi olduğu anlamına gelir (Gozel vd., 2018).

3.9. Kutuplama

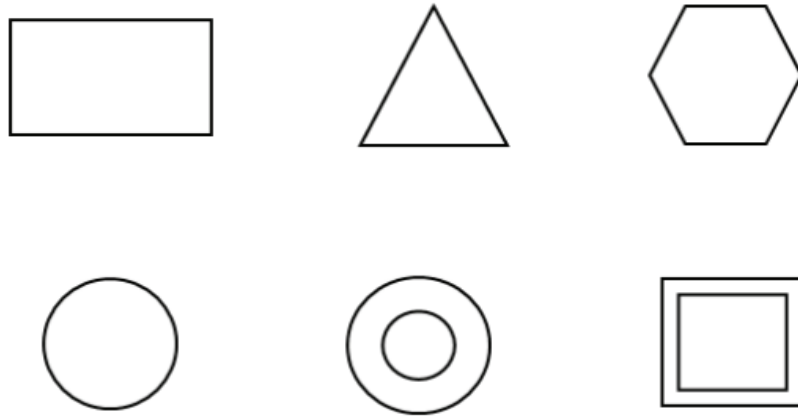
Kutuplama ya da polarizasyon antenlerin elektromanyetik dalgalarının yayılma yönü ile ilgili bir kavramdır. Kutuplanma zaman zaman yatay, dikey ve çapraz olabilir. Bir antende çapraz kutuplama oluşması için mikroşerit yama antenin yüksek dikey rezonansa sebebiyet vermesi gerekmektedir (Dogusgen Erbas, 2022b).

3.10. Sayısal Teknikler

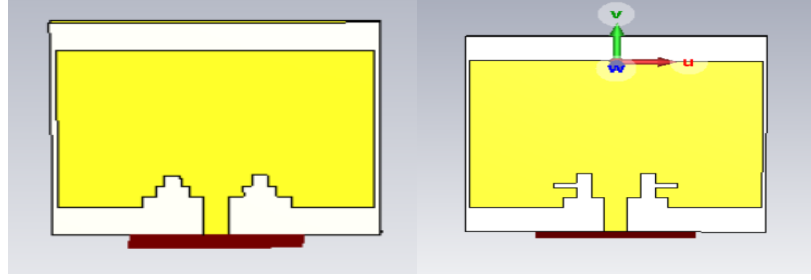
Çoğu antenler için ışıma örüntülerinin matematiksel olarak ifadelerinin bulunması ve integral formülleri ile çözülmesi mümkün değildir. Bu konuda Kraus, Tai ve Pereira, Mc donald'ın ya da Pozar'ın yaklaşık eşitlikleri kullanılarak bulmaya çalışmak yetersiz gelebilir (Balanis, 2015). Bu uygulamalar yerine günümüzde yüksek hızlı bilgisayarlar kullanılarak bu sorunların üstesinden gelinmiştir.

4. MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN YAPISI, TASARIM FORMÜLLERİ VE BAZI TASARIM PROGRAMLARI

Mikroşerit yama antenler genel olarak iki iletken metal parça arasına belli bir dielektrik sabitine sahip yalıtkan bir malzemenin konulmasından oluşur. Antenin çalışma frekansı dielektrik sabitine, anten üzerindeki metal parçaların tasarım şekline, antenin saçıcı yüzey alanı ve toprak parçası yani diğer metal kısmına göre değişiklik gösterir. Ayrıca antenin elektromanyetik alanı metal kısımlarının tasarımlarının şekline ve ebatlarına göre değişiklik gösterir. Antenin parçalarının görevleri anlatılacak olursa beslenme hattı elektrik akımını sağlarken, toprak kısmı ise elektromanyetik alanın yönünü kontrol etme görevi yapar. Mikroşerit yama antenlerin üretiminde FR-4, Rogers RT-5880, Rogers RO3003 (Lee, 2010) gibi farklı yükseklik ve dielektrik sabine sahip malzemeler kullanılır. Bu çalışmada 4.3 dielektrik sabitine ve 1.6 mm yüksekliğine sahip FR-4 (Flame Redardant-4) malzemesini kullanılmıştır. Antenin tasarlanıp üretilebilmesi için hangi frekans değerinde çalışacaksa o frekans değerine uygun şekilde çeşitli formüller kullanılarak tasarımı yapılmıştır. Şekil 4.1’de Çeşitli Anten geometrileri, Şekil 4.2’de ise kendi tasarımı olan iki adet mikroşerit yama anten şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Anten geometrileri



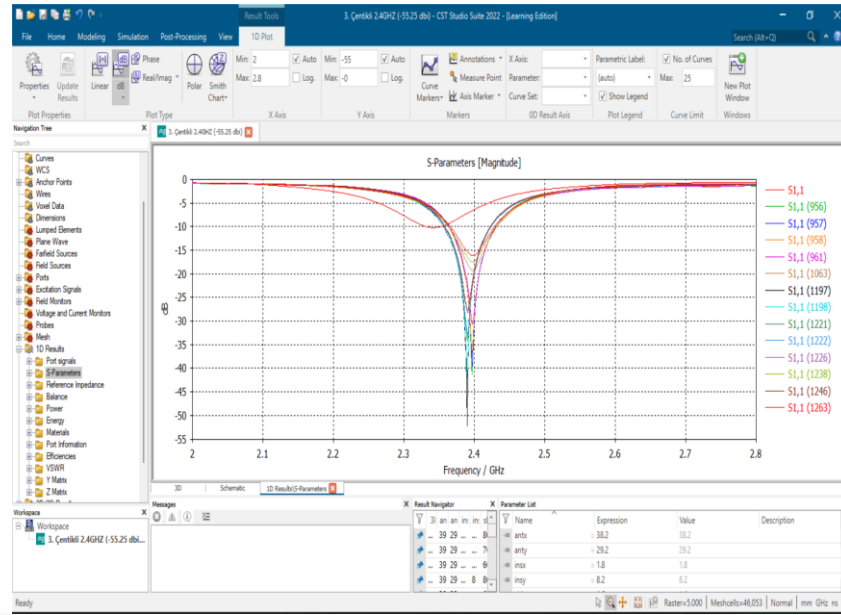
Şekil 4.2. Tasarlanan mikroşerit yama anten şekilleri

Mikroşerit yama antenlerin şekil ve ebat hesaplamalarında matematiksel formüller çoğu zaman amaca uygun sonuçlar veremeyebilir. Böyle durumlarda yaşanan olumsuzlukları bertaraf etmek için anten tasarım ve simülasyonlarında bilgisayar destekli çeşitli programlar kullanılır. Bunlar: CST (CST Microwave studio suite), HFSS (High-Frequency structure simülator) ve ADS (Advenced Desing System) bu programların birbirlerine göre çeşitli üstünlük ve eksiklikleri olup bu alanda kullanılan popüler programlardır.

4.1. Tasarım Programları

4.1.1. CST (Computer simulation Technology Microwave Studio)

Dassault System Simulia tarafından geliştirilmiş olan bu program elektromanyetik alan benzetimi yapmak için yaygın birşekilde kullanılan ve oldukça kullanışlı olan bir programdır. Uygulama alanı olarak antenler, mikroşerit devreler, radyasyon analizleri, mikrodalga ve RF tasarımı gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu programlarla 3D tasarımı yapıldıktan sonra çeşitli simülasyonlar yapılarak en iyi sonuca varılır. Şekil 4.3'te anten tasarımlarında kullanılan CST programının arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 4.3. CST microwave studio suite simülasyon programı arayüzü (<https://www.3ds.com>)

4.1.2. HFSS (High-Frequency Structure Simulator)

HFSS programı ilk olarak Profesör Zoltan Cendes ve Carnegie Mellon Üniversitesinin Öğrencileri tarafından geliştirilen elektromanyetik alan benzetimi yapmak için kullanılan diğer bir tasarım ve simülasyon programıdır. Daha çok yüksek frekanslı sistem tasarımlarında kullanılan bir programdır. Özellikle yüksek frekanslı tasarım çalışmalarında daha hassas sonuçlar elde ederek elektromanyetik analiz yapar.

4.1.3. ADS (Advanced Design Sytem)

ADS tasarım ve simülasyon programı Keysight Technologies firması tarafından geliştirilen diğer bilgisayar destekli programlar gibi mikrodalga devreleri tasarımı ve RF analizi yapmak için kullanılan programdır. Yüksek frekanslı devreler, anten tasarımları, modülatör, filtrelerin tasarımı ve analizinde kullanılan oldukça etkili bir programdır.

4.2. Antenlerin Uzunluk Genişlik ve Dielektrik Sabitinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu kısmında anten tasarımı ve antenin boyutlarının hesaplamalarında kullanılan formüllerden bahsedilecektir. Belirli bir yüksekliğe sahip bir mikroşerit yama antenin dielektrik sabiti ϵ_r , çalışma frekansı f_r olduğunu varsayarsak bu antenin genişliği W formül (4.1) ile ifade edilir.

$$W = \frac{c}{2fr} (\epsilon_r + 1)/2)^{-1/2} \quad (4.1)$$

Burada; ϵ_r : dielektrik sabiti, C : ışık hızını, fr : çalışma frekansını ve ϵ_{reff} ise dielektrik sabitinin efektif değerini ifade eder.

$$\left(\frac{w}{h}\right) > 1 \text{ ise} \quad \epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{w}\right]^{-1/2} \quad (4.2)$$

Eğer uzunluk değişken ise

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (4.3)$$

Uzunluk değiştikçe

$$L\epsilon_{reff} = L + 2\Delta L = \left(\frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{reff}}}\right) \quad (4.4)$$

Bütün bu formüllerden yola çıkarak antenin uzunluk değeri formül (4.5) ile hesaplanır.

$$L = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 0.824h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (4.5)$$

Burada; L : uzunluğu, h : dielektrik malzemenin yüksekliğini (kalınlık), W ise antenin genişliğini ifade etmektedir. Eğer antenin dairesel bir kısmı varsa veya dairesel ise fomül (4.7)'deki şekilde ifade edilir.

$$F = \frac{8,79 \cdot 10^9}{fr\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.6)$$

$$r = \frac{F}{\left[1 + \frac{24}{\pi F \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi F}{24} + 1.7726\right)\right]^{1/2}} \quad (4.7)$$

4.3. Dikdörtgensel Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Bu çalışmada CST Microwave studio suite programı kullanılarak sekiz tane dikdörtgensel mikroşerit yama anten tasarlanmış olup bu antenlerin yedi tanesi tek bant

2.4 GHz rezonans frekansında diğeri ise 1.8 GHz ve 2.4 GHz çift bantta çalıştırılacak şekilde saçıcı yüzeyi ve toprak yüzeyi dikdörtgensel şekilde tasarlanmış ve besleme şeridi ile beslenmiştir. Daha sonra iyileştirmeleri artırma amacıyla antenin yüzey alanı üzerinde ve besleme şeridinin yanında simetrik olacak şekilde çentikler ve oyuklar (Dogusgen Erbas, 2022b) açılarak antenin uzunluk ve genişliğini hesaplayan formüllerde kullanılarak en iyi anten şekline ulaşınca kadar simülasyonlar yapılmıştır. Tasarım olarak uygun bir geometriye ulaşıldıktan sonra bu geometrideki antenler CST Studio Suite programı yoluyla defalarca simüle edilerek adım adım geometrisi üzerinde şekiller, girinti ve çıkıntılar da açarak simülasyon sonuçları karşılaştırıp daha iyi sonuçlar elde edilene kadar hem antenin şekli üzerinde hem de açılan çentik ve çıkıntıların yapısı ve uzunluğu üzerinde daha fazla sayıda değişiklikler yapılarak en sonunda verim, kazaç ve geri dönüş kaybı gibi parametrelerde iyi sonuçlara ulaşınca kadar devam edilmiştir. Bütün bu işlemlerden sonra iyi sonuçlara ulaşılan antenlerin FR-4 malzemesiyle ve PCB baskı devresi yoluyla üretilmiştir (Muhammad vd., 2020).

5. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Mikroşerit yama antenler hem kompakt yapıları hem de entegrelerinin kolay olması ve düşük profilli olmaları onların iletişim sistemlerinde çokça kullanılmalarına sebep olmuştur. Modern iletişim sistemlerine uygun yapıda olan bu devre elemanları ayrıca uydu haberleşme, radar, tıbbi görüntüleme, uzay çalışmaları gibi uygulamalarda da kullanımı oldukça yaygındır. Antenlerin bu kadar çok alanda yaygın olarak kullanılması bilim insanlarını bu antenin geri dönüş kaybı, verim, kazanç gibi parametrelerinin iyileştirilmesi ve yüksek seviyelere çıkartılması konusunda çalışmalar yapmaya sevk etmiştir (Çoğun vd., 2022).

Çalışmanın bu kısmında mikroşerit yama antenlerle ilgili çalışmalardan bahsedilecektir. Çalışmalarda araştırmacıların mikroşerit yama antenler konusunda nasıl tasarım ve yöntemler denediklerinden bahsedilecek olup çalışmalarda neyi amaçladıkları ve bu amaçlarını ne derece gerçekleştirdikleri ile ilgili bilgilere yer verilecektir.

Literatürde Duman tarafından 60 GHz 5G Basit bir 60 GHz Mikroşerit yama anten adlı bir çalışmada CST Microwave Studio Suite Programı kullanılarak hem FR-4 hem de Rogers 4350B malzemeleri kullanılmış ve vivaldi anten tasarımı yapılarak 57 ve 63 GHz arası bant genişliklerinde -8.7 dB S_{11} ve uygun VSWR değerleri olan bir çalışma yapılmıştır (Duman, 2021).

2.4 GHz’de Yüksek Kazançlı Mikroşerit Yama Anten Tasarımı Adlı Bir çalışmada Anysoft-HFSS uygulaması kullanılarak bir anten tasarlanmış ve bu antenin imal edilemesi için FR-4 malzeme kullanılmıştır. Bu çalışmada üretim hattı modeli kullanılmış olup dört adet saçıcı yüzey alanına sahip yönlü bir anten tasarlanmış ve simülasyonu yapılmış olup yapılan simülasyonlarda 2.4 GHz Frekansında -26 dB Geri dönüş kaybına sahip bir değer elde edilmiştir. Daha sonra Elde edilen sonuçlar ile spektrum analizörü sonuçları arasında kıyaslama yapılarak değerlerin benzer olduğu gösterilmiştir (Yıldırım vd., 2008).

2021 yılında Zengin ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada RF enerji hasadı için *Hilal Yıldız Yuvalı Koch Kartanesi* fraktal anten tasarımı yapılmıştır. Anten hem GSM 1800 (1.8 GHz) hem de wifi (2.4 GHz) frekanslarında çalıştırılmak üzere tasarlanmış, tasarlanan bu anten 1.57 GHz ve 2.53 GHz bandında çalışacak şekilde yapımında FR-4 malzemesi kullanılmış ve daha sonra simüle edilmiş olup simülasyon sonucunda 1.8 GHz frekansında -26.33 dB ve 2.4 GHz’de -30.45 dB geri dönüş kaybı değerlerini vermiştir.

Ayrıca 2.4 GHz’de 2.62 dBi, 1.8 GHz’de 2.02 dBi kazanç elde edilmiştir (Zengin vd., 2021).

2019’da İmamoğlu’nun Mikroşerit antenlerin tasarım ve optimizasyonu adlı çalışmasında dikdörtgen bir zemin üzerinde tasarlanan E ve H tipindeki antenler yapılmış ve bu çalışmalar neticesinde antenlerin şekilleri üzerinde dikdörtgensel yapıların köşelerine çeyrek dairelerden oluşan oyuklar açılarak hem rezonans frekanslarında hem de bant genişliklerinde iyileştirmeler yapılmıştır (İmamoğlu & Karpat, 2019).

Mutlu ve Kurnaz’ın 5G Uygulamaları için Eliptik Mikroşerit Anten Tasarımı adlı çalışmalarında dielektrik sabiti 1.06, yüksekliği 2 mm olan PF-4 Malzemesi kullanarak toplamda 42.45 GHz gibi bir frekans bant genişliğinde çalışacak şekilde eliptik yapıda bir anten tasarlanmıştır (Mutlu & Kurnaz, 2022).

2010 yılında Mikroşerit yama anten tasarımı adlı çalışmada Sfiri ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda besleme şeridinin hemen üstünde geniş bir alan oluşturarak bir anten tasarımı gerçekleştirilmiş olup 5-6 GHz’de çalışacak şekilde bir anten tasarlamışlardır. Daha sonra anten üzerinde çeşitli boşluklar oluşturarak antenin boşluklu ve normal halleri kıyaslanarak birbirlerine göre üstünlükleri anlatılmıştır (Sfiri vd., 2010).

2009 yılında Vishnu, Reddy ve Rana bir çalışmalarında 2.4 GHz frekansında çalıştırılmak üzere bir Mikroşerit yama anteni (PSO/IE3D) programı ile tasarlanıp simüle edilmiş ve 1.87 kazançta ve rezonans frekansı 2.42’de -27 dBi geri dönüş kayıplı değerler elde edilmiştir (Rana & Reddy, 2009).

2023 yılında Özmen ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada WLAN ve WİMAX ta kullanılmak üzere küçük ebatlarda olan bir anten tasarlanmış olup tasarımın yapay zekâ benzetim teknikleri ve bu tekniklerin anten performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda Güçlendirilmiş aritmetik optimizasyon algoritmasının mühendislik benzetim uygulamalarında da kullanılabilir olduğu önerilmiştir (Özmen vd., 2023).

2022 yılında Youselfalturk ve Cansız tarafından yapılan ve Dicle Üniversitesi Journal Of Engineering te yayınlanan RF enerji hasatlama için 915 MHz de çalışacak bir mikroşerit anten tasarımı ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 915-200 MHz frekans bandında ve HFSS programıyla yapılan tasarımdan sonra anten simülasyon sonuçlarından yola çıkılarak 79x100x1.6 mm ebatlarında 2.38 dB kazançlı bir anten tasarlanıp kullanımı önerilmiştir (Yousefalturk & Cansız, 2022).

2015 tarihinde *Desing & Performance Of Wearable Ultra Wide Bant Textile Antenna For Medical Aplicaton* adlı bir çalışmada giyilebilir anten tasarımı üzerine çeşitli

yapılarda antenler *CAD FEKO* programı kullanılarak tasarlanmıştır. Kumaşlara uygulanan bu antenlerin daha sonra ölçümleri yapılarak kumaş üzerindeki antenler ve program ile simüle edilen antenler arasındaki kazanç, yüksek verimlilik ve radyasyon değerleri bakımından benzer oldukları gösterilmiştir (Singh vd., 2015).

Literatürdeki bir çalışmada 12 GHz’de çalıştırılmak üzere bir kubant mikroşerit yama anten tasarımı yapılmış olup bu tasarımda Rogers RT/duroid 6002 malzemesi kullanılarak *CST Microwave Studio Suite* programı kullanılmıştır. Daha sonra anten üzerinde çeşitli oyuklar açılarak bu oyukların anten ışımasına etkisi araştırılmıştır (Bebek, 2021).

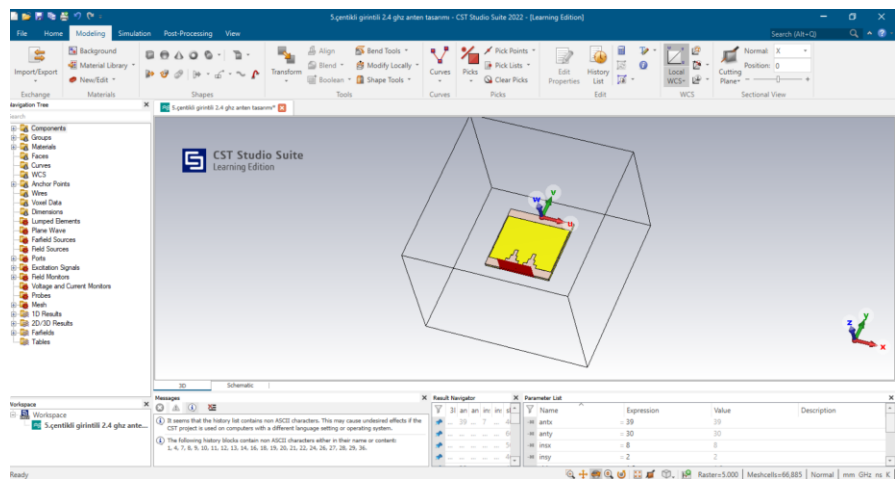
2.4 GHz Geniş bant mikroşerit anten tasarımı adlı bir çalışmada 2.4 GHz’de çalışacak şekilde bir mikroşerit yama anten tasarlanmış ve tasarlanan anten simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında çeşitli optimizasyonlar yapıldıktan sonra 2.97 dB kazançta ve 10 dB bant genişliğinde 301 MHz olan bir anten elde edilmiş olup çeşitli ölçümler yapılarak ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları arasında tutarlılık olduğu tespit edilmiştir (Keskin & Sena, 2019).

6. MATERYAL VE YÖNTEM

RF enerji hasadı elektromanyetik enerjinin toplatıldıktan sonra çeşitli yöntemlerle harmoniklerinden arındırılarak kullanılabilir formlara dönüştürülen popüler bir enerji elde etme yöntemidir. Bu çalışmada önceki çalışmalar incelenmiş olup incelenen çalışmaların anten boyutları, kazanç seviyeleri, bant genişlikleri ve geri dönüş kayıpları incelenmiş, incelenen bu konularla ilgili tesbit edilen bazı eksikliklerin üzerine gidilmiş olup daha sonra bu eksikliklerin azaltılmasına katkı sağlamak amacıyla çeşitli ebatlarda dikdörtgensel yama antenler tasarlanmış ve tasarlanan bu antenler üzerinde çeşitli oyuk ve çentikler açılarak simülasyonlar yapılmış ve bazı parametrelerde önceki çalışmalara nazaran iyileştirmeler yapılmıştır.

Tasarım ve simülasyonlar da CST Microwave Studio Suite programı kullanılmıştır. Bu programı tıp, savunma sanayi, Mikrodalga teknolojileri gibi sistemlerin karmaşık tasarımlarını başarılı bir şekilde yapabilen, kişiyi karmaşık ve zor matematik hesaplarından kurtaran oldukça verimli bir tasarım ve simülasyon programıdır.

CST Microwave studio suite programı gelişmiş bir ara yüze sahip olup endüstrinin birçok uygulamasında kullanılır. Bu program elektromanyetik alanların davranışlarının simülasyonlarını yaparken temel olarak maxwell denklemlerinin sayısal ifadelerinden yararlanarak elektromanyetik alanın görselleştirmesine olanak sağlar. Şekil 6.1’de CST microwave studio suite arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 6.1. CST microwave studio suite arayüzü (<https://www.3ds.com>)

Çalışmada tasarım ve simülasyon sonucunda yapılan ve istenilen seviyelere ulaşan Mikroşerit yama antenin üretim aşamasına geçilecektir. Üretim aşamasında FR-4 malzemesi kullanılacaktır. FR-4 malzemesi elektrik elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan ve performans olarak oldukça yüksek seviyede olan bir malzemedir. FR-4 malzemesi iki yüzeyi bakır iletken arası dielektrik epoksi olan bir malzeme olup PCB devrelerinde sıkça kullanılmaktadır. Bu malzeme yüksek sıcaklık dayanımı yani yanmaya karşı dirençli olma özelliği ve yüksek performanslı olma gibi özelliklerinden dolayı hem elektrik elektronik baskı devrelerinde hem de RF uygulamaları için mikroşerit yama anten üretiminde kullanılan bir bileşendir.

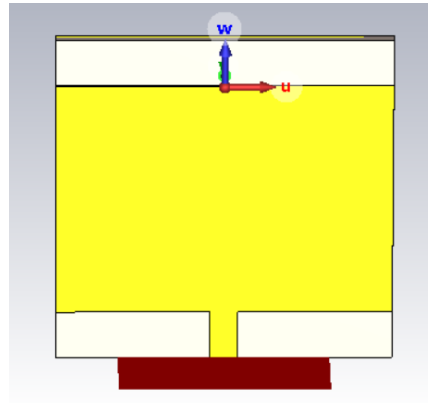


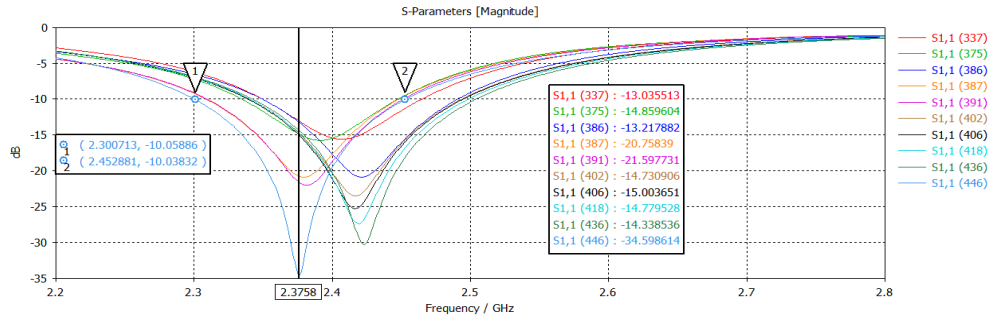
Şekil 6.2. FR-4 epoksi malzemesi

Çizelge 7.2. Benzetimi yapılan ilk antenin ebat ölçüleri

Sıra	Antx	Anty	Sbx	Sby	İnsx	insy
337	39	28	50	60	-	-
375	39	28.5	40	50	-	-
386	38.8	28	40	50	-	-
387	38.5	28.5	40	40	-	-
391	39	28	40	40	-	-
402	38.5	28	40	40	-	-
406	39	28	40	40	-	-
418	39.5	28	40	40	-	-
436	40	28	40	40	-	-
446	40	28.5	40	40	-	-

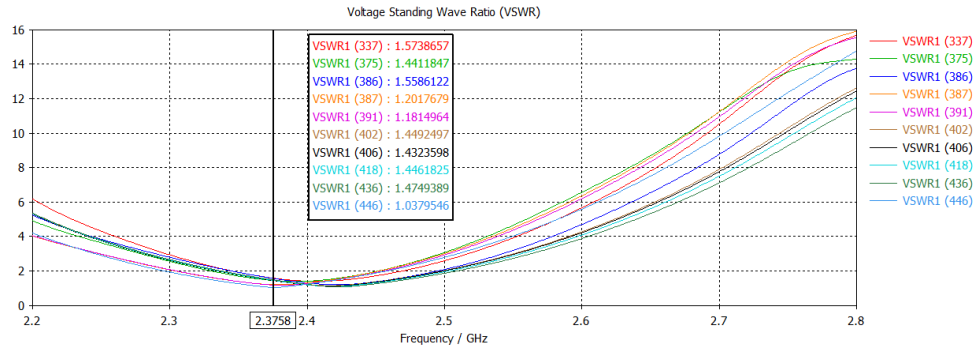
Çizelge 7.2’de birinci sırada tasarlanan antenin sırası ile anten saçıcı yüzey alanının genişliği (Antx), yüzey alanı uzunluğu (Anty), aynı ebatlarda olan toprak ve dielektrik malzemelerin uzunluk ve genişlikleri (Sbx) ve (Sby) değerleri mm cinsinden gösterilmiştir.

**Şekil 7.2.** Tasarlanan ilk mikroşerit yama anten modeli



Şekil 7.3. Tasarlanan ilk antenin S_{11} grafikleri

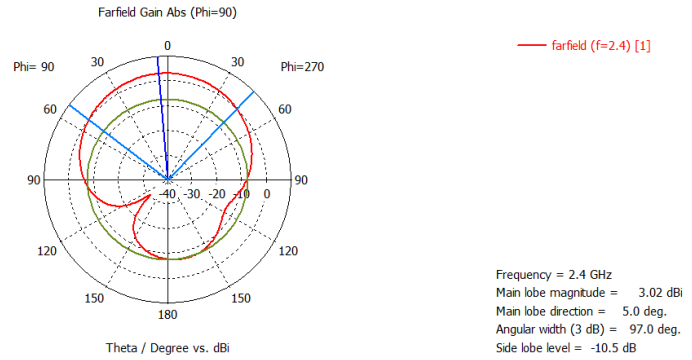
Şekil 7.3'te Tasarlanan mikroşerit yama antenin ilk halinin rezonans frekanslarının en iyi değerleri gösterilmiştir. Bu grafikte antenin yapılan yüzlerce simülasyondan kaçınıcı sırada en iyi S_{11} değerine ulaştığı gösterilmektedir. Örneğin 337. Sıradaki kırmızı renkli grafik çizgisi çalışılan rezons frekansı olan 2.4 GHz'de ve olması gereken değer olan -10 dBi değerinin altında olmasına rağmen S_{11} değeri yeterince düşük olmadığından daha iyi neticeler almak için anten üzerinde ebat olarak değişiklikler yaparak örneğin 446. Sıradaki açık mavi grafik çizgisi ise S_{11} değeri çok iyi duruma getirilmiştir. Fakat antenin çalışması istenilen rezonans frekansı olan 2.4 GHz'den biraz saparak 2.375 GHz'de en iyi değere ulaşmıştır. Bu durum bize daha fazla parametrelerde değişiklikler yaparak hem 2.4 GHz'de hem de daha iyi S_{11} değerlerine ulaşması gerektiğini anlatmaktadır.



Şekil 7.4. Tasarlanan ilk antenin VSWR oranları grafiği

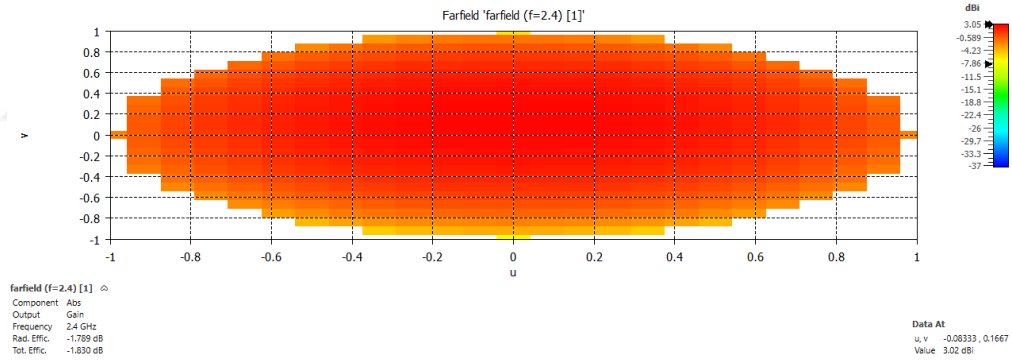
Şekil 7.4'te Tasarlanan ilk antenin yapılan yüzlerce simülasyon değerlerinin en iyi on tanesi gösterilmiştir. Bir antenin ışıma yapması için sahip olması gereken bazı özellikler bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi voltaj duran dalga oranı $VSWR \leq 2$ değerinde olması, diğer bir özellik ise Geri dönüş kaybı olan S_{11} 'in $S_{11} \leq -10$ dBi değerlerinin sağlanmasıdır (Bebek, 2021). Şekil 7.4'te mavi renkle gösterilen grafik

çizgisinde görüldüğü gibi VSWR oranları 2'nin oldukça altında ve çalışılan rezonans frekansına yakın bir değerde ve 1.038 dir.



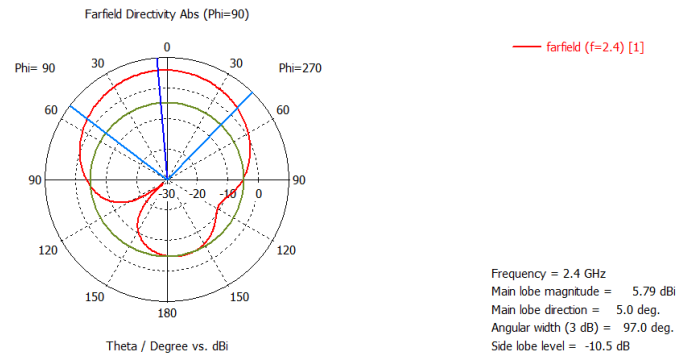
Şekil 7.5. Tasarlanan ilk antenin tek boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.5'te $f=2,4$ GHz frekansı için benzetim yapılmış ve bu benzetim sonucunda bulunan grafik yz düzlemindeki tek boyutlu kazanç ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen kazanç ışıma örüntüsüne bakıldığında, ana hüzme yönünün 5° , 3 dBi açısıl hüzme genişliğinin ise 97.0° olduğu görülmüştür.



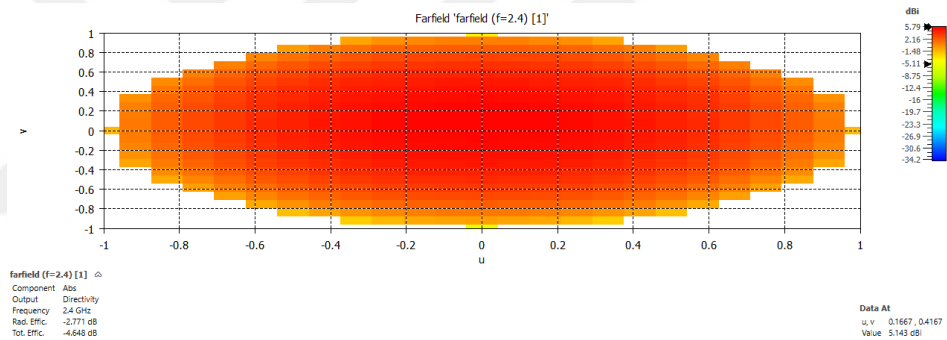
Şekil 7.6. Tasarlanan ilk antenin iki boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.6'da Tasarlanan mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Şekil incelediğinde 2.4 GHz'de 3.05 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmektedir.



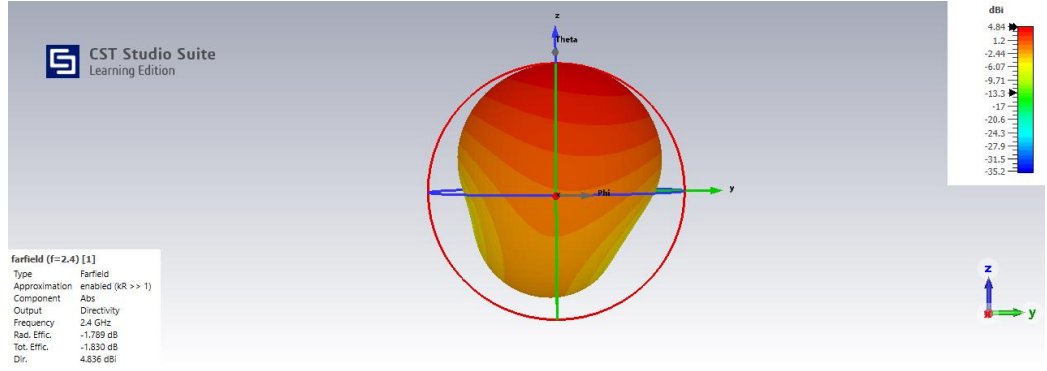
Şekil 7.7. Tasarlanan ilk antenin tek boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.7’de $f=2.4$ GHz frekansı için benzetim sonucunda elde edilen grafik değerleri gösterilmiştir. Grafik yz düzlemindeki tek boyutlu yönlülük ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen yönlülük ışıma örüntüsü incelendiğinde, ana hüzmeye yönünün 5° , 5.79 dBi açısız hüzmeye genişliğinin ise 97.0° olduğu görülmüştür.

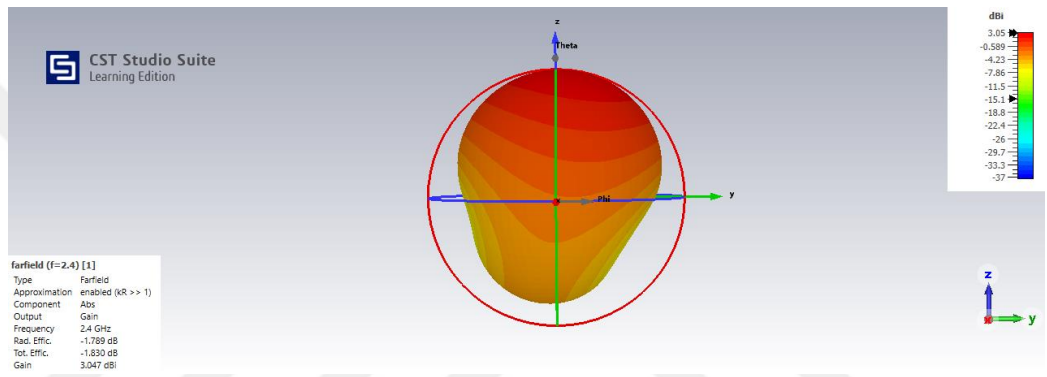


Şekil 7.8. Tasarlanan ilk antenin iki boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.8’de Tasarlanan mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu yatay ve düşey yönlülük grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 2.4 GHz’de 5.79 dBi gibi bir yönlülükte olduğu görülmektedir.

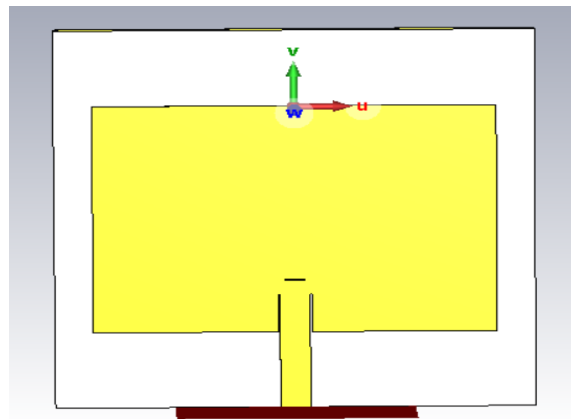


Şekil 7.9. Tasarlanan ilk antenin üç boyutlu yönlülük grafiği



Şekil 7.10. Tasarlanan ilk antenin üç boyutlu kazanç grafiği

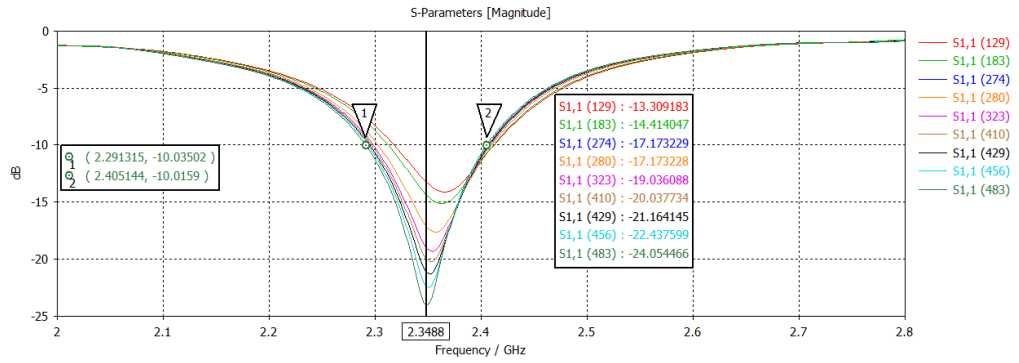
Şekil 7.9’da İlk Tasarlanan mikroşerit yama antenin üç boyutlu yönlülük grafiği gösterilmiştir. Şekil 7.10’da ise antenin 2.4 GHz’de üç boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Grafikte antenin 3.05 dBi kazanca ulaştığı görülmüştür.



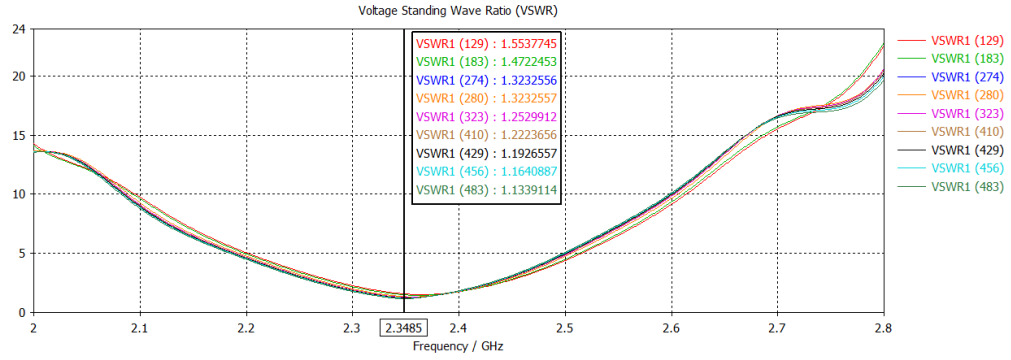
Şekil 7.11. Tasarlanan ikinci mikroşerit yama anten modeli

Çizelge 7.3. Benzetimi yapılan ikinci antenin ebat ölçüleri

Sıra	Antx	Anty	Sbx	Sby	İnsx	İnsy
129	36	29	-	-	4	0.2
183	37	29	-	-	7	0.2
274	39	29	-	-	4	0.4
280	39	29	-	-	7	0.4
323	40	29	-	-	5	0.2
410	40.5	29	-	-	7	0.6
429	41	29	-	-	6	0.2
456	41.5	29	-	-	6	0.2
483	42	29	-	-	6	0.2

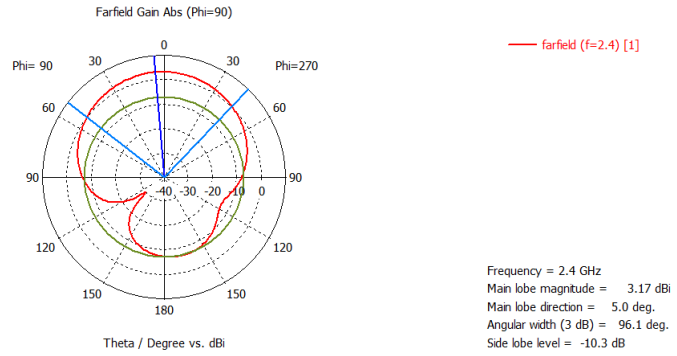
Şekil 7.12. Tasarlanan ikinci antenin S₁₁ grafikleri

Şekil 7.12’de İkinci sırada tasarlanan ve bazı özellikleri bakımından önceki tasarımdan daha iyi hale getirilmiş bir antenin S₁₁ grafiği görülmektedir. Antenin öncekine kıyasla besleme şeridinin sağ ve soluna hem bant genişliğini artırmak hem de çalışma frekansını daha düşük hale getirmek için (Özmen vd., 2023) iki adet simetrik çentik açılmıştır. Antenin simülasyon sonucunda elde edilen S₁₁ Grafiği incelendiğinde -10 dBi değerinin altında ve -24.05 dBi gibi bir değere ulaştığı ayrıca çalışılan 2.4 Ghz’lik frekans değerine yakın olduğu ve yaklaşık 2.29 GHz ile 2.41GHz değerleri arasında bir bant genişliğine sahip olduğu görülmüştür.



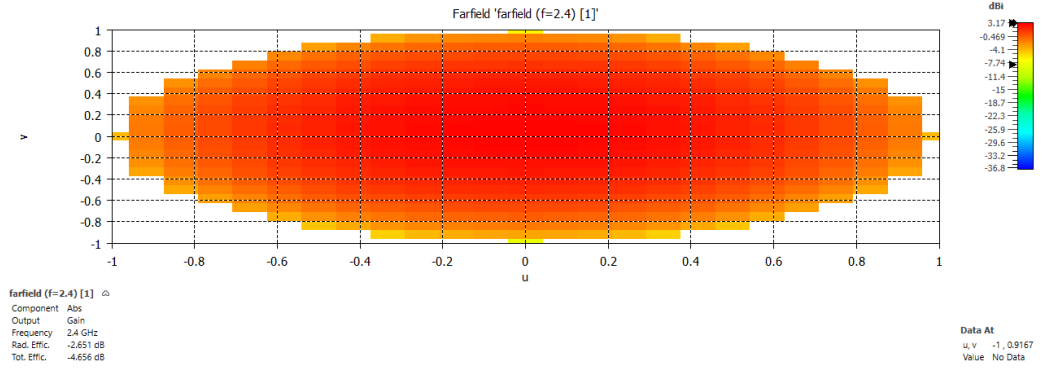
Şekil 7.13. Tasarlanan ikinci antenin VSWR oranları grafiği

Şekil 7.13'te İkinci antenin duran dalga voltaj oranı (VSWR) gösterilmiştir. VSWR değeri antene yansıyan ve iletilen gerilimlerin orantısal karşılığı olup bu değer 1'e yaklaştırılması gerekli olan ve amaçlanan bir parametredir (Çoğun vd., 2022). Grafik incelendiğinde dokuz adet simülasyon sonucu VSWR değerlerinin 1.13 ile 1.55 değerleri arasında değiştiği 2 değerinin altında olup 1'e oldukça yakın oldukları için antende biraz daha iyileştirmeler olduğu tespit edilmiştir.



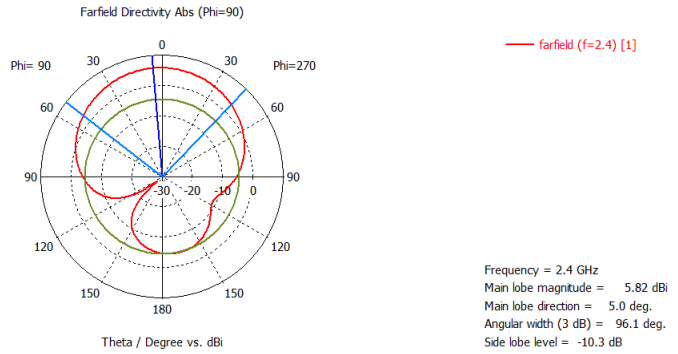
Şekil 7.14. Tasarlanan ikinci antenin tek boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.14'te $f=2.4$ GHz frekansı için yapılan simülasyon sonucunda tesbit edilen örüntü yz düzlemindeki tek boyutlu kazanç ışıma örüntüsünü göstermektedir. Ölçülen kazanç ışıma örüntüsü grafiğine bakıldığında, ana hüzmeye yönünün 5° , 3.17 dBi açısızal hüzmeye genişliğinin ise 96.1° olduğu görülmüştür.



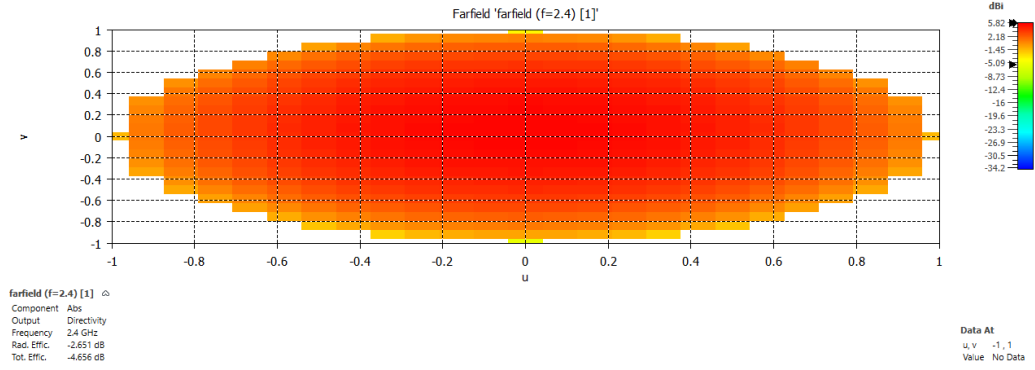
Şekil 7.15. Tasarlanan ikinci antenin iki boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.15'te Mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 2.4 GHz'de 3.17 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmektedir.



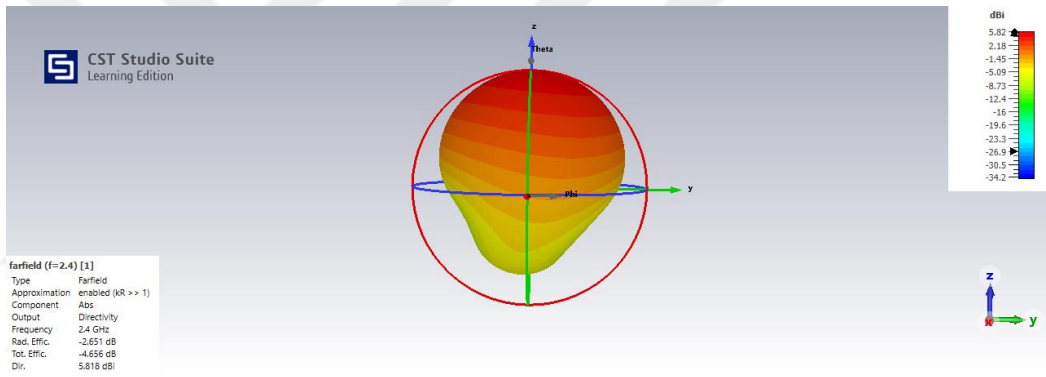
Şekil 7.16. Tasarlanan ikinci antenin tek boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.16'da $f=2,4$ GHz frekansı için benzetim sonucunda bulunan örüntü yz düzlemindeki tek boyutlu yönlülük ışıma örüntüsünü göstermektedir. Ölçülen yönlülük ışıma örüntüsü baz alındığında, ana hüzme yönünün 5° , 5.82 dBi açisal hüzme genişliğinin ise 96.1° olduğu görülmüştür.

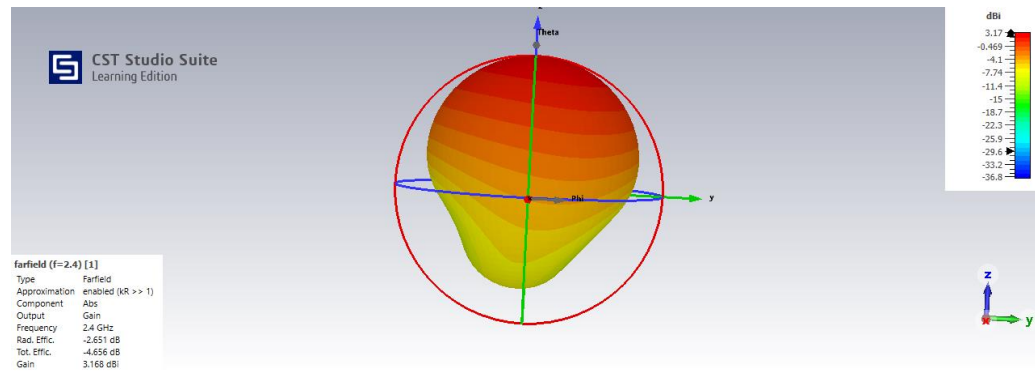


Şekil 7.17. Tasarlanan ikinci antenin iki boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.17’de Mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu yatay ve düşey yönlülük grafiği gösterilmiştir. Şeklin 2.4 GHz’de 5.82 dBi gibi bir yönlülükte olduğu görülmektedir.



Şekil 7.18. Tasarlanan ikinci antenin üç boyutlu yönlülük grafiği



Şekil 7.19. Tasarlanan ikinci antenin üç boyutlu kazanç grafiği

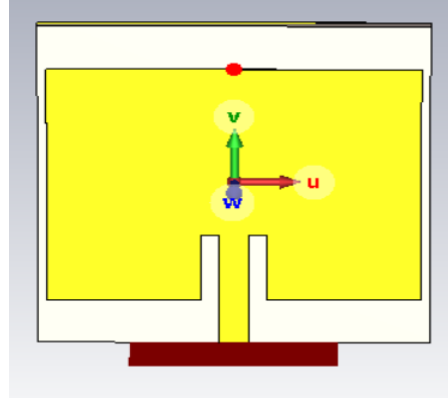
Şekil 7.18’de Mikroşerit yama antenin Üç Boyutlu yönlülük grafiği gösterilmiştir. Şekil 7.19’da ise tasarlanan mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansı ve üç

boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Grafikte antenin 3.17 dBi gibi bir kazanca ulaştığı görülmüştür.

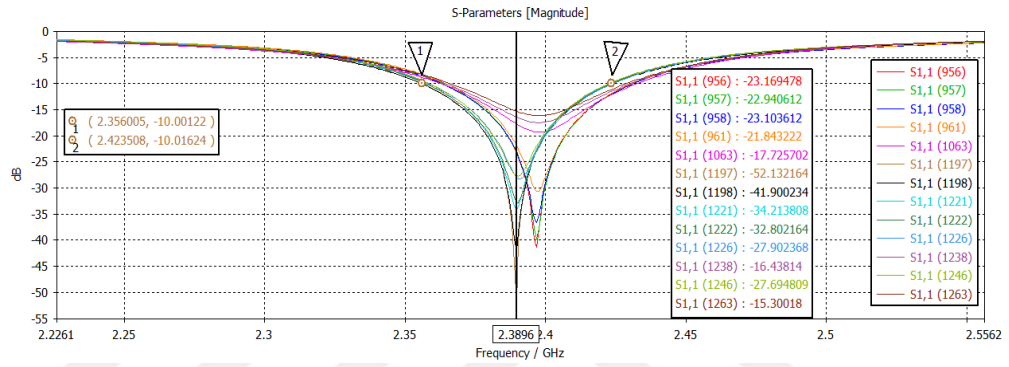
Çizelge 7.4. Benzetimi yapılan üçüncü antenin ebat ölçüleri

Sıra	Antx	Anty	Sbx	Sby	İnsx	insy
1063	38	29	60	60	1.8	7.8
1197	38.2	29	70	90	1.8	7.8
1198	38.2	29	60	90	1.8	7.8
1221	38.2	29	80	90	1.8	8
1222	38.2	29	70	90	1.8	8
1226	38.2	29	80	80	1.8	8
1238	38.2	29	60	60	1.8	8
1246	38.2	29	60	90	1.8	8.2
1263	38.2	29	80	60	1.8	8.2

Çizelgede görüldüğü gibi Tasalanan ve besleme şeridinin yanlarına simetrik şekilde çentik açılan, üçüncü antenin ebatlarına göre yapılan değişikliklerin değerleri görülmektedir. Sılamalardan da anlaşılacağı üzere adım adım değişiklikler yapılarak sayıca 1263 ve çok daha üstünde bir sayıda simülasyon yapılmış olup bunlardan en iyi dokuz tanesi çizelgede yer almıştır.

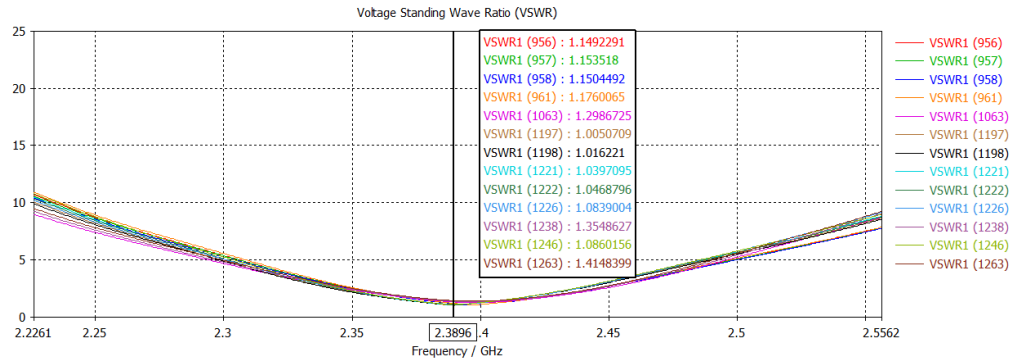


Şekil 7.20. Tasarlanan üçüncü mikroşerit yama anten modeli



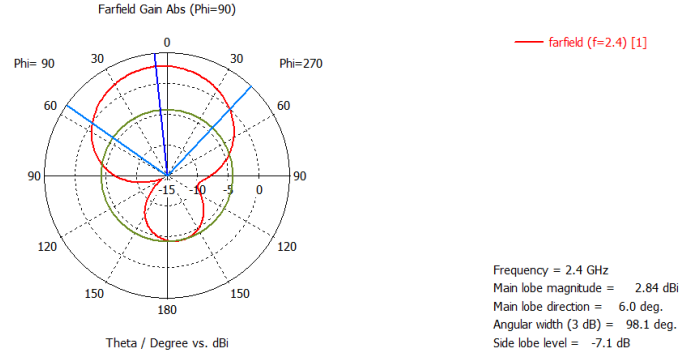
Şekil 7.21. Tasarlanan üçüncü antenin S_{11} grafikleri

Şekil 7.21’de Simüle edilen üçüncü antenin S_{11} grafiği görülmektedir S_{11} değerleri incelendiğinde bütün değerlerin -10 dBi nin altında -16.48 dBi ile -52.3dBi değerleri arasında olduğu ve bant genişliklerinin de 2.35 GHz ile 2.43 GHz arasında ve en iyi değerine 2.389 GHz’de ulaştığı ve ulaşılacak istenilen değer olan 2.4 GHz rezonans frekansı değerine çok yakın olduğu görülmektedir.



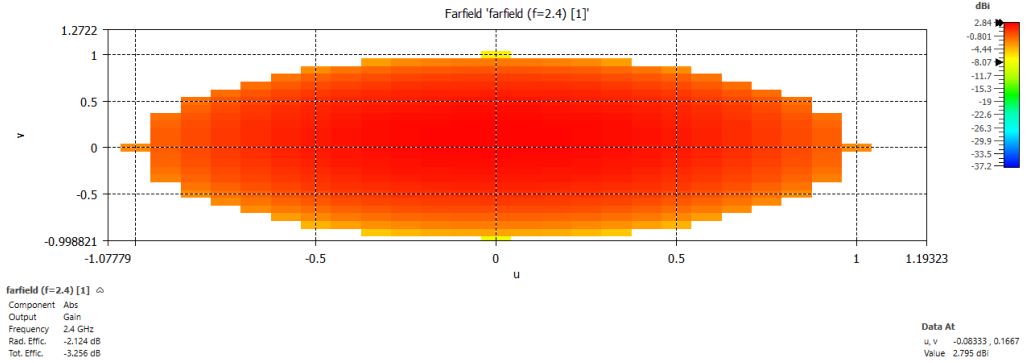
Şekil 7.22. Tasarlanan üçüncü antenin VSWR grafikleri

Şekil 7.22’de duran dalga voltaj oranı (VSWR) grafiğinde görüldüğü gibi 2.389 GHz ile 2.4 GHz değeri arasında ve istenilen değer olan $VSWR \leq 2$ değerini sağladığı ve 1 değerine en yakın değerde binden fazla simülasyon sonuçlarından 13 tanesi alınmıştır. Bu değerler 1.009 ile 1.41 arasında olup 1’e yakın değerlerde olduklarından dolayı antenler oldukça iyidir denilebilir.



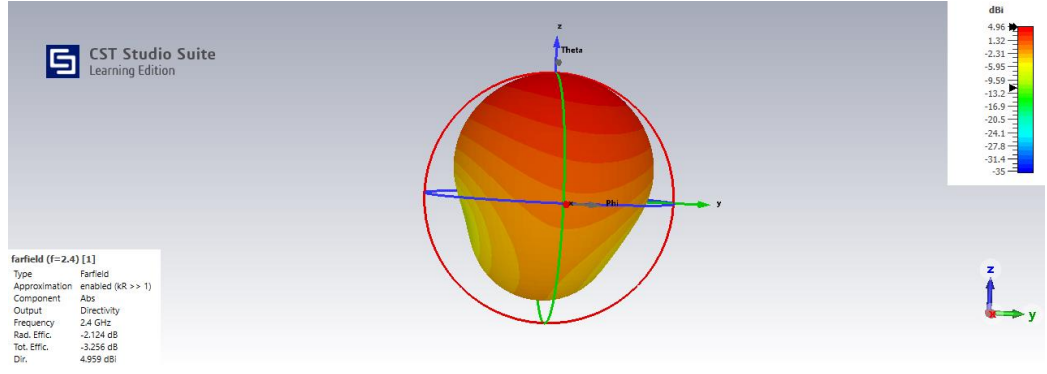
Şekil 7.23. Tasarlanan üçüncü antenin tek boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.23’te $f=2.4$ GHz frekansında tasarlanan üçüncü anten için benzetim sonucunda bulunan yz düzleminde tek boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Ölçülen ışıma örüntüsü baz alındığında, ana hüzme yönünün 6° , 2.84 dBi açısıl hüzme genişliğinin ise 98.1° olduğu görülmüştür.

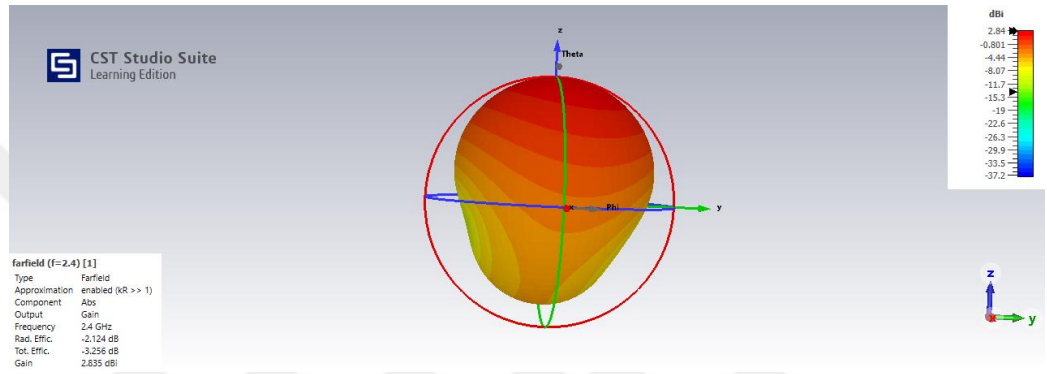


Şekil 7.24. Tasarlanan üçüncü antenin iki boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.24’te Mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 2.4 GHz’de 2.84 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmektedir.

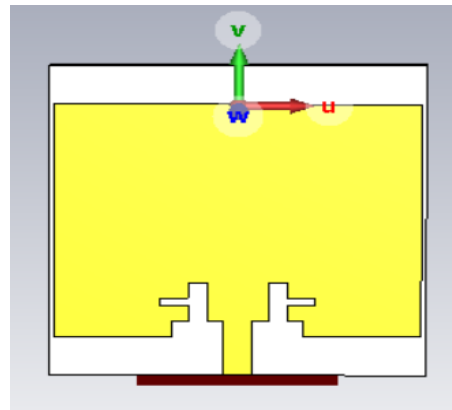


Şekil 7.27. Tasarlanan üçüncü antenin üç boyutlu yönlülük grafiği



Şekil 7.28. Tasarlanan üçüncü antenin üç boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.27’de görüldüğü gibi tasarlanan üçüncü mikroşerit yama antenin Üç boyutlu yönlülük Grafiği gösterilmiştir. Şekil 7.28’de ise antenin 2.4 GHz rezonans frekansı ve üç boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Grafiğin 2.84 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmüştür.

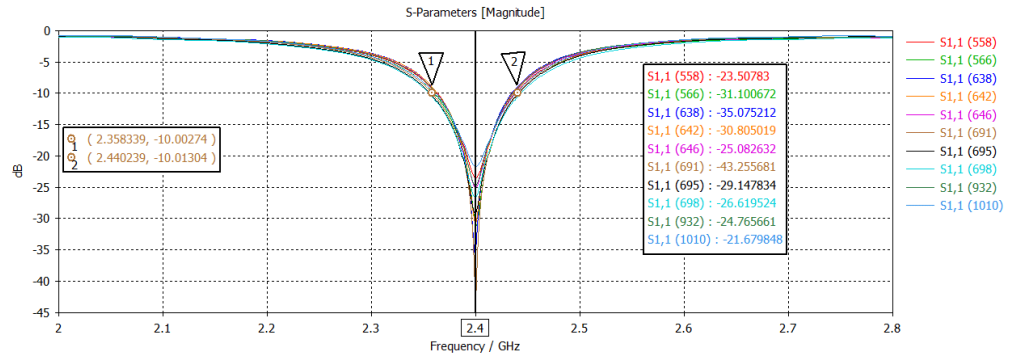


Şekil 7.29. Tasarlanan dördüncü mikroşerit yama anten modeli

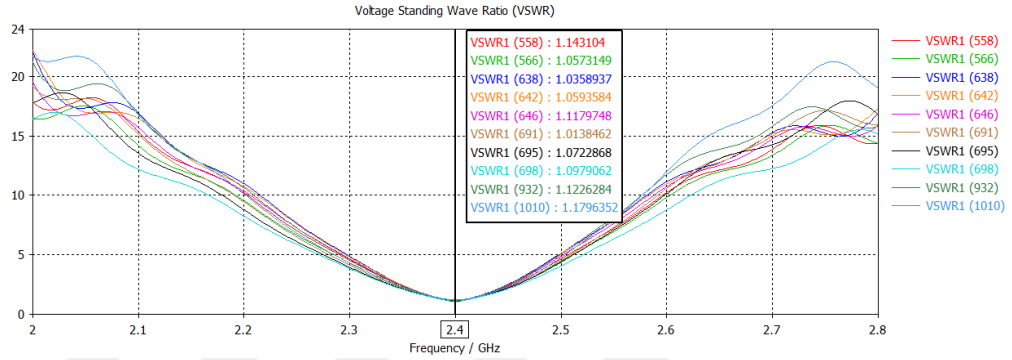
Çizelge 7.5. Benzetimi yapılan dördüncü antenin ebat ölçüleri

Sıra	Antx	Anty	Sbx	Sby	İnsx	insy
558	37.5	29	70	70	8	1.5
566	37.5	29	50	70	8	1.5
638	38	29	70	70	7.5	2
642	38	29	60	70	7.5	2
646	38	29	50	70	7.5	2
691	38	29	60	60	8.5	1.5
695	38	29	50	60	8.5	1.5
698	38	29	40	70	8.5	1.5
932	37.8	29	70	60	8.5	2
1010	37.7	29	60	50	8.5	2

Çizelge 7.5'te Tasarlanan dördüncü antenin ve dielektrik malzemesinin sırasıyla uzunluk ve genişliği olan Antx, Anty, Sbx, Sby değerleri ve açılan çentiklerin uzunluk ve genişlikleri olan İnsx ve İnsy değerlerin simülasyon da yapılan iyileştirmelere göre hangi simülasyon sırasında ne kadar değer aldığı görülmektedir.

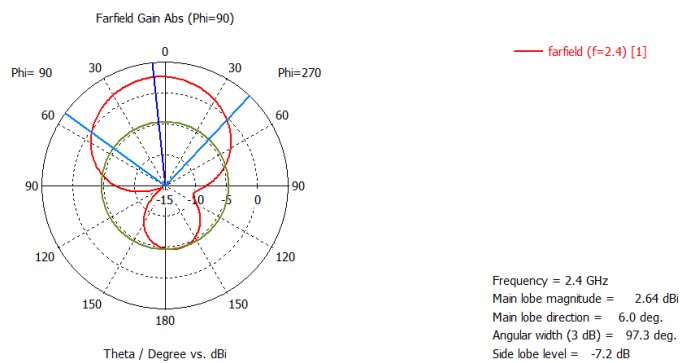
Şekil 7.30. Tasarlanan dördüncü antenin S₁₁ grafikleri

Şekil 7.30’da Antenin saçıcı yüzey alanı üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak 1010’den fazla sayıda simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen grafikler arasından en iyi değerleri sağlayan ve S_{11} değerleri -21.67 dBi ile -43.25 dBi arasında olup -10 dBi den düşük olma şartını iyi derecede sağlayan değerler elde edilmiştir. Ayrıca Bant genişliği incelediğinde 2.34 GHz ile 2.43 GHz değerler arasında olduğu ve antenin çalışması gereken rezonans frekansı olan 2.4 GHz’de -43.25 dBi değerine ulaştığından dolayı antenin çok iyi değerlere sahip olduğu söylenebilir.



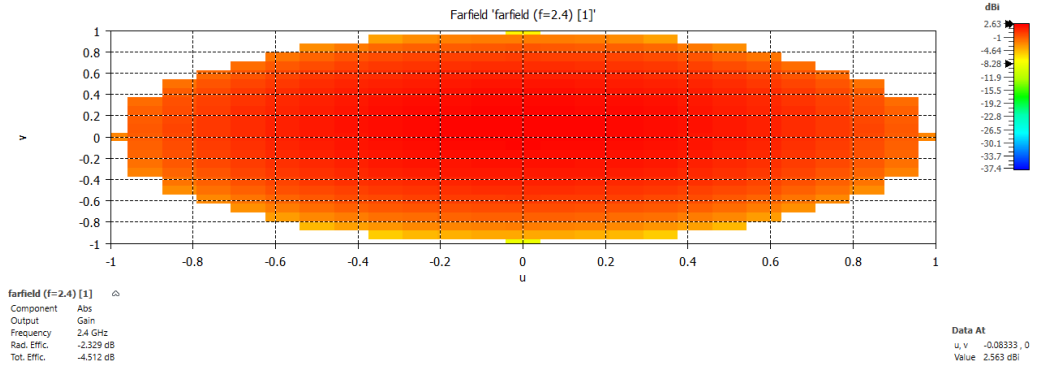
Şekil 7.31. Tasarlanan dördüncü antenin VSWR grafikleri

Şekil 31’de Dördüncü antenin VSWR grafik çizgilerinden anlaşılabacağı gibi antenin çalışması istenen rezonans frekansı olan 2.4 GHz’de S_{11} sonucu $VSWR \leq 2$ değerini sağladığı ayrıca 1 değerine çok yakın değerlerde olduğu 1.17 ile 1.01 arasında 10 tane değerde sağladığı görülmektedir.



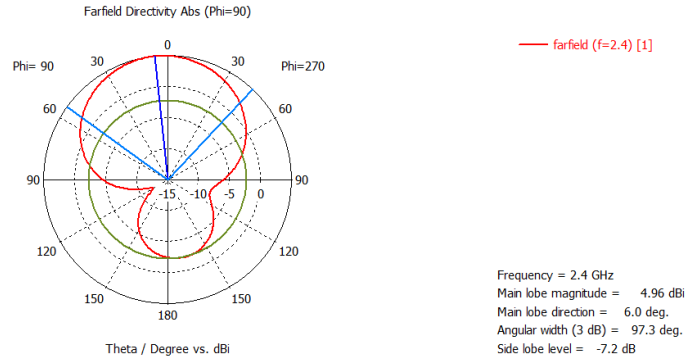
Şekil 7.32. Tasarlanan dördüncü antenin tek boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.32’de $f=2.4$ GHz frekansı için benzetim sonucunda bulunan grafik yz düzlemindeki tek boyutlu kazanç ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen ışıma örüntüsü baz alındığında, ana hüzmeye yönünün 6° , 2.64 dBi açısal hüzmeye genişliğinin ise 97.3° olduğu görülmüştür.



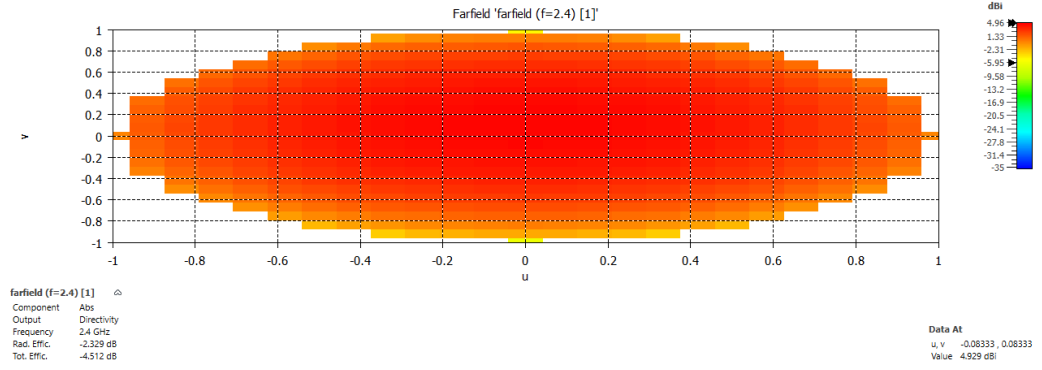
Şekil 7.33. Tasarlanan dördüncü antenin iki boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.33'te Tasarlanan mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 2.4 GHz'de 2.63 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmektedir.



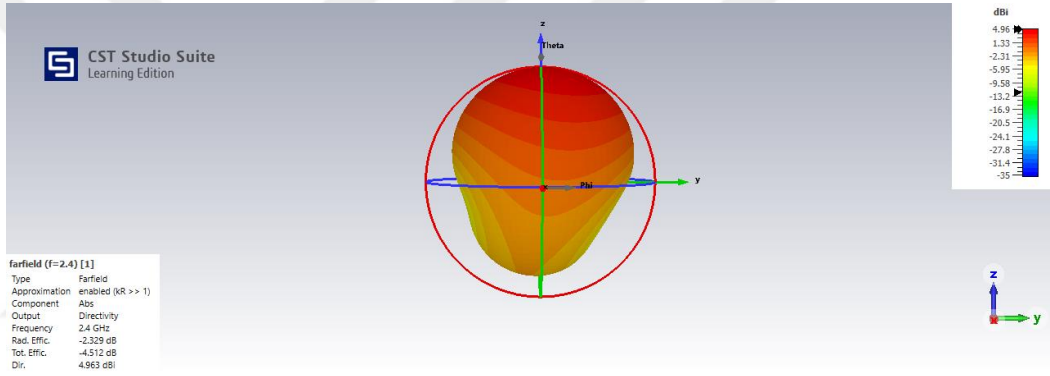
Şekil 7.34. Tasarlanan dördüncü antenin tek boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.34'te $f=2.4$ GHz frekansı için benzetim grafiği yz düzlemindeki tek boyutlu yönlülük ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen ışıma örüntüsünü incelendiğinde, ana hüzmeye yönünün 6° , 4.96 dBi açısal hüzmeye genişliğinin ise 97.3° olduğu görülmüştür.

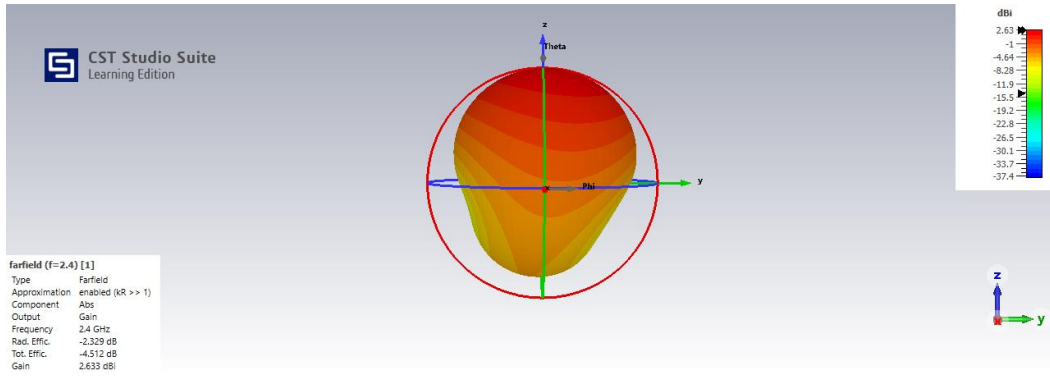


Şekil 7.35. Tasarlanan dördüncü antenin iki boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.35'te Mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu yatay ve düşey yönlülük grafiği gösterilmiştir. Şekle bakıldığında antenin 2.4 GHz'de ve 4.96 dBi gibi bir yönlülükte olduğu görülmektedir.



Şekil 7.36. Tasarlanan dördüncü antenin üç boyutlu yönlülük grafiği



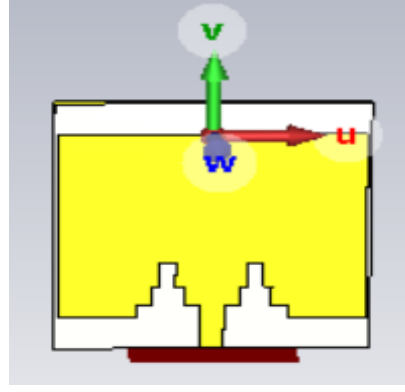
Şekil 7.37. Tasarlanan dördüncü antenin üç boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.36'da Üç boyutlu yönlülük ve şekil 7.37'de ise görüldüğü gibi tasarlanan dördüncü mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansında üç boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Grafikte antenin 2.63 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmüştür.

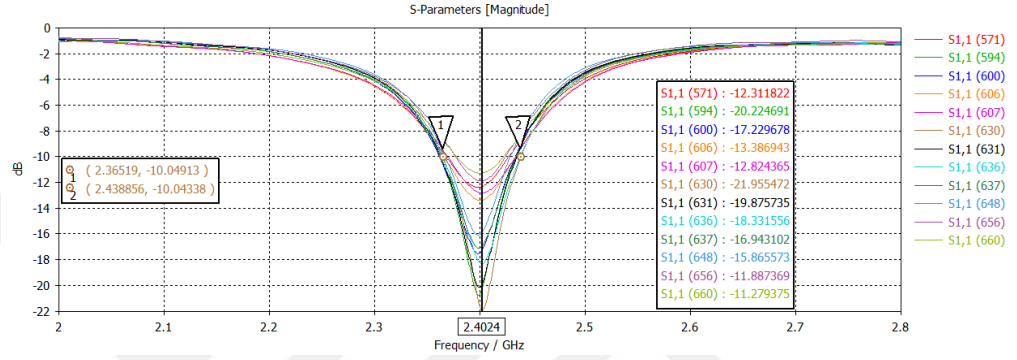
Çizelge 7.6. Benzetimi yapılan beşinci antenin ebat ölçüleri

Sıra	Antx	Anty	Sbx	Sby	İnsx	insy
571	39	29.5	40	60	7	1.5
594	38.5	29.5	60	60	7.5	1.5
600	38.5	29.5	50	60	7.5	1.5
606	38.5	29.5	40	60	7.5	1.5
607	39	29.5	40	60	7.5	1.5
630	38.5	29.5	60	60	8	1.5
631	38.5	29.5	60	60	8	1.5
636	39	29.5	50	60	8	1.5
637	38.5	29.5	50	60	8	1.5
648	38.5	29.5	60	60	8	2
656	38.5	29.5	50	50	8	2
660	38.5	29.5	40	60	8	2

Çizelge 7.6’da Görüldüğü gibi saçıcı yüzey alanının uzunluğu sabit bırakılarak genişliği azaltılıp simülasyonlar yapılmıştır. Simülasyon sayısı olarak 660’tan fazla sayıda ve her seferinde ölçüleri değiştirilerek bir önceki antenden daha iyi değerler ulaşmak hedeflenmiş olup elde edilen sonuçlar S_{11} , VSWR, kazanç ve yönlülük gibi grafiklerde gösterilmiştir.

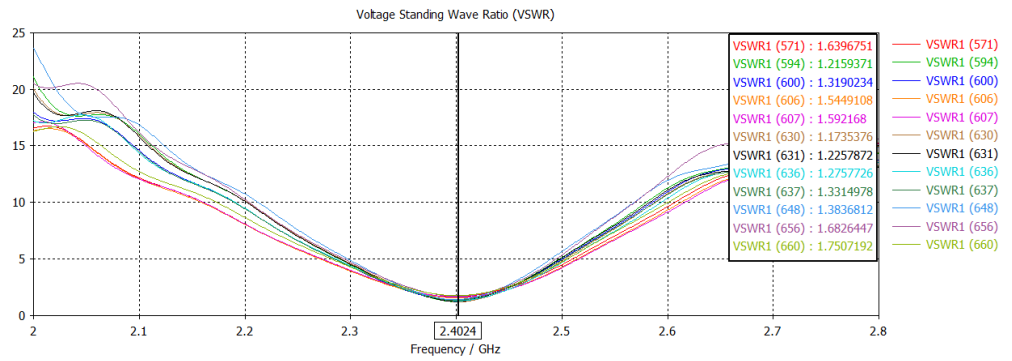


Şekil 7.38. Tasarlanan beşinci mikroşerit yama anten modeli



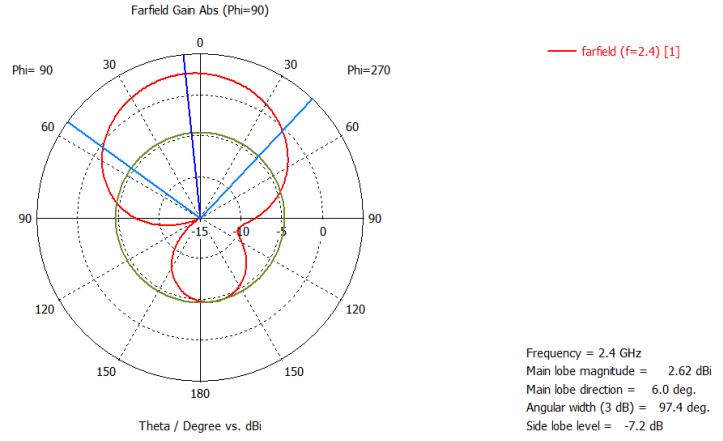
Şekil 7.39. Tasarlanan beşinci antenin S₁₁ grafikleri

Şekil 7.39’da Antenin yüzey alanı üzerindeki değişikliklerin çok sayıda simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen grafik çizgileri arasında en iyi değerleri sağlayan ve S₁₁ değerleri -11.88 dBi ile -21.95 dBi arasında değişen 12 tanesi grafikte gösterilmiştir bu grafik değerleri -10 dBi’nin altındadır.



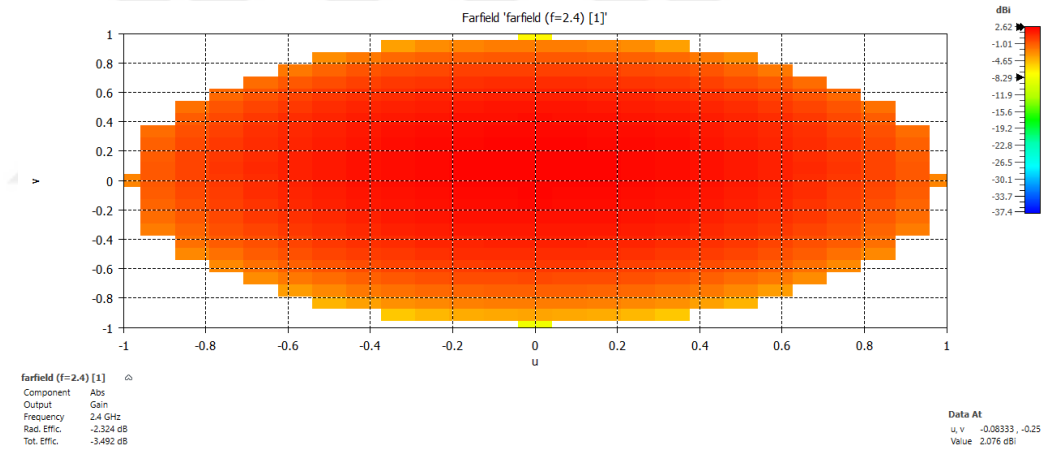
Şekil 7.40. Tasarlanan beşinci antenin VSWR grafikleri

Şekil 7.40’ta Beşinci antenin duran dalga voltaj oranı (VSWR) gösterilmiştir. VSWR değerlerinin 1.21 ile 1.85 değerleri arasında değiştiği VSWR ≤ 2 değerinin altında olduğu, ayrıca 2.4 GHz rezonans frekansında ve 1’e yakın değerlerde oldukları görülmüştür.



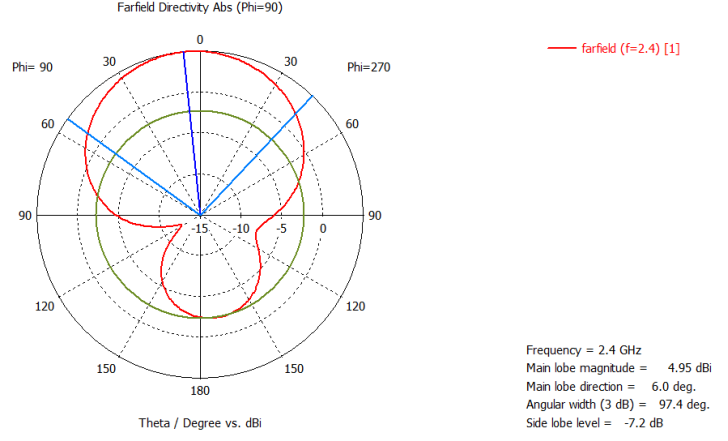
Şekil 7.41. Tasarlanan beşinci antenin tek boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.41’de $f=2.4$ GHz frekansı için benzetim sonucunda bulunan, yz düzlemindeki tek boyutlu kazanç ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen ışıma örüntüsü değerleri incelendiğinde, ana hüzmeye yönünün 6° , 2.62 dBi açısız hüzmeye genişliğinin ise 97.4° olduğu görülmüştür.



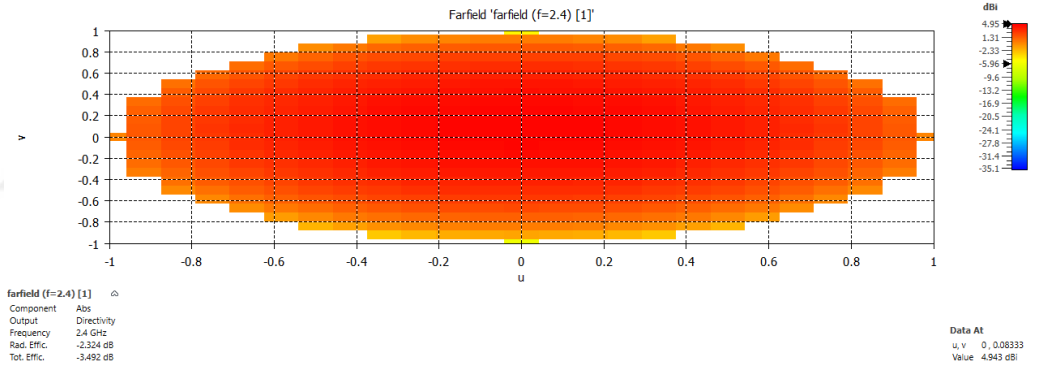
Şekil 7.42. Tasarlanan beşinci antenin iki boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.42’de Tasarlanan mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 2.4 GHz’de 2.62 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmektedir.



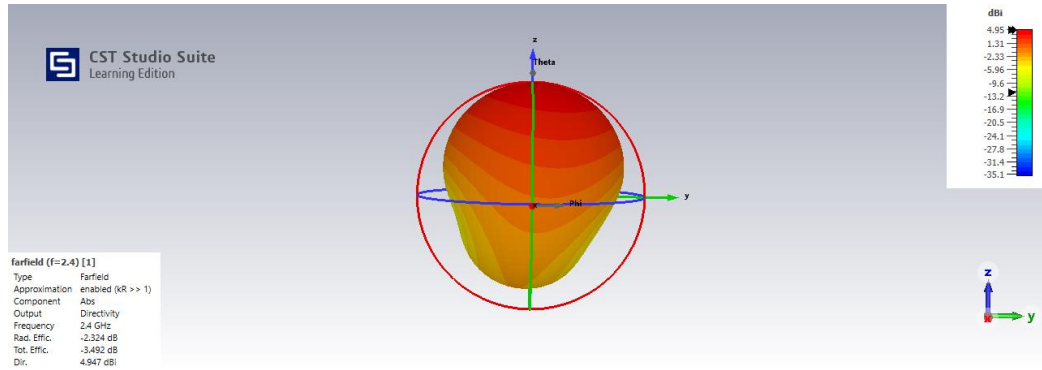
Şekil 7.43. Tasarlanan beşinci antenin tek boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.43'te $f=2.4$ GHz frekansı için yapılan benzetim sonucunda bulunan grafik yz düzlemindeki tek boyutlu yönlülük ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen ışıma örüntüsü grafiği incelendiğinde, ana hüzme yönünün 6° , 4.95 dBi açısıl hüzme genişliğinin ise 97.4° olduğu görülmüştür.

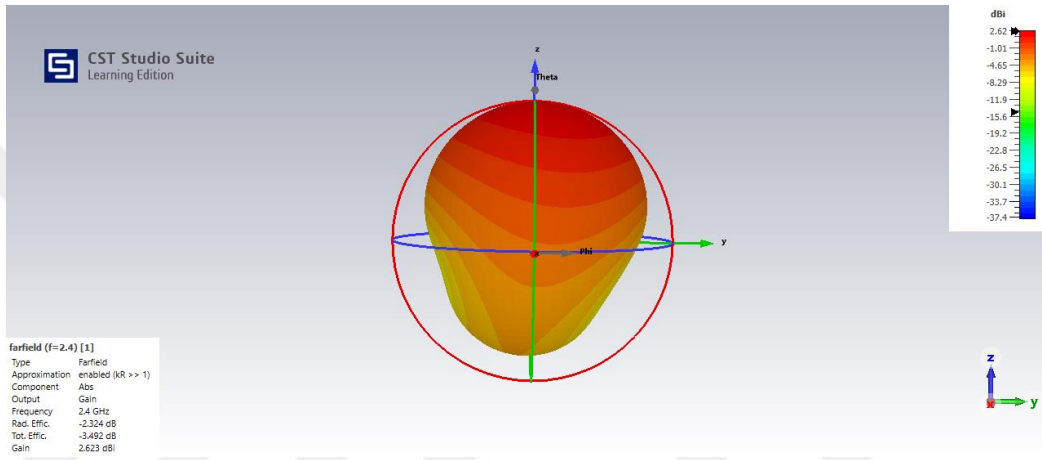


Şekil 7.44. Tasarlanan beşinci antenin iki boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.44'te Mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu yatay ve düşey yönlülük grafiği gösterilmiştir. Şekle bakıldığında 2.4 GHz'de 4.95 dBi gibi bir yönlülükte olduğu görülmektedir.

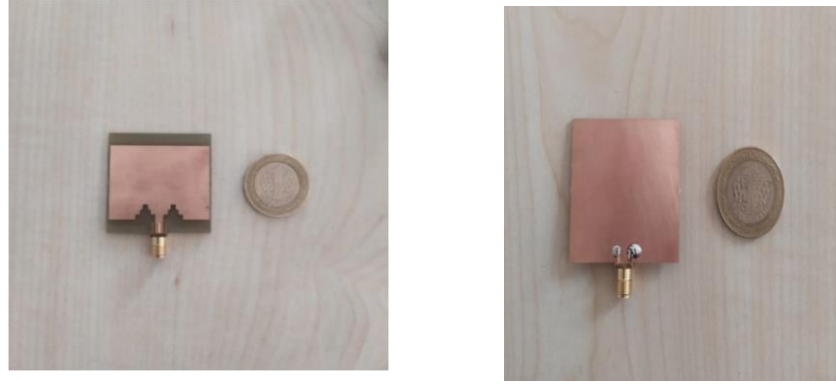


Şekil 7.45. Tasarlanan beşinci antenin üç boyutlu yönlülük grafiği

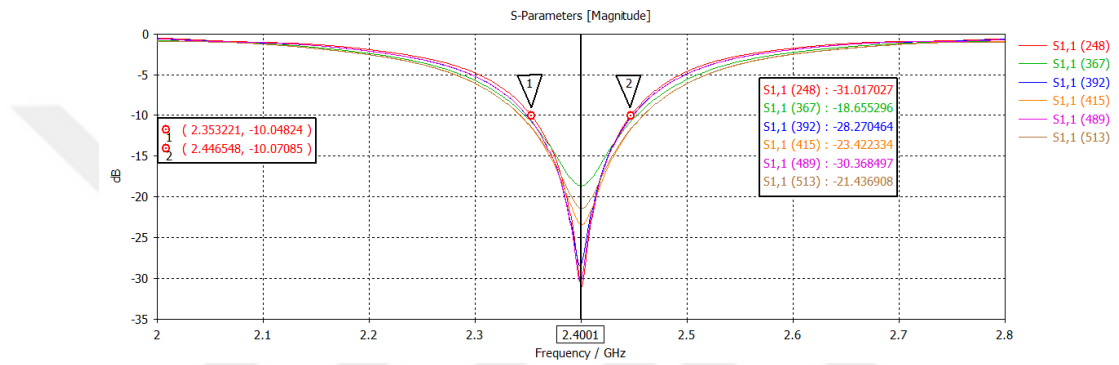


Şekil 7.46. Tasarlanan beşinci antenin üç boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.45 ve 7.46’da görüldüğü gibi tasarlanan beşinci mikroşerit yama antenin sırasıyla üç boyutlu yönlülük ve kazanç Grafikleri gösterilmiştir. Şekil 7.46’da antenin 2.4 GHz rezonans frekansı ve üç boyutlu kazanç grafiğinde 2.62 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmüştür.

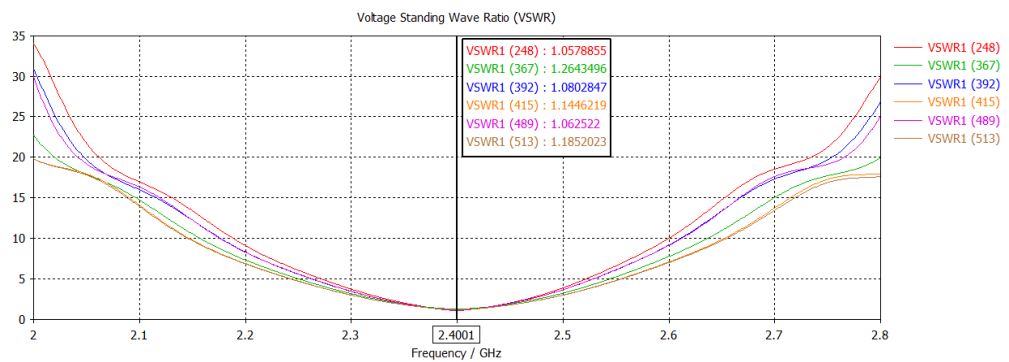


Şekil 7.48. Tasarlanan ve üretilen altıncı antenin ön ve arka görüntüsü



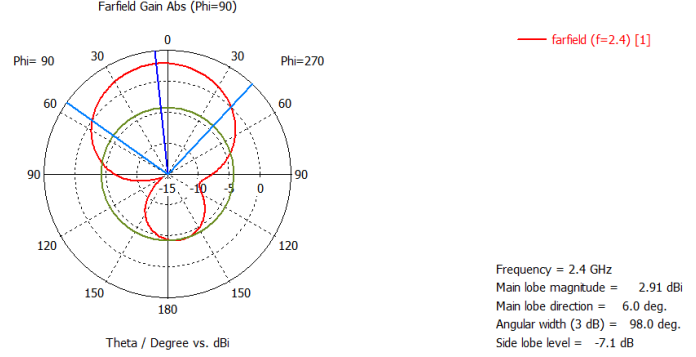
Şekil 7.49. Tasarlanan altıncı antenin S_{11} grafikleri

Şekil 7.49’da tasarımı ve daha sonra da üretimi yapılan ve önerilen altıncı antenin S_{11} Grafik çizgilerine bakıldığında -10 dBi değerinin oldukça altında bir değerde olup S_{11} değerlerinin -18.65 ile -31.01 değerleri arasında olduğu, ayrıca 2.37 GHz ile 2.46 GHz arasında bir bant genişliğine sahip ve ulaşılması gereken rezonans frekansı olan 2.4 GHz değerinde tam ulaşıldığı gösterilmiştir.



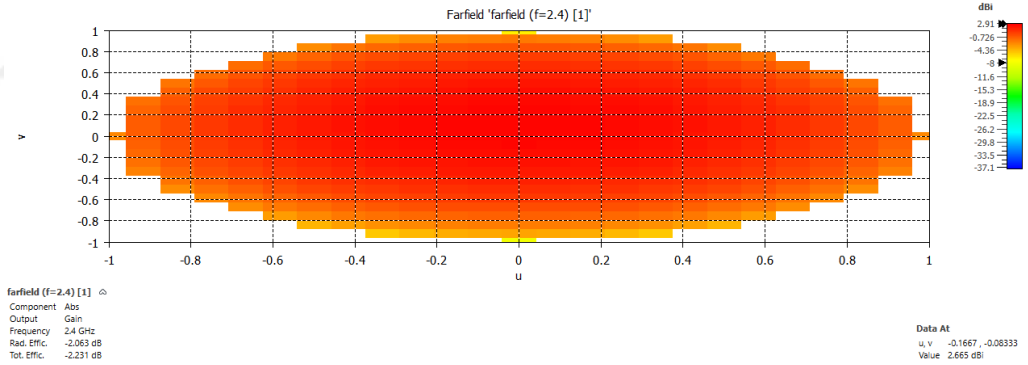
Şekil 7.50. Tasarlanan altıncı antenin VSWR grafikleri

Şekil 7.50’de Önerilen ve üretimini yapılan altıncı antenin VSWR grafik çizgilerine bakıldığında hem 2.4 GHz frekansında hem de 1 değerinde olduğu görülmektedir.



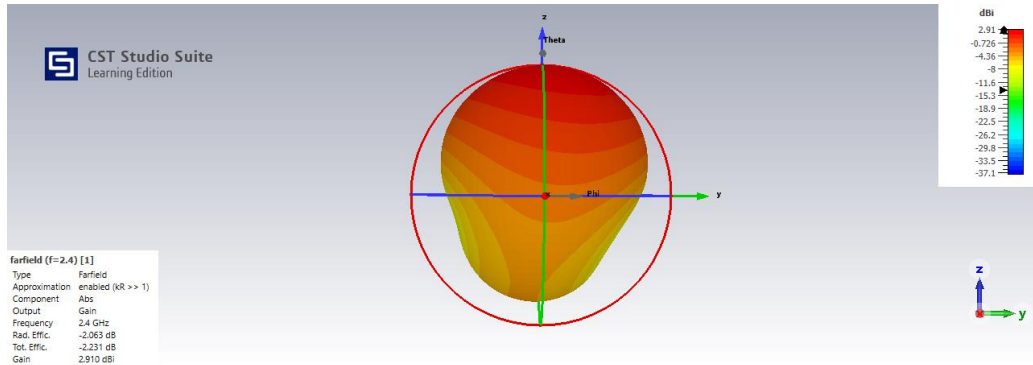
Şekil 7.51. Tasarlanan altıncı antenin tek boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.51’de 2.4 GHz frekansı için benzetim sonucunda bulunan grafik, yz düzlemindeki tek boyutlu kazanç ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen ışıma örüntüsü baz alındığında, ana hüzmeye yönünün 6° , 2.91 dBi açısal hüzmeye genişliğinin ise 98.0° olduğu görülmektedir.



Şekil 7.52. Tasarlanan altıncı antenin iki boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.52’de Tasarlanan mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 2.4 GHz’de 2.910 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmektedir.

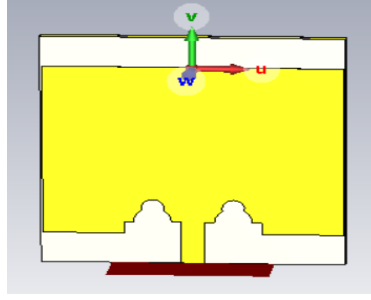


Şekil 7.56. Tasarlanan altıncı antenin üç boyutlu kazanç grafiği

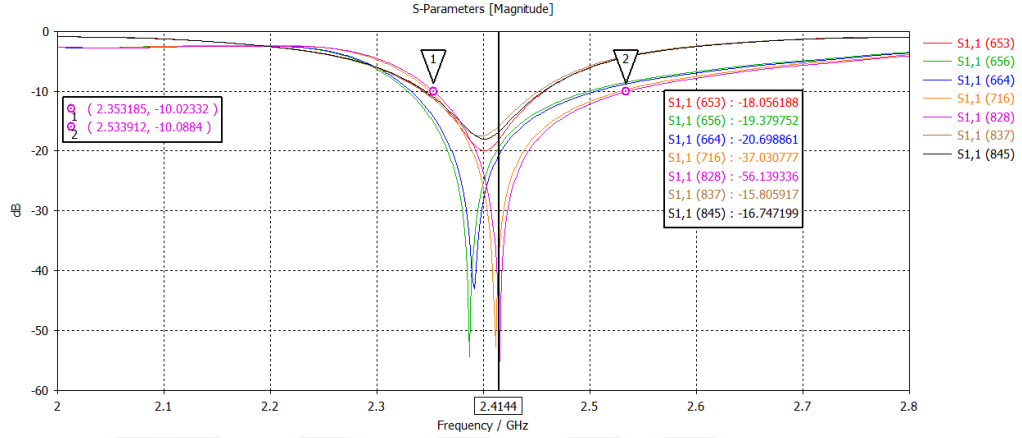
Şekil 7.55'te üç boyutlu yönlülük ve şekil 7.56'da üç boyutlu kazanç grafikleri incelendiğinde tasarlanan ve üretimi de gerçekleştirilen mikroşerit yama antenin yönlülük değeri 4.97 olduğu, ayrıca 2.91 dBi gibi bir kazançla sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.8. Benzetimi yapılan yedinci antenin ebat ölçüleri

Sıra	Antx	Anty	Sbx	Sby	İnsx	insy
590	38	29.5	50	50	7.5	2
653	38.5	29	40	40	7	1.5
656	38.5	29	50	40	7	2
664	38.5	29	50	40	7.5	2
716	39	28.5	50	40	6.5	1.5
828	39.5	28.5	50	40	7.5	1.5
837	39.5	29	40	40	6.5	1.5
845	39.5	29	40	40	7	1.5

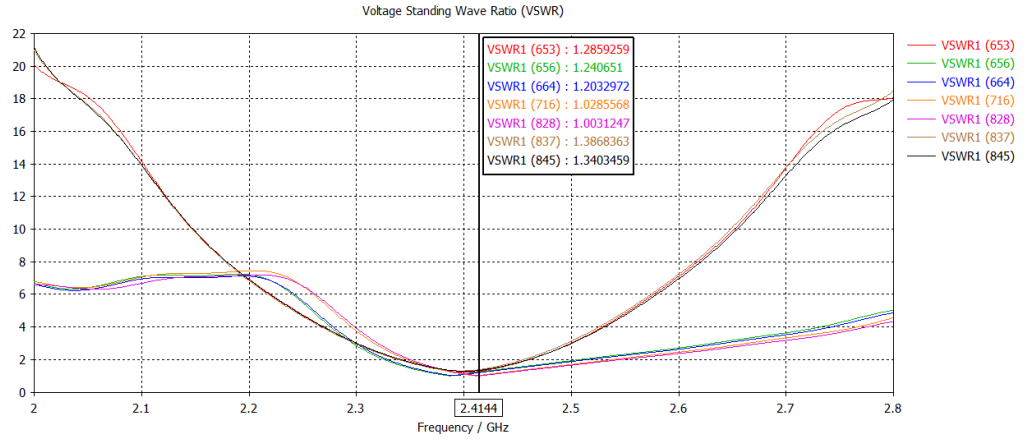


Şekil 7.57. Tasarlanan yedinci mikroşerit yama anten modeli



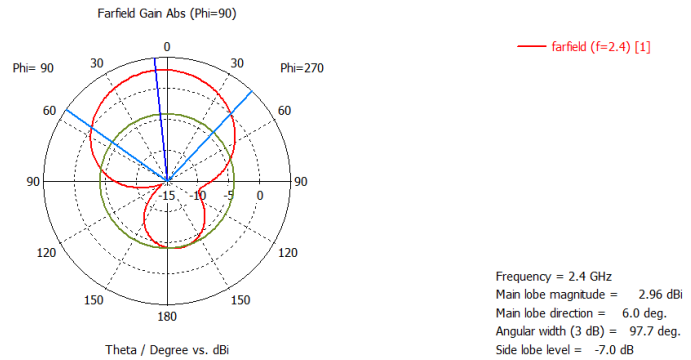
Şekil 7.58. Tasarlanan yedinci antenin S_{11} grafikleri

Şekil 7.58’de daha önce tasarlanan, üretimi yapılan ve iyi sonuçlara sahip olan altıncı anteni daha iyi duruma getirmek için besleme şeridinin her iki yanına simetrik şekilde açılan çentiklerin uç kısımları oval hale getirilmiştir. Bu anten 845’ten fazla sayıda ve değişik ebatlarda simüle edilmiş ve en iyi sonuçlara sahip yedi tane grafiği gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında S_{11} değerinin -10’nun altında olmasına rağmen 3 tane grafik çizgisinin 2.4 GHz rezonans frekansında olduğu diğer sonuçların rezonans frekansından az miktarda uzaklaştığı ama S_{11} değerlerinin çok iyi değerlerde olduğu görülmüştür.



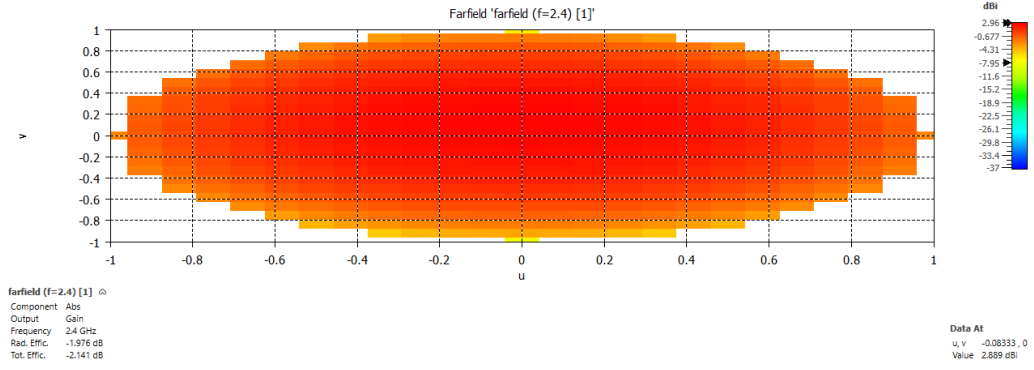
Şekil 7.59. Tasarlanan yedinci antenin VSWR grafikleri

Şekilde 7.59’da Yedinci antenin VSWR grafikleri incelendiğinde $VSWR \leq 2$ değerlerinin altında olma şartının sağladığı ve 1 değerine çok yakın değerler olan 1.08 ile 1.30 değerleri arasında olduğu görülmüştür. Ancak ebat ve saçıcı yüzen alanlarının geometrilerinde daha fazla değişiklikler yapıldığında bir önceki anten olan altıncı antenin iyi olan değerlerinden yavaş yavaş uzaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Bu durum bize anten değerlerini iyileştiren değişikliklerin bir seviyeden sonra bizi ulaşılmak istenen iyi değerlerden uzaklaştırıp hem kazanç hem de geri dönüş kaybına olumsuz etki ettiğini göstermektedir.



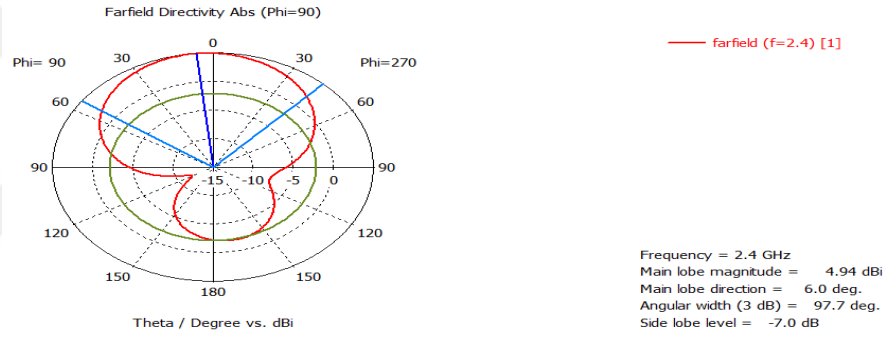
Şekil 7.60. Tasarlanan yedinci antenin tek boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.60’ta $f=2.4$ GHz frekansı için benzetim sonucunda bulunan örüntü grafiği yz düzlemindeki tek boyutlu kazanç ışıma örüntüsünü göstermektedir. Ölçülen kazanç ışıma örüntüsü baz alındığında, ana hüzmeye yönünün 6° , 2.96 dBi açısız hüzmeye genişliğinin ise 97.7° olduğu görülmüştür.



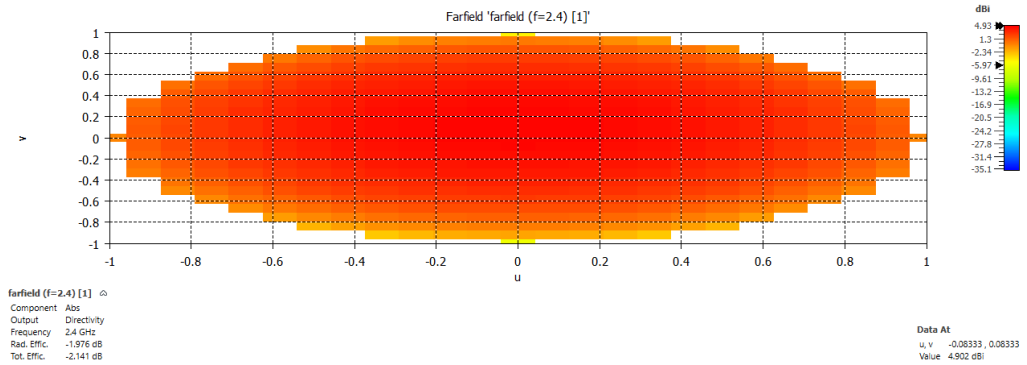
Şekil 7.61. Tasarlanan yedinci antenin iki boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.61’de Tasarlanan mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu kazanç grafiği gösterilmiştir. Şekle bakıldığında 2.4 GHz’de 2.96 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu görülmektedir.



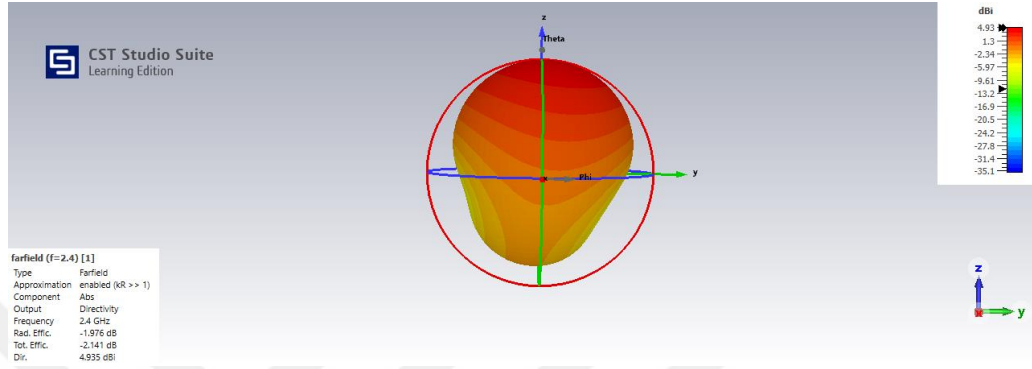
Şekil 7.62. Tasarlanan yedinci antenin tek boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.62’de $f=2.4$ GHz frekansı için benzetim sonucunda bulunan örüntü, yz düzlemindeki tek boyutlu yönlülük ışıma örüntülerini göstermektedir. Ölçülen ışıma örüntüsü incelendiğinde, ana hüzme yönünün 6° , 4.94 dBi açısız hüzme genişliğinin ise 97.7° olduğu görülmüştür.

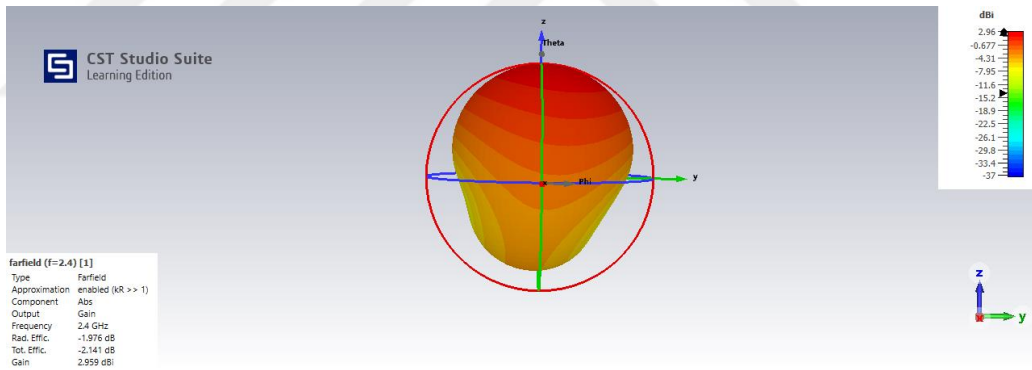


Şekil 7.63. Tasarlanan yedinci antenin iki boyutlu yönlülük grafiği

Şekil 7.64'te Mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansındaki iki boyutlu yatay ve düşey yönlülük grafiği gösterilmiştir. Şekle bakıldığında 2.4 GHz'de 4.93 dBi gibi bir yönlülükte olduğu görülmektedir.



Şekil 7.64. Tasarlanan yedinci antenin üç boyutlu yönlülük grafiği

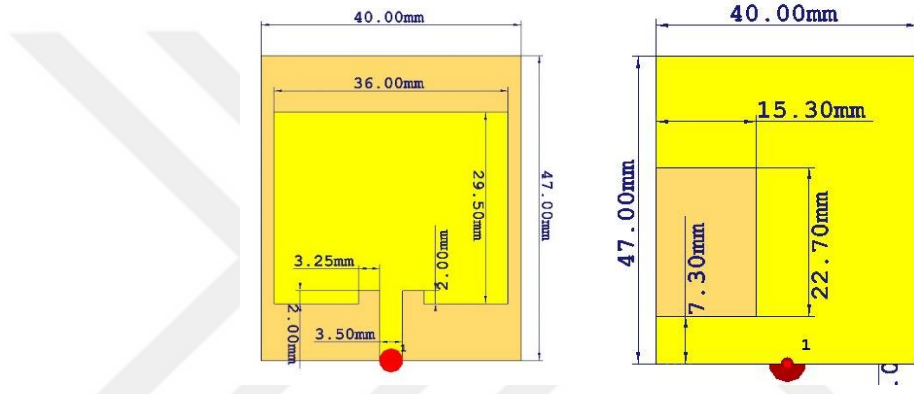
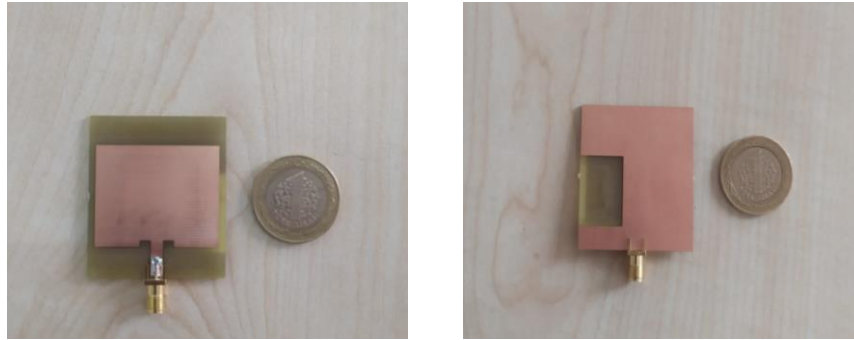


Şekil 7.65. Tasarlanan yedinci antenin üç boyutlu kazanç grafiği

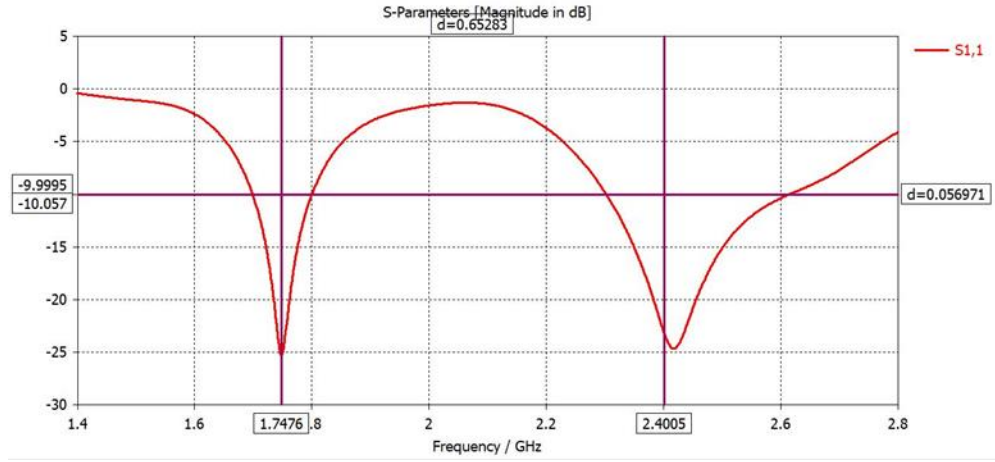
Şekil 7.64'te Yönlülük ve şekil 7.65'te ise tasarlanan yedinci mikroşerit yama antenin 2.4 GHz rezonans frekansı ve üç boyutlu kazanç grafiği görülmektedir. Grafikte anten 2.96 dBi gibi bir kazanca sahiptir.

Çizelge 7.9. Benzetimi yapılan sekizinci çift bant (dual bant) antenin ebat ölçüleri

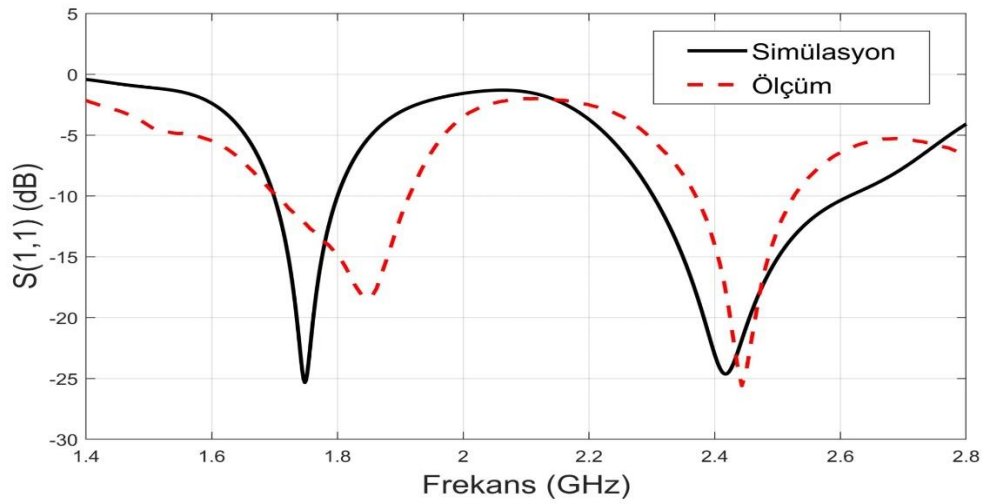
Anten	Antx	Anty	Sbx	Sby	İnsx	insy
Ön Yüz	40	47	40	47	3.25	2
Toprak	Antx	Anty	Sbx	Sby	Oyuk x	Oyuk y
Arka Yüz	40	47	40	47	15.30	22.70

**Şekil 7.66.** Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant (dual bant) antenin ön ve arka yüz modeli**Şekil 7.67.** Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin ön ve arka yüz görüntüleri

Çizelge 7.9’da Tasarlanan Sekizinci Dual bant antenin, dielektrik ve toptak malzemesinin sırasıyla uzunluk ve genişliği olan antx, anty, sbx, sby, oyukx, oyuky değerleri ve açılan çentiklerin uzunluk ve genişlikleri olan insx ve insy değerleri görülmektedir. Şekil 7.66’da çift bant antenin model görüntüsü, şekil 7.67’de ise antenin üretimi yapıldıktan sonraki ön ve arka yüz görüntüsü gösterilmiştir.

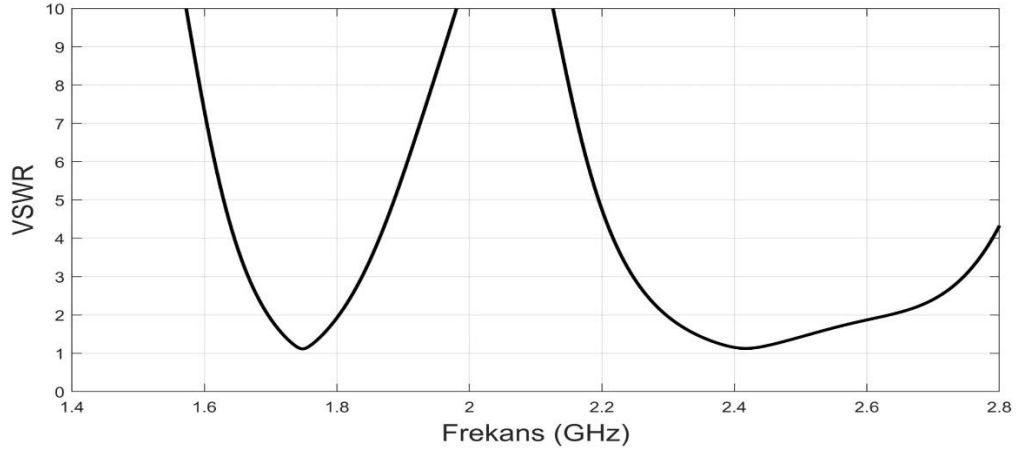


Şekil 7.68. Tasarlanan ve üretimi yapılan çift bant antenin S_{11} grafiği



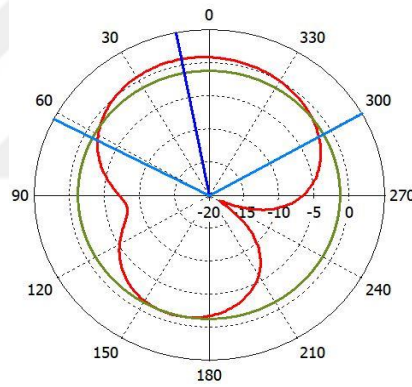
Şekil 7.69. Tasarlanan ve üretilen çift bant antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon grafikleri

Şekil 7.68’de Dual bant antenin saçıcı yüzey alanı üzerinde Simülasyonlar sonucu çeşitli değişiklikler yapılmış olup Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen en iyi grafikte ilk bantta yaklaşık 1.75 GHz rezonans frekansında S_{11} değeri -25 dBi ve ikinci bantta ise yaklaşık 2.4 GHz’de -25 dBi değerinde olup -10 dBi den düşük olma şartını oldukça iyi derecede sağlayan değerler elde edilmiştir. Şekil 7.69’da ise simülasyon ve ölçüm sonuçlarının grafiği gösterilmiş olup grafiklerin birbirlerine yakın değerlerde oldukları görülmektedir.

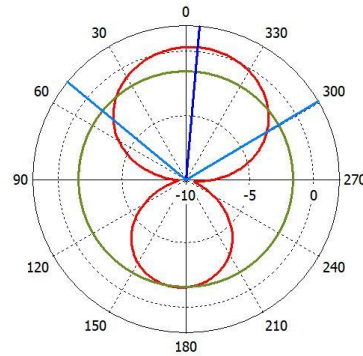


Şekil 7.70. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin VSWR grafiği

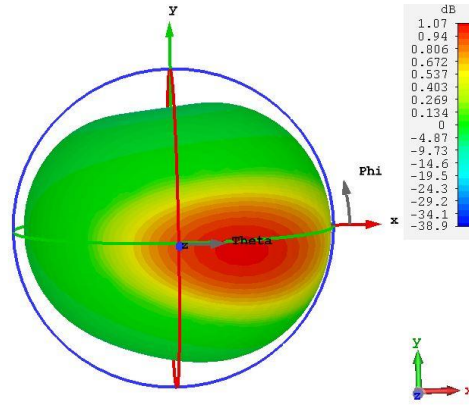
Şekil 7.70’te Çift bant antenin VSWR grafik çizgilerinden de anlaşılacağı gibi antenin çalışması istenen rezonans frekansları olan 1.8 GHz ve 2.4 GHz’de 1.0 ile 1.0 değerlerinde olduğu görülmektedir.



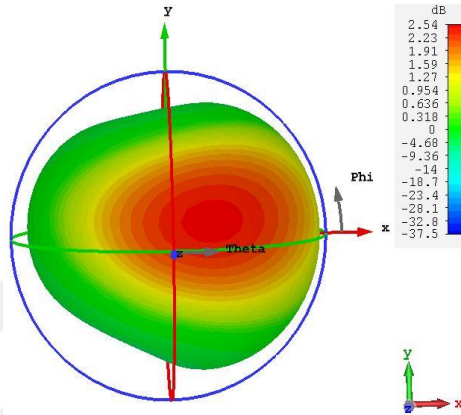
Şekil 7.71. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 1.8 GHz tek boyutlu kazanç grafiği



Şekil 7.72. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 2.4 GHz tek boyutlu kazanç grafiği



Şekil 7.73. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 1.8 GHz üç boyutlu kazanç grafiği



Şekil 7.74. Tasarlanan ve üretilen sekizinci çift bant antenin 2.4 GHz üç boyutlu kazanç grafiği

Şekil 7.71' 1.8 GHz'de ki tek boyutlu kazanç grafiği, Şekil 7.72'de 2.4 GHz'de ki tek boyutlu kazanç grafiği, Şekil 7.73'te 1.8 GHz'deki tek Boyutlu kazanç grafiği ve 7.74'te ise 2.4 GHz'deki üç Boyutlu kazanç grafikleri görülmektedir. Antenin kazanç grafikleri incelendiğinde 1.75 GHz'de 1.07 dBi, 2.45 GHz'de ise 2.58 dBi gibi bir kazanca sahip olduğu gösterilmiştir.



Şekil 7.75. Tasarlanan altıncı antenin network analizör sonuç görüntüsü



Şekil 7.76. Tasarlanan sekizinci çift bantlı antenin network analizör sonuç görüntüsü

Şekil 75'te FR-4 malzemesi kullanılarak üretilen ve en iyi hale getirilen altıncı (tek bant) anten'in ve şekil 76'da sekizinci (çift bant) anten'in network sonuçlarının görüntüleri gösterilmiştir. Network analizörleri'nin ekran görüntüleri incelendiğinde grafik görüntüleri'nin Simülasyon sonuçlarında elde edilen görüntülerle oldukça benzer değerlerde oldukları görülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 7.77. Tasarlanan sekizinci çift bant antenin (a) 2.4 GHz ve (b) 1.8 GHz gerilim sonuçları



Şekil 7.78. Tasarlanan altıncı antenin 2.4 GHz’de gerilim sonucu

Şekil 77’de dual bant antenin multimetre ile ölçülen gerilim değerlerinin görüntüsü, şekil 78’de ise tek bant antenin multimetre ile ölçülen gerilim değeri gösterilmiştir. Multimetre gerilim değerleri incelendiğinde 3.51 V, 3.6 V ve 3.85 V gibi oldukça iyi oranlarda gerilim değerleri üretildiği görülmüştür.

Çizelge 7.10. Benzetimi yapılan bütün antenlerin tek çizelgede karşılaştırılması

Anten Sırası	Kazanç	Yönlülük	S_{11}	Rezonans Frekansı	VSWR
1. Anten	3.05	4.84	-34.4	2.377	1.03
2.Anten	3.17	5.82	-24	2.35	1.13
3.Anten	2.84	4.96	-52	2.39	1.018
4.Anten	2.63	4.96	-42.7	2.401	1.014
5.Anten	2.62	4.95	-21.89	2.4	1.17
6.Anten	2.91	4.97	-31	2.4	1.05
7.Anten	2.96	4.93	-20	2.4	1.16
8.Anten	1.07,2.54	-	-25,-25	1.74,2.4	1.01,1.01

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada öncelikle sekiz adet dikdörtgensel yama anten tasarlanmış ve bu antenlerin yedisi 2.4 GHz’de diğeri ise hem 1.8 GHz hem de 2.4 GHz’de yani çift bantta çalışması için uzunluk, genişlik ve besleme şeridinin değerleri ile ilgili ölçüler matematiksel formüllerle hesaplanıp belirlenmiştir.

RF enerji hasadı için tasarlanan dikdörtgensel mikroşerit yama antenlerin üzerinde öncelikle hem anten yüzey alan geometrisi hem de ebatları ile ilgili çeşitli değişiklikler yapılmıştır. Yapılan bu değişiklikler adım adım yapıldıktan sonra her bir adımda yapılan değişikliklerin antenin optimizasyonu üzerinde etkisi ile ilgili her seferinde onlarca simülasyon ve analizler yapılmıştır. Yapılan bu analizler ve simülasyonlardan yola çıkarak elde edilen bulgular sonucunda anten ebatlarının ve anten saçıcı yüzey alanı ve toprak kısmı üzerinde açılan oyuk ve girintilerin (çentik) çalışma frekansı, bant genişliği ve yapılacak olan enerji hasat miktarı üzerinde oldukça etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca anten üzerinde yapılacak olan geometrik değişikliklerin etkilerinin bazı parametre değerlerinde olumlu yansırken başka bir parametre değerlerine olumsuz etki ettiği gözlemlenmiştir. Örnek verilecek olursa besleme şeridinin yanlarına açılan simetrik çentiklerin belli bir değere kadar uzatılması çalışılan rezonans frekansına bizi yaklaştırıp S_{11} değerini olumlu etkilemektedir. Ama bu oyuk ve çentiklerin fazlaca uzatılıp genişletilmesi bizi hem çalışılan rezonans frekansından hem de S_{11} değerinden uzaklaştırmaktadır. Son olarak çalışmada RF enerji hasadı için tasarlanan antenlerin simülasyonu yapıldıktan sonra tasarlanan antenler arasında en iyi parametre değerlerine varılmış olup ebat, şekil ve ölçüm değerleri açısından benzersiz antenler elde edilmiştir. Elde edilen bu antenlerden en iyi değerlere sahip olan iki tanesinin üretimi FR-4 malzemesi kullanılarak PCB baskı yöntemi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra üretilen bu antenlerin ölçümleri network analizör ve multimetre ile yapılarak, antenlerin simülasyon değerleri ile ölçüm cihazlarından alınan değerler arasında tutarlılık olup olmadığına bakılmıştır. Çalışmada *Powercast* firmasına ait P21XXCSR-EVB Power harvester (Enerji hasatlama modülü) kullanılmıştır. Ayrıca *Arnitsu* firmasının üretmiş olduğu MS2028C network analizörü ve bir adet çıkırlı horn (korna) anten kullanılmıştır. MS2028C network analizörüne birinci aşamada 2.4 GHz frekansında çalışan Anten daha sonraki aşamada hem 1.8 GHz hem de 2.4 GHz frekanslarının ikisinde de rezonans frekansına ulaşan üretilen iki adet anten sırasıyla bağlanmıştır. Antenler bağlandıktan sonra unı-t marka UT60E True RMS Multimetresi ile P21XXCSR-EVB enerji hasatlama

kartının potansiyel farklarının değerleri ölçölmüş olup üretilen antenlerin simölasyon sonuçları ile aralarındaki benzerlik ve farklılıklar incelenmiştir. Kıyaslama sonucunda simölasyon sonuçları ile üretilen antenlerin sonuçlarının oldukça benzer oldukları görüşmüştür. Antenlerden tek bantlı yani 2.4 GHz’de çalışan 3.51 V, dual bant olanı ise 2.4 GHz frekansında 3.853 V, ikinci bant olan 1.8 GHz frekansında ise 3.604 V gibi gerilim değerleri arasında değerler üretmişlerdir. Yapılan ölçüm ve incelemeler sonucunda her iki antenin simölasyonda elde edilen ölçüm değerleri ile ölçü aletleri vasıtasıyla yapılan ölçüm değerlerinin oldukça tutarlı oldukları sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak antenin enerji hasatlama performansının yapılan değişikliklerden doğrudan etkilendiği sonucuna varılmış olup iyi değerlerde benzersiz bir anten tasarlanmış olsa da daha iyi verim ve kazançlarda anten elde etmek için çok daha fazla simölasyon, tasarım ve deneysel çalışma yapılması önerilmektedir.

9. KAYNAKÇA

- Anguera, J., Andujar, A., & Jayasinghe, J. (2020). High-Directivity Microstrip Patch Antennas Based on TModd Modes. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 19(1), 39-43. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2019.2952260>
- Balanis, C. A. (2015). *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons.
- Bebek, N. (2021). *Ku bant mikroşerit yama anten tasarımı ve anten üzerinde oluşturulan çeşitli yarıkların anten ışımasına etkisinin analizi*. İskenderun Teknik Üniversitesi.
- Belen, A., & Belen, M. A. (2021). GSM VE ISM Bandı RF Enerji Hasatlama Sistemleri için Tek Katlı Doğrultucu Devre Tasarımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 359-365. <https://doi.org/10.21923/jesd.916164>
- Cansız, M. (2019). 915 MHz taşıyıcı frekansında RF enerji hasatlama. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 91-98. <https://doi.org/10.24012/dumf.480307>
- Cansiz, M., Altinel, D., & Kurt, G. K. (2019). Efficiency in RF energy harvesting systems: A comprehensive review. *Energy*, 174, 292-309. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.100>
- Çoğun, H. Y., Karacagil, Z., & Kızılyıldırım, S. (2022). *Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar 4*. Bilgin Kültür Sanat.
- Divakaran, S. K., Krishna, D. Das, & Nasimuddin. (2019). RF energy harvesting systems: An overview and design issues. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(1), e21633. <https://doi.org/10.1002/mmce.21633>
- Dogusgen Erbas, C. (2022a). GSM-1800 ve GPS uygulamaları için çift bantlı ve çift modlu yarıklı halka mikroşerit yama anten. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1), 547-556. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.740475>
- Dogusgen Erbas, C. (2022b). GSM-1800 ve GPS uygulamaları için çift bantlı ve çift modlu yarıklı halka mikroşerit yama anten. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1), 547-556. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.740475>
- Duman, M. (2021). İnceleme: 60 GHz, 5G & Basit bir 60 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı. *URSI-TÜRKİYE 2021 X. Bilimsel Kongresi*.
- Erbaş, C. D. (2021). 5G, UMTS, WiFi, WiMax ve C-bandı Uygulamalarında Kullanılabilen Dört Köşeli Yıldız Şeklinde Yamaya Sahip Mikroşerit Yama Anten Tasarımı. *URSI-TÜRKİYE 2021 X. Bilimsel Kongresi*.
- Garg, R. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. Artech house.
- Gozel, M. A., Kahriman, M., & Kasar, O. (2018). Design of an efficiency-enhanced Greinacher rectifier operating in the GSM 1800 band by using rat-race coupler for RF energy harvesting applications. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, e21621. <https://doi.org/10.1002/mmce.21621>

- İmamoğlu, F., & Karpas, E. (2019). Mikroşerit Antenlerin Tasarım Ve Performans Optimizasyonu. İçinde *PQDT - Global*. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/mikroşerit-antenlerin-tasarım-ve-performans/docview/2632151339/se-2?accountid=86195>
- Keskin, B., & Sena, E. (2019). 2.4 GHz geniş bant mikroşerit anten tasarımı. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 1-14. <https://doi.org/10.34186/klujes.578590>
- Kumar, M., & Nath, V. (2018). Introducing Multiband and Wideband Microstrip Patch Antennas Using Fractal Geometries: Development in Last Decade. *Wireless Personal Communications*, 98(2), 2079-2105. <https://doi.org/10.1007/s11277-017-4965-x>
- Kurt, M., & Kaya, M. (2022). Meme Kanseri Teshişinde Mikrodalga Yama Antenlerinin Kullanılması. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1114503>
- Kütük, H., Teşneli, N. B., & Teşneli, A. Y. (2013). 3.3 GHz microstrip antenna design and analysis for different feeding methods. *Sakarya University Journal of Science*, 17(1), 119-124.
- Lee, H. M. (2010). Pattern reconfigurable micro-strip patch array antenna using switchable feed-network. *2010 Asia-Pacific Microwave Conference*, 2017-2020.
- Muhammad, S., Jiat Tiang, J., Kin Wong, S., Iqbal, A., Alibakhshikenari, M., & Limiti, E. (2020). Compact Rectifier Circuit Design for Harvesting GSM/900 Ambient Energy. *Electronics*, 9(10), 1614. <https://doi.org/10.3390/electronics9101614>
- Mutlu, M., & Kurnaz, Ç. (2022). 5G Uygulamaları için Eliptik Mikroşerit Anten Tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(5), 52-64. <https://doi.org/10.29130/dubited.1093235>
- Ozmen, H., & Kurt, M. B. (2020). Radar based Microwave Imaging System Simulation for Early Detection of Breast Cancer. *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/SIU49456.2020.9302158>
- Özmen, H., Ekinci, S., & Izci, D. (2023). Boosted arithmetic optimization algorithm with elite opposition-based pattern search mechanism and its promise to design microstrip patch antenna for WLAN and WiMAX. *International Journal of Modelling and Simulation*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/02286203.2023.2196736>
- Powercast. (2023). *P21XXCSR-EVB*. https://www.mouser.com/datasheet/2/329/Powercast_P21XXCSR-EVB-364599.pdf
- Pozar, D. (1993). Directivity of omnidirectional antennas. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 35(5), 50-51. <https://doi.org/10.1109/74.242180>
- Prajapati, P. R., Murthy, G. G. K., Patnaik, A., & Kartikeyan, M. V. (2015). Design and testing of a compact circularly polarised microstrip antenna with fractal defected

- ground structure for L-band applications. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 9(11), 1179-1185. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2014.0596>
- Rana, R., & Reddy, C. V. V. (2009). *Design of Linearly Polarized Rectangular Microstrip Patch Antenna Using IE3D/PSO*. NIT Rourkela.
- Satılmış, G., & Güneş, F. (2018). Mikro Şerit Dizi Anten Tasarımı için Besleme Ağı Tasarımı ve Uygulanması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1), 32-38. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.363138>
- Singh, N., Singh, A. K., & Singh, V. K. (2015). Design & Performance of Wearable Ultra Wide Band Textile Antenna for Medical Applications. *Open Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.1515/eng-2015-0012>
- Srifi, M. N., Meloui, M., & Essaaidi, M. (2010). Rectangular slotted patch antenna for 5-6GHz applications. *International Journal of Microwave and Optical Technology*, 5(2), 52-57.
- Uluslu, A. (2021). Kültürel Algoritma Tabanlı 24 GHz ISM Bant Uygulamaları için H Şeklinde Yama Anten Tasarımı. *10th Union Radio-Scientifique Internationale/International Union of Radio Science (URSI'2021)*, Kocaeli, Türkiye, 7-9.
- Yerlikaya, M., & Gultekin, S. S. (2021). Dual-Fed Wideband MIMO Antenna System Design for 5G Applications with Increased Gain with Superstrate. *2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/SIU53274.2021.9477829>
- Yildirim, A., Bulent Yagci, H., & Paker, S. (2008). 2.4 GHz High Power Microstrip Patch Antenna Design and Realization". *Proc. Electric-Electronic and Computer Engineering Symposium (ELECO)*.
- Yousefalturk, H., & Cansız, M. (2022). Design and implementation of microstrip antenna at 915 MHz carrier frequency for RF energy harvesting. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 531538. <https://doi.org/10.24012/dumf.1150600>
- Zengin, E. B., Ünlü, M., Köse, S. S., Nohutçu, O., & Fawzy, D. E. (2021). RF Enerji Hasadı için Hilal Yıldız Yuvalı Koch Kar Tanesi Fraktal Anten. *URSI-TÜRKİYE 2021 X. Bilimsel Kongresi*.

10. EKLER

EK-1 BİLDİRİ: International Informatic Congress (IIC2023) RF Enerji Hasadı İçin 1.8 GHz Frekanslı Diktörtgensel Yama Anten Tasarım

