

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır.

Bu tez çalışmasında otomotiv radar için anahtarlama ışına paterni, yüksek kazanç ve en aza indirecek yan lob seviyesi sahip dikdörtgen mikroşerit yama seri beslenen bir satırlık dizi anten bağlı olarak yeniden yapılandırılabilir anten dizisi tasarımı yapılmıştır.

Karadeniz Teknik Üniversite'sine katıldığımdan beri, bilimsel desteği ve değerli düşünceleriyle bana her aşamada; konu seçiminde, planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteklerini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışmanım ve kendime örnek aldığım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ayhan YAZGAN 'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Beni yüksek lisans eğitimine katılmam ve devam etmem için teşvik eden, yardımını hiçbir zaman esirgemeyen ve bana her zaman yol gösteren, benim ruhumun babası Muhammed Ali ALİ 'ye sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışmayı, bana her an bunu yapabilecek gücü veren ve her an destek olan amcam Mustafa SÜLEYMAN 'a adıyorum.

Çalışma süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'ndeki değerli hocalarıma, Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR 'a ve Dr. Öğr. Üyesi Haydar KAYA' a teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim bitene kadar bana destek olan herkese özellikle babama, anneme, kardeşlerime ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na (YTB) Yüksek lisans eğitimi bursu vererek beni destekledikleri için teşekkürlerimi sunarım.

Ferdous SULIMAN

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “24 GHz Otomotiv Radarlar için Anten Dizisi Tasarımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ayhan YAZGAN ‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/08/2020

Ferdous SULIMAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Otomotiv Radar Sistemlerine Giriş.....	1
1.1.1. Giriş.....	1
1.1.2. Otomotiv Radar Sistemlerinin Tarihçesi.....	2
1.1.3. Otomotiv Radarların Çalışma Yöntemi.....	3
1.1.4. Otomotiv Radar Uygulamaları.....	3
1.1.5. Otomotiv Radar Teknik Özellikleri.....	5
1.1.6. Otomotiv Radar Antenleri.....	6
1.1.7. 24 GHz Frekansın Seçimi.....	8
1.2. Mikroşerit Yama Antenleri.....	9
1.2.1. Mikroşerit Antenlerin Tarihçesi.....	9
1.2.2. Mikroşerit Antenlerin Özellikleri.....	10
1.2.3. Mikroşerit Antenlerin Türleri.....	11
1.2.4. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Antenlerin Işıma Mekanizması ve Analizi.....	12
1.2.4.1. Transmisyon Hattı Modeli.....	13
1.2.4.2. Cavity Modeli.....	14
1.2.5. Mikroşerit Yama Antenlerin Altaş Malzemesi Seçimi.....	19
1.2.6. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten Tasarım Yöntemi ve Besleme Hattı.....	19
1.2.7. Mikroşerit Yama Antenlerinin Parametreleri.....	22
1.2.7.1. Işıma Paterni.....	22
1.2.7.2. Hüzme Genişliği.....	23
1.2.7.3. Kazanç ve Yönelimi.....	23

1.2.7.4. Anten Verimi.....	24
1.2.7.5. Geri Dönüş Kaybı.....	24
1.2.7.6. Frekans Bant Genişliği.....	24
1.2.7.7. Polarizasyon.....	24
1.3. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten Dizileri.....	25
1.3.1. Yama Anten Dizilerine Giriş.....	25
1.3.2. Anten Dizisi Faktörü.....	25
1.3.3. Anten Dizileri Besleme Ağları.....	26
1.3.4. Yan Lob Seviyesi (SLL) Azaltma.....	28
1.3.4.1. Binomial Dağılımı.....	29
1.3.4.2. Dolph-Chebyshev Dağılımı.....	30
1.3.4.3. Taylor Dağılımı.....	31
1.3.5. Fazlı Dizi Antenler ve Hüzmeleme.....	32
1.4. Yeniden Yapılandırılabilir Mikroşerit Yama Anten Dizileri.....	33
1.4.1. Yeniden Yapılandırılabilir Antenlerin Tanıtımı ve Temel Prensipleri.....	33
1.4.2. Yeniden Yapılandırılabilir Anten Uygulamaları.....	35
1.4.3. Yeniden Yapılandırılabilir Anten Türleri.....	36
1.4.3.1. Işıma Paterni Yeniden Yapılandırılabilir Antenler.....	36
1.4.3.2. Frekans Yeniden Yapılandırılabilir Antenler.....	37
1.4.3.3. Polarizasyon Yeniden Yapılandırılabilir Antenler.....	38
1.4.3.4. Bileşik Yeniden Yapılandırılabilir Antenler.....	38
1.4.4. Yeniden Yapılandırma Teknikleri.....	39
1.4.4.1. Elektronik Yeniden Yapılandırma Tekniği.....	39
1.4.4.2. Optik Yeniden Yapılandırma Tekniği.....	42
1.4.4.3. Mekanik Yeniden Yapılandırma Tekniği.....	43
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	44
2.1. Tek Elemanlı Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten.....	44
2.2. Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Düz Dizisi.....	45
2.3. Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Düz Dizisi.....	46
2.4. Mikroşerit Yama Antenin 8x8 Düz Dizisi.....	46
2.5. Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Konik Dizisi.....	47
2.6. Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Konik Dizisi.....	48
2.7. Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Düz Dizisi.....	49

2.8.	Mikroşerit Yama Antenin 2x16 Düz Dizisi.....	49
2.9.	Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Konik Dizisi.....	49
2.10.	Işıma Paterni Yeniden Yapılandırılabilir Konik Anten Dizisi.....	50
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
4.	SONUÇLAR.....	58
4.1.	Tek Elemanlı Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten.....	58
4.2.	Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Düz Dizisi.....	60
4.3.	Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Düz Dizisi.....	63
4.4.	Mikroşerit Yama Antenin 8x8 Düz Dizisi.....	66
4.5.	Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Konik Dizisi.....	69
4.6.	Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Konik Dizisi.....	72
4.7.	Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Düz Dizisi.....	74
4.8.	Mikroşerit Yama Antenin 2x16 Düz Dizisi.....	76
4.9.	Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Konik Dizisi.....	79
4.10.	Işıma Paterni Yeniden Yapılandırılabilir Konik Anten Dizisi.....	82
5.	ÖNERİLER.....	88
6.	KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

24 GHz OTOMOTİV RADAR SİSTEMLERİ İÇİN ANTEN SİSTEMİ TASARIMI

Ferdous SULIMAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayhan YAZGAN
2020, 96 Sayfa

Son yıllarda, düşük maliyet, minimum ağırlık ve düşük profil özellikleri, geniş bir frekans spektrumunda bulunması nedeniyle, mikroşerit yama antenlerinin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Bu tarz avantajları ve diğer özellikleri dolayısıyla, mikroşerit antenler genel olarak radarlar ve özellikle otomotiv radar sistemleri için oldukça uygun olmuştur. Yama antenlerinin, bazı özelliklerini ve performansını geliştirmek için, anten dizileri genellikle akademik ve endüstri topluluklarında kullanılmıştır. Bununla birlikte radar anteni tasarımında, yüksek yan lob seviyesi ve anten ışınım paterninin nasıl taranacağı konularında hala iki zorluk bulunmaktadır. Bu nedenle bu tezde, otomotiv radar sistemleri için mümkün olan en düşük yan loblara sahip yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama anten dizisi önerilmiştir. Antenler 8, 16, 32, 64 sayılı elemanları ile tasarlanmıştır. Ayrıca, dikdörtgen elemanlara, seri beslenen diziler üzerinde tasarlanmıştır. Antenlerin çalışma frekansı 24.125 Ghz'dir. Antenler, $\epsilon_r=3.55$ olan Rogers RO4003C alüminyum malzemesinde bulunur ve yalıtkan alüminyum kalınlığı h 'nin 0.508 mm'dir. Elde edilen yan lobların seviyesi -12 ile -20 dB arasında değişmektedir. Ayrıca kazancı 12 ila 21.7 dB arasındadır. MA4AGBL912 diyotları ile antenin ışınım paterni 10 derece taranmıştır. Tüm sonuçlar, matematiksel karmaşık işlemleri hesaplamak için MATLAB yazılımı ile CST ve HFSS 19 simülatörleri kullanılarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Otomotiv radarı, 24 GHz; Anten dizisi; Mikroşerit anten, Yeniden yapılandırılabilir antenler, Seri besleme dizisi*

Master Thesis

SUMMARY

ANTENNA SYSTEM DESIGN FOR 24 GHz AUTOMOTIVE RADAR SYSTEMS

Ferdous SULIMAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering
Supervisor: Dr. Ayhan YAZGAN
2020, 96 Pages

Because of its characteristics of low cost, minimal weight and low profile over a wide spectrum of frequencies, in recent years, the use of microstrip patch antennas increased dramatically. Those make the microstrip antennas suitable for radars generally and automotive radar systems especially. In order to improve some of the features of patch antennas and develop its performance, antenna arrays are generally used in the academic and industry communities. However, two challenges still for the radar antenna design, namely the high side lobe level and how the antenna radiation pattern will be scanned. Therefore, in this thesis, Microstrip patch reconfigurable antenna system with the lowest possible level of side lobes for automotive radar systems is proposed. Antennas designed with 8, 16, 32, 64 numbers of elements. Antennas depend on rectangular elements and series fed sub arrays. The centre frequency is 24.125 GHz. Antennas are located on Rogers RO4003 substrate material with $\epsilon_r=3.55$ and the thickness of the substrate h is 0.508mm. The obtained side lobes level ranged between -12 and -20 dB. While the gain is between 12 and 21.7 dB. With MA4AGBL912 diodes the antenna radiation pattern scanned 10 degrees. All the results are obtained by using CST and HFSS 19 simulators with MATLAB program to calculate the mathematical complex operations.

Key Words: *Automotive radar, 24 GHz, Antenna array, Microstrip antenna, Reconfigurable antennas, Series fed array*

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Otomotiv radar bölgeleri ve uygulama alanları.....	4
Şekil 2. (a) Parabolik reflektör antenli eski bir otomotiv radarı, (b) NXP' nin 2016 yılında yapılan otomotiv radar sensörü.....	7
Şekil 3. Mikroşerit antenlerin türleri.....	12
Şekil 4. Mikroşerit yama antenin ışıma mekanizması ve elektrik alan dağılımı.....	13
Şekil 5. Mikroşerit yamasında yük dağılımı ve akım yoğunluğu.....	15
Şekil 6. Cavity modelinin dört yarığı üzerinde alanlar yönleri ve dağıtımı.....	17
Şekil 7. Farklı anten dizisi besleme ağları türleri.....	27
Şekil 8. Seri beslenen dizi eşdeğer devre.....	28
Şekil 9. Fazlı dizi ve hüzmleme diyagramı.....	33
Şekil 10. PIN diyot anahtarı için eşdeğer elektrik devresi açık ve kapalı devreler içinde ileri ve ters öngerilimleme.....	40
Şekil 11. Optik silikon anahtar için eşdeğer elektrik devresi.....	42
Şekil 12. Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama anten.....	45
Şekil 13. Mikroşerit yama antenin 1x8 düz dizisi.....	46
Şekil 14. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisi.....	46
Şekil 15. Mikroşerit yama antenin 8x8 düz dizisi.....	47
Şekil 16. Binomial dağılımı kullanarak mikroşerit yama antenin 1x8 konik dizisi.....	48
Şekil 17. Binomial dağılımı kullanarak mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisi.....	48
Şekil 18. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisi.....	49
Şekil 19. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisi.....	49
Şekil 20. Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisi.....	50
Şekil 21. MACOM MA4AGBL912 diyot anahtarın ön ve arka tarafları.....	51
Şekil 22. Yamaların arasındaki PIN diyotların yerleşimi.....	52
Şekil 23. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 dizisi.....	52
Şekil 24. 1x8 düz ve konik dizinin $\phi=0$ 'daki 2D ışıma paterni.....	54
Şekil 25. 2x8 düz ve konik dizinin $\phi=0$ 'daki 2D ışıma paterni.....	54

Şekil 26.	1x16 düz ve konik dizinin $\phi=0$ 'daki 2D ışırma paterni.....	55
Şekil 27.	16 elemanlı, 1x16 ve 2x8 konik diziler $\phi=0$ 'daki 2D ışırma paterni.....	55
Şekil 28.	Yeniden yapılandırılabilir antenin 2x8 dizisinin $\phi=0$ 'daki 2D ışırma paterni.....	56
Şekil 29.	Yeniden yapılandırılabilir antenin 2x8 dizisinin iki durumunun S11'i.....	57
Şekil 30.	Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama anteninin 3D ışırma paterni.....	59
Şekil 31.	Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama anteninin geri dönüş kaybı S11...59	
Şekil 32.	Tek elemanlı mikroşerit yama anteninin $\phi=0$ 'deki 2D ışırma paterni.....	60
Şekil 33.	Tek elemanlı mikroşerit yama anteninin $\phi=90$ 'deki 2D ışırma paterni.....	60
Şekil 34.	Mikroşerit yama antenin 1x8 düz dizisinin 3D ışırma paterni.....	61
Şekil 35.	Mikroşerit yama anteninin 1x8 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	62
Şekil 36.	Mikroşerit yama anteninin 1x8 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışırma paterni.....	62
Şekil 37.	Mikroşerit yama anteninin 1x8 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışırma paterni.....	63
Şekil 38.	Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisinin 3D ışırma paterni.....	64
Şekil 39.	Mikroşerit yama anteninin 2x8 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	65
Şekil 40.	Mikroşerit yama anteninin 2x8 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışırma paterni.....	65
Şekil 41.	Mikroşerit yama anteninin 2x8 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışırma paterni.....	66
Şekil 42.	Mikroşerit yama antenin 8x8 düz dizisinin 3D ışırma paterni.....	67
Şekil 43.	Mikroşerit yama anteninin 8x8 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	68
Şekil 44.	Mikroşerit yama anteninin 8x8 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışırma paterni.....	68
Şekil 45.	Mikroşerit yama anteninin 8x8 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışırma paterni.....	69
Şekil 46.	Mikroşerit yama antenin 1x8 konik dizisinin 3D ışırma paterni.....	70
Şekil 47.	Mikroşerit yama anteninin 1x8 konik dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	70
Şekil 48.	Mikroşerit yama anteninin 1x8 konik dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışırma paterni.....	71
Şekil 49.	Mikroşerit yama anteninin 1x8 konik dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışırma paterni.....	71
Şekil 50.	Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 3D ışırma paterni.....	72
Şekil 51.	Mikroşerit yama anteninin 2x8 konik dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	73

Şekil 52.	Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışınma paterni.....	73
Şekil 53.	Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni.....	74
Şekil 54.	Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin 3D ışınma paterni.....	75
Şekil 55.	Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	75
Şekil 56.	Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışınma paterni.....	76
Şekil 57.	Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni.....	76
Şekil 58.	Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin 3D ışınma paterni.....	77
Şekil 59.	Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	78
Şekil 60.	Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışınma paterni.....	78
Şekil 61.	Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni.....	79
Şekil 62.	Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin 3D ışınma paterni.....	80
Şekil 63.	Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin geri dönüş kaybı S11.....	81
Şekil 64.	Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışınma paterni.....	81
Şekil 65.	Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni.....	82
Şekil 66.	Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, 3D ışınma paterni.....	83
Şekil 67.	Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, geri dönüş kaybı S11.....	84
Şekil 68.	Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, $\phi=0$ 'deki 2D ışınma paterni.....	84
Şekil 69.	Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni.....	85
Şekil 70.	Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, 3D ışınma paterni.....	85
Şekil 71.	Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, geri dönüş kaybı S11.....	86
Şekil 72.	Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, $\phi=0$ 'deki 2D ışınma paterni.....	86

Şekil 73. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama anteninin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni.....87



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Otomotiv radarlarının teknik özellikleri.....	5
Tablo 2. PIN diyotlarının, varaktör diyotlarının ve RF - MEMS anahtarlarının avantajları ve dezavantajları.....	41
Tablo 3. PIN diyotları ve FRF-MEMS anahtarlarının bazı teknik özelliklerinin karşılaştırılması.....	41
Tablo 4. Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama anten boyutları.....	44
Tablo 5. 1x8 Mikroşerit yama anten düz dizisinin boyutları.....	45
Tablo 6. 1x8 Mikroşerit yama konik antenin dizisinin ağırlıkları ve elemanların boyutları.....	48
Tablo 7. 1x16 Mikroşerit yama konik antenin dizisinin elemanlarının boyutları.....	50
Tablo 8. Bu çalışma ile benzer çalışmaların karşılaştırılması.....	53
Tablo 9. Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama antenin sonuçları.....	58
Tablo 10. Mikroşerit yama anten 1x8 düz dizi sonuçları.....	61
Tablo 11. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisinin sonuçları.....	64
Tablo 12. Mikroşerit yama antenin 8x8 düz dizisinin sonuçları.....	67
Tablo 13. Mikroşerit yama antenin 1x8 konik dizisinin sonuçları.....	69
Tablo 14. Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin sonuçları.....	72
Tablo 15. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin sonuçları.....	74
Tablo 16. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin sonuçları.....	77
Tablo 17. Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin sonuçları.....	80
Tablo 18. Işıma paterni yeniden yapılandırılabilir konik anten dizisinin sonuçları.....	83

SEMBOLLER DİZİNİ

LIDAR	Laser Imaging Detection and Ranging (Lazer görüntüleme ile tespit etme ve menzil tayini)
RADAR	RADio Detection And Ranging (Radyo ile Tespit Etme ve Menzil Tayini)
LRR	Long Range Radar (Uzun Menzilli Radar)
MRR	Medium Range Radar (Orta Menzilli Radar)
SRR	Short Range Radar (Kısa Menzilli Radar)
CW	Radar Continuous wave (Sürekli Dalga Radar)
ACC	Adaptive Cruise Control (Adaptif Hız Sabitleyici)
ITU	International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
dBm	Miliwat'a göre desibel
dB	Desibel
Tx/Rx	Sinyal iletmek/almak
UWB	Ultra Wide Band (Ultra Geniş Bant)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
PCB	Printed Circuit Board (Baskılı Devre Kartı)
λ	Dalga boyu
TE	Transverse Electric (Enine Elektrik)
W	Genişlik
h	Yükseklik
L	Uzunluk
TEM	Transverse Electro-Magnetic (Enine Elektromagnetik)
E	Elektrik
H	Manyetik
ϵ_r	Dielektrik sabiti
ϵ_{reff}	Etkin dielektrik sabiti
J	Akım yoğunluğu
TM	Transverse Magnetic (Enine Manyetik)
A_x	Vektör potansiyeli
A_{mnp}	Genlik katsayıları

AF	Dizi faktörü
λ_g	Etkin dalga boyu
f_r	Çalışma frekansı
L_{eff}	Etkin uzunluk
R_{in}	Kenarda yama empedansı
Y_0	Besleme mesafesi
Z_{in}	Hat empedansı
g	Boşluk genişliği
HPBW	Half-Power Beamwidth (Yarı Güç Hüzme Genişliği)
G	Kazanç
D	Yöneltim
P_{in}	Toplam giriş gücü
β	Faz farkı
MoM	Method of Moments (Moment Yöntemi)
MUSIC	MULTiple SIGNAL Classification (Çoklu İşaret Sınıflandırması)
ESPRIT	Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques
SMILE	Spatial Multiplexing of Local Elements
DDD	Direct Data Domain
EBG	Electromagnetic Band-Gap (Elektromanyetik Bant Boşluğu)
d	Mesafe
MEMS	MicroElectroMechanical Systems (Mikro Elektro Mekanik Sistemler)
MIMO	Multi-Input Multi-Output (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış)
BER	Bit Error Rate (Bit Hata Oranı)
BWCS	Body-centric Wireless Communication System
RDMS	Reconfigurable Defected Microstrip Structure
WLAN	Wireless Local Area Networks (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mikrodalga Erişimi için Evrensel Uyumluluk)
HIS	High-Impedance Surface (Yüksek Empedanslı Yüzey)
LHCP	Left Hand Circular Polarization (Sol El Dairesel Polarizasyon)
RHCP	Right Hand Circular Polarization (Sağ El Dairesel Polarizasyon)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
RF	Radio Frequencies (Radyo Frekansı)

MATLAB MATrix LABratory (Matris Laboratuvarı)



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Otomotiv Radar Sistemlerine Giriş

1.1.1. Giriş

Arabalar, Karl Friedrich tarafından 1885'te icat edildiğinden beri, herkesin sahip olmak istediği ve insan hayatı için konfor sağlayan bir araç olarak görülmektedir. Arabalara talebin artmasından dolayı, insanların dilediği şekilde arabalar üretebilmek için üreticiler yarışa girmişlerdir. Şimdi ise her geçen gün herkesin ulaşabilmesi için araba üretimi artmaktadır. Bugünlerde yaklaşık olarak bir milyar araba, yıllık 80 milyon üretimle dünyanın her yerinde dolaşmaktadır. Mesela 2018'de 74 milyon araba üretilmiştir [1, 2]. Yine de bu kadar araba ve arabaların insanlarla ilişkisi, risk miktarını artırmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün tahminlerine göre her yıl 1.35 milyon insan, bu orana göre de 24 saniyede bir insan, yollarda hayatını kaybetmektedir. Yaygın olarak trafik kazaları, insan ölümlerindeki sekiz sebebin içerisinde yer almaktadır. Dünyada 5-29 yaş arası insanların ölümlerinde trafik kazaları ilk sebeptir. Trafik kazaları birçok hastalıktan, salgından ve savaştan daha fazla ölüme, ayrıca 20 ila 50 milyon arasında değişen yaralanma sayısına sebep olmaktadır [3, 4]. Trafik kazalarının neden olduğu fiziksel zararlara ek olarak, maddi zararlar da ciddi boyuttadır. Trafik kazalarından yıllık maddi kaybın yaklaşık 65 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir [4]. Bütün bu zararların azaltılması için Dünya Sağlık Örgütü pek çok ilkeyi ve kuralları devreye sokmuştur. Araba şirketleri de araba içinde koruma sağlayacak, en basit olan emniyet kemerinden en gelişmiş teknolojiye kadar, bütün güvenlik sistemlerini eklemelidirler. Araba üreticilerinin durumuna gelirsek onlar arabalarını geliştirmek için en iyi güvenliği sağlamak, kullanıcılarının güvenini kazanmak ve satışlarını artırmak amacıyla çalışmalara başlamışlardır. Bugün bütün araba şirketleri güvenlik ve emniyet araçlarını geliştirme ve sürücülere sürüş esnasında yardımcı olabilecek şeyler konusunda uzmanlaşmış bilimsel araştırma ekiplerine sahiptir. Ayrıca bu araçlar, alanında uzmanlaşmış uluslararası büyük şirketlerde "mesela Bosch, Delphi Technologies ve Airbiquity gibi" rol almaktadır. Araçlar içerisindeki bu güvenlik ve koruma çeşitlerini karşılaştırdığımızda, radar sisteminin en iyi sistemlerden birisi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

Bir yandan diğerk klasik koruma ekipmanlarından da “mesela emniyet kemeri, hava yastığı gibi” daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Çünkü bu sistem kazayı önceden tespit edip kazanın meydana gelmesinden önce önlemektedir. Klasik sistemlerin metotlarına bakarsak, sürücü ve yolcuları kaza meydana geldikten sonra korumaya çalışmaktadır. Radar ise gelişmiş koruma araçlarından “mesela kameralar ve LIDAR sistemi” daha iyi çalışmaktadır. Çünkü radar sistemleri “sistemler onunla çalışıyor olmasa da” kötü hava koşullarına ayak uydurabilmektedir ve ayrıca diğerklerinden de daha uygun fiyatlıdır. Bu yüzden gelecek yıllarda otomotiv radar sistemlerini geliştirmede ve problemleri azaltma konusunda harika çalışmalara şahitlik edilecektir [5, 6, 7, 8].

1.1.2. Otomotiv Radar Sistemlerinin Tarihçesi

Tarihteki ilk radar sistemi sivil amaçlar için tasarlanmıştır. 1904’de Alman mucit Christian Hülsmeyer, Heinrich Hertz’in, dalga yansıtma teorisini kullanarak, ilk olarak sisli havada gemileri tespit için, telemobiloskop adı verilen gemi tespit radar sistemini ortaya koyup patentini almıştır [9, 10, 11]. Oysaki bu cihaz, gemi dalga iletimi kapsamında 3 kilometre mesafe ilerlediğinde bir uyarı vermekteydi. Fakat hedef noktası hakkında bilgi vermemekteydi. Bu sebeple RADAR (radyo ile tespit etme ve menzil tayini) yerine RAD (radyo ile tespit etme) olarak adlandırılmaktaydı [10]. O dönemlerde bu icat, I. Dünya Savaşı’na kadar hak ettiği ilgiyi görmemişti. Fakat savaşa katılan ülkeler, pilotlarına yardımcı olması amacıyla radar sistemlerini geliştirme yarışı içine girmişlerdir. Radar sistemlerine olan bu ilgi, iki savaş arasında artış gösterdi. Özellikle II. Dünya Savaşı sırasında daha da yükselmiştir. Fakat radar sistemlerinin kullanımı o dönemde yalnızca askeri amaçlar içindi [10]. 1964’e senesine gelince otomotiv radar sistemlerinin kullanma fikri, korunma ve güvenlik konularında da kullanılması önerilmiştir [11, 12]. Ardından ilk otomotiv radar modeli, 1970’te Almanya’da Bilim ve Teknoloji Bakanlığı (BMFT) tarafından oluşturulup denenmiştir [11, 13]. Fakat o dönemde bu aletin uygulanması ve kullanılması yüksek maliyeti nedeniyle mümkün değildi. Sadece hakkında araştırma yapılmaktaydı. Otomotiv radar sistemini ürünleriyle ilk buluşturan şirket, 1980’lerin sonlarında, Japon firması Toyota ve onu takip eden Nissan ve Honda olmuştur [10]. Bu sistemler, Amerika ve Avrupa’daki arabalara uygulanması için 1992 yılına kadar ermiştir. Orada bulunan EATON VORAD Corporate firması tarafından 24 GHz frekansında çalışan ilk otomotiv radar sistemi 4000 araca uygulanıp satıldı. Bu sistem ile kaza oranının yüzde

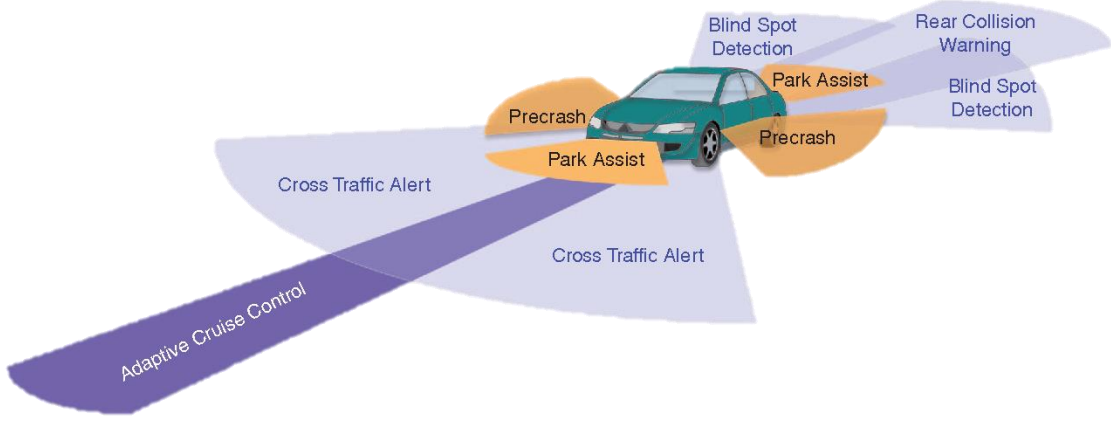
50'den fazlası azaltıldı. Bundan sonra da diğer araba şirketleri de kendi otomotiv radar sensörlerini geliştirmeye ve modern araçlara uygulamaya başlamıştır [10, 13].

1.1.3. Otomotiv Radarların Çalışma Yöntemi

Otomotiv radar diğer radarlar gibi, havada elektromanyetik dalgalar gönderip alıcı dalgalara bağlı olarak, onların etrafındaki nesnelerin şeklini, hızını, yönünü ve konumunu belirlemektedir. Araçların sokakta dağılımı ve sürücünün ihtiyaç duyduğu yardım, aracın etrafındaki alanın sabit bir mesafeden taranmasını faydasız kılmaktadır. Örneğin, aracın ön tarafından ihtiyaç duyduğu mesafe, aracın yan tarafından duyduğu ihtiyaçtan daha fazladır ve bunların hepsi aracın arkasından ihtiyaç duyulan mesafeden daha farklıdır. İhtiyaç duyulan mesafeler uygulamaya göre belirlenmektedir. Radar sisteminin en doğru sonuca ulaşabilmesi için, aracın çevresindeki alan, araca olan uzaklığa göre üç bölgeye bölünmüştür. Uzun Menzilli Radar (LRR) sistemi aracın ön tarafından 300 metre, Orta Menzilli Radar (MRR) sistemi aracın tüm yanlarından ve köşelerinden 100 metre ve Kısa Menzilli Radar (SRR) sistemi ise 30 metreden az uzaklıklar içindir. SRR çarpışma öncesi alarm ve park etme uygulamaları için çok kullanışlıdır. Mesafe ile ilgili birçok sensör, aracın etrafında tam bir görüş oluşturmak için merkezi sistemde dağıtılmıştır [14, 15]. Bu sensörler genellikle iki kategoriye ayrılmaktadır: kısa aralıklarla tekrarlayan darbeler zinciri olan Pulse Radar ve Doppler Radar ya da CW radar. İletilen ve alıcı dalgaların frekansı arasındaki farkın ölçülmesiyle Doppler etkisine bağlı olarak hedef aralığı ve hızı belirlenmektedir [15, 16].

1.1.4. Otomotiv Radar Uygulamaları

Otomotiv radar sistemi, sürücünün araba kullanmasına yardım edebilecek, ayrıca içerdeki ve dışardaki insanların emniyetini sağlayacak birçok uygulama sunmaktadır. Tabii ki bu uygulamaların tümü, farklı araba üreticilerinin radar sistemi sağlama konusundaki fikir ayrılıkları sebebiyle her arabada mevcut değildir. Bu durum uygulamaların ihtiyaç duyduğu sensörlerin maliyetiyle alakalıdır. Aşağıda en önemli otomotiv radar sistemlerinin her biri kısaca tanımlanmıştır [7, 15, 17]. Şekil 1'de otomotiv radar uygulamaları ve bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Otomotiv radar bölgeleri ve uygulama alanları

Adaptif Hız Sabitleyici (ACC): Bu sistem ile birlikte, aracın, öndeki ve çevresindeki araçlar ile arasındaki hız ve uzaklık ölçümü kontrol altına alınmakta, araç ile bir öndeki araç arasındaki uzaklık sabit kalacak şekilde korunmuş olmaktadır. Yol durumu, araç için hızı artırma imkânı sunarsa eğer bu sistem boş yolda en yüksek hıza ulaşma avantajı sağlamaktadır. Gelişmiş versiyonu ise kalabalık yollarda kullanılabilen Dur-Kalk özelliğine sahiptir.

Kör nokta tespiti: Sürücü, aracın her tarafını aynalardan göremez. Kullanılan bu teknikte, radar sistemi, sürücüyü kör noktada bulunan araç ve insanlar konusunda “özellikle virajlarda ve şerit değiştirmelerde” uyaracaktır.

Çarpışma Öncesi Uyarı Sistemi: Otomotiv radar sistemindeki bu teknoloji, en önemli avantajdır. Çünkü bu sistem, sürücüyü kaza gerçekleşmeden uyararak uyanık hale getirmektedir. Kaza sonrası aktifleşen hava yastığı sistemi gibi değildir. Bütün bunlara ek olarak, bu sistemin geliştirilmiş hali, arabayı, sürücünün etkisi olmadan, kaza öncesi kontrol altına almaktadır.

Çarpışma Önleme Sistemi: Sürücünün, olması muhtemel olan kazayı, önceki verilen sistemler ile fark etmemesi durumunda, “Çarpışma Önleme Sistemi” devreye girerek kaza öncesinde aracın frenlerine hükmetmekte ve arabayı durdurmaktadır. Ancak bu teknolojiyi tasarlamadaki temel zorluk, küçük hedefleri keşfedememesi ve minimum düzeyde hata beklentisidir.

Park Yardımı: Sürücüler için en zor şeylerden biri “özellikle kalabalık ve uygun olmayan yerlerde” park işlemidir. Bu nedenle bu sistem, sürücünün park etme işlemi sırasında “aynı şekilde kalkış sırasında” çevredeki bulunan nesnelere olan uzaklığı hakkında uyarı vermektedir. Günümüzde bu sistem, maliyetinin uygunluğu dolayısıyla çoğu araçta bulunmaktadır.

1.1.5. Otomotiv Radar Teknik Özellikleri

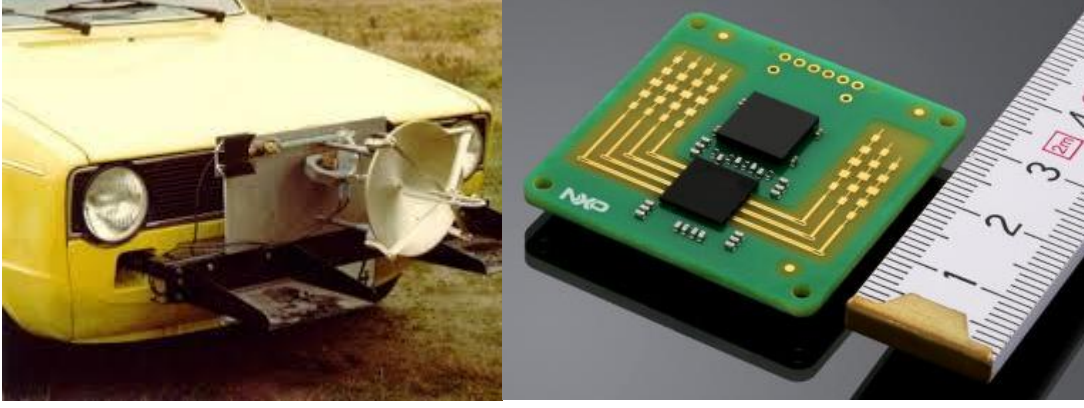
Arabalarda bulunan otomotiv radar sensör sisteminin teknik özelliklerine ve pazarlama durumlarına bakıldığında, ülkelere ve üreticilere göre farklılıklar olduğu görülmektedir. Fakat bazı özelliklerin “örneğin; frekans özelliği” değişiklik göstermesi mümkün değildir. Çünkü bu durum, diğer bağlantı sistemlerinde “örneğin; telefon ve uydu bağlantısı” parazite sebep olabilmektedir [18, 19]. Günümüzde Otomotiv radar sistemlerinin çalışma frekansları, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından belirlenmiş 24 GHz ve 77 GHz frekanslardır [11]. Ayrıca ITU, teknik özellikler için belirli bir aralık tanımlamıştır. Bu tanımlamalar Tablo 1’de gösterilmiştir [20]. Tablo 1’de gösterilen teknik özelliklere ek olarak, otomotiv radar sensör sistemleri de üzerinde kullanılacak araçlara fiziksel açıdan da uygun olmalıdır. İlk olarak, araç üzerinde kullanılacak olan radar sensör sistemi, araca entegre edilebilmesi için uygun olmalıdır. Bu yüzden anten, sistemin teknik özelliklerini kaybolmadan küçük olmalıdır. Aynı şekilde bu antenler, araç kaza sırasında problem yaşadığında da dayanıklı olmalıdır. Bunlara ek olarak, maliyeti ile aracın maliyetini artırmamalıdır. Ayrıca, bu radarın sensörü tüm araçlara eklenebilmek ve insanların hayatını kurtarabilmek için uygun fiyatlı olmalıdır [11, 19].

Tablo 1. Otomotiv radarlarının teknik özellikleri [18]

Parametre	Birim	LRR	MRR	SRR
Frekans	GHz	77	24	24
Mesafe	M	250	100	30
EIRP	dBm	55	33	33
BW	MHz	600	600	250
Antenin kazancı	dB	30-45	16-23	13-23
Anten elevasyonu -3 dB hüzme genişliği	Derece	±3	±5.5	±5.5

1.1.6. Otomotiv Radar Antenleri

Otomotiv radar sistemi fikri, uygun anten bulunmadığından kullanışlı bir uygulamaya geçmesi 20 yıldan daha fazla ermiştir. Gecikmenin ana sebebi antenin boyutu olmuştur. Huni ve parabolik anten eklendiğinde bile, Şekil 2(a)'da gösterildiği gibi, sistem tam anlamıyla uygulamaya uygun değildi [11, 13]. Bu sebeple otomotiv radar sistemlerine olan ilgi, başlıca araştırmalar ve gelişmiş konular açısından, ayrıca otomotiv radar sistemleri için en iyi özellik ve çalışmalara ulaşmak amacıyla oldukça önemlidir. Bu antenin boyutu, antenin arabalardaki otomotiv radar sistemlerine kurulabilmesi konusunda en büyük problem olmuştur [11]. Otomotiv radar sistemi kurulumunda deneylere büyük huni ve parabolik anten kullanılarak başlanmıştır. Bu antenlerin radar sistemine olan verimliliği kanıtlanmıştı fakat anten boyutu halen radarın doğru çalışması konusunda problem teşkil etmekteydi. Mikroşerit antenlerin uygulanıp yayılmasından sonra, uygun boyutu dolayısıyla, otomotiv radar sistemlerinde kullanılması tam anlamıyla mümkün olmaya başlamıştır. Frekanslardaki bu artışla beraber uygun değer 24 GHz olarak uygulanmaya karar verilmiştir ve antenin boyutu Şekil 2(b)'de gösterildiği gibi yeterli küçüklüğe ulaşmıştır [13]. Mikroşerit anten ile sağlanan tek fayda, uygun ölçünün uygulanması değildir, basımının ve üretiminin maliyetinin düşüklüğü ile sağlanan kolaylık da hatırı sayılır derecededir. Ayrıca bu sistemleri oluşturan malzemeler hafif malzemelerdir. Bu hafif malzemeler ile antenin ağırlığı da azaltılmıştır. Aynı zamanda bu malzemeler, radar sensör sisteminin elektronik devrelerinin bütün olarak tek parça halinde olmasını da sağlamaktadır. Antenin elektronik devre ile birleştirilip plastik veya benzeri bir yalıtım malzemesiyle sarılması, aracın motorundan veya diğer parçalarından ortaya çıkan sıcaklık dolayısıyla meydana gelen kaza veya başka şeylerin neden olabileceği şok ve dış etkenlere karşı, radar sensör sistemini son derece dayanıklı hale getirmektedir [21, 22, 23].



Şekil 2. (a) Parabolik reflektör antenli eski otomotiv radarı, (b) NXP' nin 2016 yılında yapılan otomotiv radar sensörü

Her ne kadar mikroşerit antenin fiziksel özellikleri, otomotiv radar sistemlerinde çalışmak için uygun olsa da, tek bir anten eleman ile sistemin teknik özelliklerini gerçekleştirmek zordur. Mikroşerit antenleri kullanılarak otomotiv radar sistemlerinin teknik özelliklerini elde etmek amacıyla, anten dizisi tekniği kullanılmaktadır. Anten dizisi teknolojisi kullanılarak kazanç, yöneltim ve hüzmeye genişliği gibi istenilen anten özellikleri geliştirilmiştir. Bu aynı zamanda antenin tasarlandığı sisteme göre değişmektedir [24, 25]. Mikroşerit dizilerinin tasarımının temel fikri, birden fazla tek elemanların yan yana yerleştirilerek birlikte çalışmalarını sağlamaktır. Bu tasarımlar, üzerinde çalışılan uygulamalar için gerekli olan çeşitli hedefleri karşılamak amacıyla sınırsız çeşitlilik gösterir. Mikroşerit dizilerinin iki ana türü ise seri ve paralel ağlardır [21]. Genel olarak radar sistemleri için, özellikle otomotiv radar sistemleri için bir seri besleme ağı tercih edilir. Seri diziler, yan lobların seviyesini azaltma ve ışınma paternini nispeten kolay yöntemlerle tarama imkânı sunar [26]. Yan lobların üretilmesinin fiziksel sebepleri ise karşılıklı kuplaj, besleme ağından gelen istenmeyen ışınma ve yüzey dalgası etkisidir [29]. Yan lobların matematiksel analizleri [27]'de ayrıntılı olarak incelenmiştir. Geleneksel yöntemlere ek olarak, yan lobların seviyelerini amaçlanan seviyeden daha az hale ulaştırmak için birçok farklı düşünce sunulmuştur. En basit yöntem, bireysel elemanların merkezden diziyeye olan uzaklıklarının genlik ve güç uyarımını azaltmaktır [26]. Radar sistemlerinde kullanılan yöntemler arasında en yaygın olan yöntem, Binomial, Dolph-Chebyshev ve Taylor dağılımıdır [29]. Radar sistemleri için mikroşerit antenlerin tasarlanmasındaki bir diğer konu, ışınma paterninin anten hareketi olmadan yönlenmesi imkânıdır. Mikroşerit antenin ışınma paternini yönlendirmek için, elektronik yan devre veya mikrodalga devre kullanılarak uygulanan 'örneğin; Butler

matrisi veya Rotman lens' çeşitli teknikler mevcuttur. Bu durum diğer bant genişliği gibi özelliklerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurur. Bu sebeple yeniden yapılandırılabilen antenlerin kullanılması oldukça faydalı olacaktır [30]. Otomotiv radar anten sistemlerindeki ana diziliş, içlerinde iletim ve alım Tx/Rx çalıştıran dizilerden oluşmaktadır [31]. Dikdörtgenel parça, dizilişin oluşturulmasında temel nokta olarak kullanılmıştır. Bu genellikle basit ve üretiminin kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü fazlı ve konformal dizi oluşturma konusunda oldukça esnektir. Tekli elemanlar dizi oluşturmak için bir araya getirilmiştir [32]. Dizi çeşitlerinin elemanlarının sayısı, sensör sistemi üreticilerine ve kullanılacak uygulamaya göre değişmektedir. 8 elemanlı ve 16 elemanlı dizi elemanları yaygın olarak otomotiv radar anten sistemlerinde bulunmaktadır. Dizi elemanları, birbirlerine dizinin sonundaki, seri besleme tekniği olarak, besleme hatları ile bağlıdır. Antenler içinde bir sensörden diğerine kadar çeşitlenen dizi sayıları, daha önce de bahsedildiği gibi dizideki tekil elemanlara orantılıdır. Dizi elemanlarının sayıları çoğunlukla 6 ve 24 arasındadır. Bu diziler, paralel besleme tekniği ile birbirlerine bağlıdır. Bu tür sistemler, üzerinde çalışacakları uygulamalar ve amaçlara göre çeşitlenmektedir. Birbirlerine düzenli paralel besleme bağlantısı, Rotman lensler, güç bölücü ağı veya elektrik devresi ile bağlantılıdır [30]. Dizilerin tasarımının önemi, dizileri besleme teknolojisini seçerek ve tasarlayarak, antenin ışınma paterni taranırken yan lobların seviyesini azaltmasıdır.

1.1.7. 24 GHz Frekansın Seçimi

İlk otomotiv radar deneylerinde, 1970 ile 1992 yılları arasında ülkeye ve üreticiye bağlı olarak, çeşitli frekanslar için tasarlanmıştır [11, 13]. O dönemde 10 GHz, 16 GHz, 17 GHz, 35 GHz, 47 GHz ve 60 GHz frekansları kullanılmıştır [13, 19]. 24 GHz Frekansı, 1992 yılında Eaton VORAD tarafından ilk defa kullanılmış olup, bu radarlar kaza oranını %50'ye indirmeyi sağladıktan sonra, başka şirketler de kendi otomotiv radar sistemlerinde bu frekans kullanmaya başlamıştır. Resmi olarak, 17 Ocak 2005 tarihinde Avrupa Topluluğu Komisyonu sonunda kısa menzilli radar sistemi (SRR) için 21.65 – 26.65 GHz aralığını tahsis etmiştir. 2002'nin başlarında ise Amerika Birleşik Devletleri'nde 24 GHz frekansı, otomotiv radarları için resmi bir frekans olarak tahsis edilmiştir [6]. Günümüzde otomotiv radar sistemleri için 24 GHz ve 77 GHz frekansları kullanılmaktadır [34]. Teknik olarak, 24 GHz olan antenler, yaklaşık 4 GHz'lik bant genişliği ile ayırt edilmektedir. Bu sayede aracın etrafındaki alan daha fazla kapsanabilmektedir. Bu nedenle, aracın her yöndeki tüm kör

noktaları mümkün olan en düşük sayıda sensörle kaplanabilir. Ayrıca, aracın çok yakınında bulunan ve 77 GHz olan sensörler gibi dalga frekansları kullanılarak algılanamayan nesnelere, 24 GHz sensörler algılanabilir. Son özelliğe dayanarak, kısa menzilli radar (SRR) sensörleri için 24 GHz frekansını kullanmanın daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Uzun menzilli radarlara (LRR) gelince, 24 GHz sensörler, özellikle küçük olan nesnelere ne varlıklarını ne de buldukları açıları iyi bir doğrulukla algılayamamaktadırlar. Ancak bu alanda etkisiz olduğu anlamına gelmez, çünkü onlarca yıl boyunca etkinliğini kanıtlamıştır. Fiziksel olarak, 24 GHz sensörler, bunları geliştirmenin kolay olmasına ve otomotiv radar sisteminin çalışmasının ihtiyaçlarını karşılayan yeni tasarımlar üretme imkânına ek olarak, ucuzdur, kurulumu ve üretimi kolaydır. Şunu da not etmek gerekir ki, son yıllarda araştırmacılar, aracın etrafındaki nesnelere, küçük olsa bile, uzun mesafeden algılaması için, otomotiv radarlardaki 77-81 GHz bant genişliği üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Bu frekansın kullanımı, hala üretiminin zor ve pahalı olması kadar büyük problemler ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca aracın etrafını geniş açı olarak kapsayamamaktadır [34, 35]. Ek olarak 24 GHz ile çalışan sistemin bant genişliği 250 MHz'dir. Bu sistem 24-25 GHz arasında çalıştığından, caddede fazla araç olması durumunda uzun menzilli radar sistemleri için parazit problemi ortaya çıkmaktadır [37]. Sonuç olarak 24 GHz frekansının kullanımı, doğru tasarlandığında, uygun fiyat ve gerekli performans arasında uzlaşmaktadır. Bu sensör sistemlerinin gelişimi ve üretimi devam etmektedir. Bugün özellikle kısa menzilli radar (SRR) sistemleri için en yaygın kullanılan sistemdir.

1.2. Mikroşerit Yama Antenleri

1.2.1. Mikroşerit Antenlerin Tarihçesi

Mikroşerit fikri ilk önce 1953'te ABD'de Alman araştırmacılar Deschamps ve Sichak tarafından dile getirilmiştir [21, 38, 39]. 1955'te Fransa'da Gutton ve Baissinot tarafından, önceden aralarında koordinasyon yapılmadan aynı fikir ortaya atılmış ve fikir için patent alınmıştır [21, 38, 40]. Her iki araştırmada antenler tartışılmadı. Daha çok mikroşeritler üzerine ve bu antenlerin düzlemsel hunileri veya lensleri üzerine konuşuldu. Bundan sonra, araştırmacılar bu hattın yaydığı ışınımı fark ettiler ve bu ışınımın fayda sağladığı konusunda fikirler ortaya koydular [38]. Bu aşamadan sonra, bu alandaki araştırma yaklaşık yirmi yıl kadar ötelenmiştir. Daha sonra Amerikalı bilim adamı Munison, 1974'te ilk gerçek

mikroşerit anten modelini sunmuştur [21, 38, 41]. Munison tarafından sunulan bu model, iletim hatlarının güç bölücüsü ile beslenen dört dikdörtgen elemandan oluşan 9.92 GHz'de çalışan bir mikroşerit anten dizisiydi [41]. Sonraki beş yıl boyunca, yaklaşık yirmi tane başka çalışma yapıldı, ancak tüm bu tasarımlar uygulanabilir değildi. Baskılı devre anten teknolojisi atölyesinde 1979'da New Mexico Eyalet Üniversitesi'nde, mikroşerit anten üzerinde ciddi bir çalışma başlamış ve bu alandaki tasarımlar ve araştırmalar çarpıcı biçimde artmıştır [38]. 1980'de ilk kitap mikroşerit antenler ABD'de Bahl ve Bhartia tarafından yayınlanmıştır [38, 42]. 1980'lerde ilgi bu alanda büyük ölçüde artmış ve Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) programlarının geliştirilmesi, yayınlanmış araştırma sayısını artırmaya yardımcı olmuştur [38]. 1980'lerde yapılan araştırmalar daha çok askeri savunma radar antenleri ilgiliydi ve bu süre zarfında yapılan araştırmaların sayısı yaklaşık 200 civarındaydı. Ancak bu tasarımlardaki en büyük problem antenlerin yalıtkan alttaştıydı [38, 43]. 1990'larda yayınlanan araştırmaların sayısı 300'den fazlaydı ve bu antenler mobil cihazlar ve otomotiv radarlar gibi ticari amaçlar için de üretilmeye başlandı [38]. Bundan sonra mikroşerit antenlerin çoğu kablosuz iletişim sistemlerinde ve özellikle uydu, tıbbi uygulamalar gibi basit veya karmaşık uygulamalar için, iletişim sistemleri, biyolojik, mobil, radar sistemleri ve diğerlerinde kullanılması seçeneği söz konusu oldu. Günümüzde mikroşerit antenlerin özellikleri büyük ölçüde ve hızlı bir şekilde evrim geçirmiş ve diğer anten tiplerine nazaran büyük avantajlar elde etmiştir. Ayrıca çoğundan daha iyi performans göstermiştir. Neredeyse dünyada en çok kullanılan anten türleri olmuşlardır [43].

1.2.2. Mikroşerit Antenlerin Özellikleri

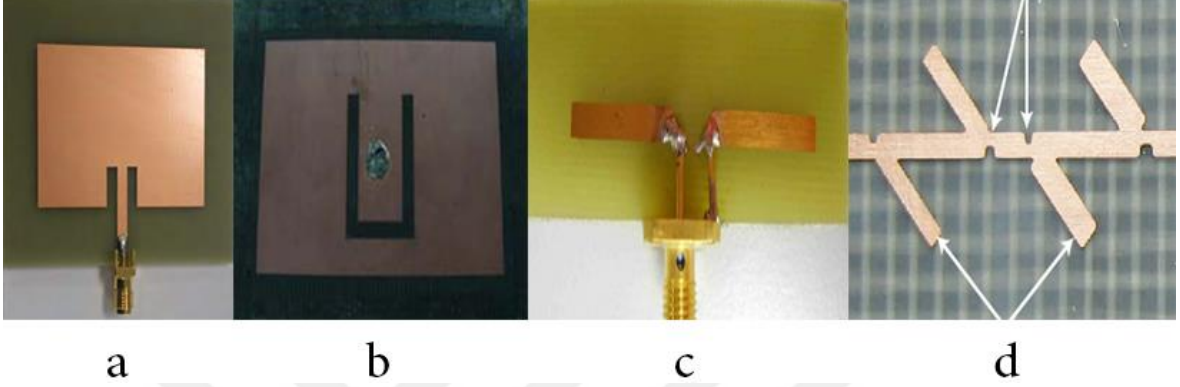
Dikkat odağı haline getirilen mikroşerit antenlerin ilk avantajı küçük boyuta sahip olmasıdır. Çünkü mobil sistemleri gibi küçük boyutlu anten olmadan pratik kullanımı olmayacak bazı uygulamalar mevcuttur. Ayrıca, çalışma frekansının artması ile birlikte bu boyutu daha da küçük olmakta ve bugün boyutları santimetre, bazen milimetre ile de ölçülebilmektedir. İkinci önemli özellik ise özellikle baskılı devre kartı (PCB) teknolojileri geliştirildikten sonra imalatının kolay olmasıdır. Çünkü çok sayıda laboratuvar, atölyelerde ve fabrikalarda yaygın olarak kolay ve doğru bir şekilde üretilme imkânı elde edilmiştir. Böylece düşük maliyetli olması nedeniyle günlük hayatımızda mobil cihazlar gibi ihtiyaç duyduğumuz uygulamalarda kullanılabilir [21, 43, 44]. Mikroşerit anten imalatının şekli, yani özellikle yalıtkan öge üzerine baskı yapılması ve onunla tek parça olup

ve bazen de lensler gibi yalıtkan bir malzeme de kaplanıyor olması mikroşerit antenin, mekanik olarak sağlam ve darbelere, titreşim ve çeşitli hava koşullarına karşı dayanıklı olmasını sağlamıştır. Bu özellikleri ile bütün uygulamalarda kullanımları daha pratik hale getirmektedir [21, 43]. Mikroşerit antenler ince iletken malzemedan yapıldığından, radyatör eleman kalınlığının bazı mikrometreleri aşmadığı bakır veya altın gibi, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uygun hale getirilebilmesi ve araba veya uçaklarda çalışan uygulama yüzeyine entegre edilebilmesi mümkündür. Bu önceki özellikler sayesinde mikroşerit anten, mikroşerit devredeki diğer elektronik elemanlarla entegreli olarak çalışacak, bu durum da devrenin boyutunu ve meydana gelen devrenin parçaları arasındaki etkileşimi azaltacaktır [43, 44]. Ancak en önemli teknik özellik, unsurlarını “dizi anteni” oluşturmak üzere öğelerini birleştiriyor olmasıdır. Farklı dizi tasarımları ile araştırmacılar, mikroşerit antenin kazanç ve yöneltim gibi teknik özelliklerini büyük ölçüde geliştiren tasarımlar ortaya koyup, teknik zorlukların üstesinden gelebilmişlerdir [43]. Ancak, bazı zorluklar hala mikroşerit antenlerin tasarımında yer almakta ve bunların en önemlisi ise dar hüzmeye genişliği olan dizilerin tasarımındaki ve istenmeyen elemanlar arasındaki karşılıklı etkiye sahip olan antenin kendisi gibi radyasyon yapan iletim hatlarından gelen radyasyonun istenmemesidir [43, 44]. Bu problemler mikroşerit antenlerin geniş kullanımı için bir engel oluşturmaz ama tasarlarken iyi düşünülmalıdır [44].

1.2.3. Mikroşerit Antenlerin Türleri

Tüm geleneksel mikrodalga antenleri arasında mikroşerit anten, çok yönlü olarak kabul edilmektedir. Farklı olacak şekilde tasarlanabilen geometrik şekiller ile çok çeşitli ve ayrıca hedefe bağlı olarak çeşitli özellikler elde eden uygulamalarda kullanılmaktadır. Her tür mikroşerit anten dört ana kategoride sınıflandırılabilir: mikroşerit yama, mikroşerit yarığı, mikroşerit dipoller ve mikroşerit hareket eden dalga antenleri [45]. Yama düzlemsel olarak ve birçok farklı geometrik çalışma ortamına uyan düzlemsel olmayan geometri şekli olarak tasarlanmıştır. Fakat en yaygın formlar Şekil 3(a) 'da gösterildiği gibi dairesel ve dikdörtgen yamalardır [21, 45]. Yarıkli antenler yama antenlerine benzerdir ancak Şekil 3(b) 'de yayılan yer düzleminde gösterildiği gibi onlardan bir yarık ile farklıdır. Bu yarık çok farklı geometrik şekiller alabilmektedir. Dipol antenler dikdörtgen antenlerine benzeyebilir ancak Şekil 3(c)'de gösterildiği gibi H şekli anteni gibi çeşitli biçimler alabilmektedir. Dipol ve yama antenlerinin arasındaki teknik farklar ise çok yönlü ışınım paterni, bant genişliği ve doğrusal

polarizasyonudur. Mikroşerit hareket eden dalga antenleri TE modunda çalışır. TE moduna uyan ve bir yük ile biten sabit genişlikte iletim hattından oluşmaktadır. Hattı çeşitli şekillerde tasarlanmaktadır. Bunlardan biri gerekli özelliklere ulaşmak için Şekil 3(d) 'de gösterilmiştir ve bu tip, bazı radar sistemlerinde kullanılmaktadır [45].

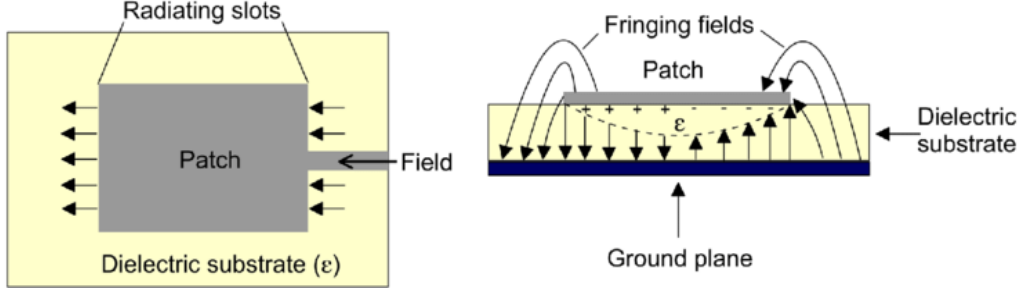


Şekil 3. Mikroşerit antenlerin türleri: (a) Dikdörtgen yama anten, (b) U-şekil yarıklı anten, (c) Mikroşerit dipol anten, (d) Mikroşerit hareket eden dalga antenleri

Dikdörtgen yama antenleri, basitliği nedeniyle kullanımı en efektif olanlardan biri olarak kabul edilir ve esas olarak geometrik şekil, imalatı kolaylaştırmaktadır. bu sebeple ucuz ve kullanılabilir. Ayrıca dikdörtgen yamalar, dizi antenler ve fazla diziler, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylerde şekil almaktadır [32].

1.2.4. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Antenlerin Işıma Mekanizması ve Analizi

Anten tasarımının gerekli özelliklerini karşılamak için çok önemli olan bir husus ise antenin temel elemanının mekanizmasının, yani dikdörtgen yamanın ne olduğu ve ışımaya yaptığını anlamaktır. Yukarıdaki belirttiği gibi anten, iletken radyasyon yaması olan üç bölümden oluşur ve belirli bir kalınlığa sahip bir yalıtkan alttaş ile yer düzleminden ayrılır. Mikroşerit yama anten ışınması ve mikroşerit kenarları arasındaki saçak alanlarından meydana gelir. Işıma alanı yama çevresindeki şerit benzeri manyetik yüzey akımı [45] 'de olduğu gibi tanımlanabilir. Dikdörtgen yamanın radyasyon mekanizması ise Şekil 4'ten anlaşılabilir.



Şekil 4. Mikroşerit yama anteninin ışırma mekanizması ve elektrik alan dağılımı

Işırma çoğunlukla yamanın açık devre kenarlarındaki saçak alanlarına tanımlanabilmektedir. Daha iyi anlamak için yama anteni açık devreli bir iletim hattı olarak görülebilmektedir. Bu sebeple gerilimin, yamanın sonunda maksimum değeri ve başlangıç kenarında minimum değeri bulunmaktadır. Böylece, akımın, yamanın sonunda ve başlangıç kenarında minimum değeri olduğunu ve yamanın ortasındaki maksimum değeri olduğu anlaşılır. Bu beslemedeki düşük akım değeri empedansın neden yüksek olduğunu açıklamaktadır. Ayrıca, alanlar yer düzlemine göre normal ve teğetsel bileşenlere çözülebilir. Teğetsel bileşenler aynı fazda olup, ortaya çıkan alanlar birleşerek yüzeye normal olan maksimum yayılma alanı verir. Bu nedenle yama iki yarık ile temsil edilebilir ve yarı dalga boyutunda ayrı fazda uyarılır ve yer düzleminin üzerindeki yarı boşlukta yayılır. Yama antenin radyasyon mekanizması aşağıdaki bölümlerde açıklanacağı gibi iletim hattı ve boşluk modelleri kullanarak analiz edilebilmektedir [21, 43, 45].

1.2.4.1. Transmisyon Hattı Modeli

Transmisyon hattı modeli parametreleri analiz etmek ve mikroşerit antenlerin performansını anlayabilmek için basit bir modeldir. Fakat bu modelin ana dezavantajı, esneklik eksikliğine ek olarak daha az olan doğruluğudur [21, 43]. Aynı şekilde alanın dikey yayılma yönündeki değişkenliğini dikkate almamaktadır. Bu modelde yayılan elemanlar, uzunluğu boyunca hiçbir enine alan değişmesi bulunmayan, iletim hattı rezonatörü olarak kabul edilir [43]. Mikroşerit anten, transmisyon hattı modeli aralarındaki mesafe L iki adet yarık temsil edilmektedir. Elektromanyetik dalgaların yayılma yönü Z -Yön boyuncadır. Sonuç olarak bu iletim hattı, faz hızı havada ve yalıtkan altta farklı olması sebebiyle saf enine elektromanyetik radyasyon modunu (TEM) destekleyememektedir. Bu sebeple yayılmanın baskın modu quasi-TEM mod olacaktır [21, 43].

Bu modelde hat alanları yamanın kenarlardadır ve saçak alanları tarafından analiz edilebilmektedir. Çünkü yamanın boyutları Şekil 4’te gösterildiği gibi sınırlı bir uzunluk ve genişliğe sahiptir. E ve H düzlemlerindeki saçak miktarı, düzlemdeki parça ölçüsünün yalıtkan alttaş yüksekliğine ve alttaşın dielektrik sabit değerine oranlı bir fonksiyondur. Bu sebeple tasarlarken, yama uzunluğu ve alttaş yüksekliği oranı hesaba katılmalıdır. Çünkü antenin rezonant frekansına etki etmektedir. Yani bu durum alttaş ve havanın iki dielektrik heterojen olmayan hattı olarak dikkate alınabilir. Elektrik alan çizgisinin çoğu, yalıtkan alttaşa bulunmaktadır ve bunların bir kısmı da havada bulunmaktadır. $\frac{W}{h} \gg 1$ ve $\epsilon_r \gg 1$ durumunda elektrik alan çizgisi çoğunlukla alttaşa bir arada bulunmaktadır. Yamayı tasarlarken saçak etkisi hesaba katıldığında, etkin dielektrik sabitinin değeri ϵ_{eff} ortaya konulmuş olur. Etkin dielektrik sabitinin değeri, eş oranlı yalıtkan materyalin dielektrik sabitinin değeri olarak tanımlanmıştır ve denklem (1.1)’de matematiksel olarak hesaplanmıştır [7, 21, 43, 45].

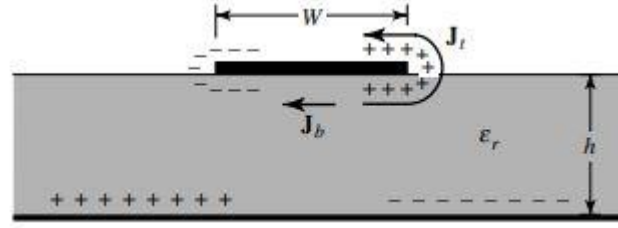
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (1.1)$$

$\epsilon_r \gg 1$ durumunda ϵ_{eff} değeri, alttaşın gerçek dielektrik sabiti ϵ_r değerine çok yakın olacak ve hat homojen bir hat gibi davranacaktır. Etkin dielektrik sabitinin değeri aynı zamanda frekansın fonksiyonudur. Çalışma frekansının yükseldiği durumda, elektrik alan çizgisinin çoğu yalıtkan alttaşa yoğunlaşmaktadır [21, 43].

1.2.4.2. Cavity Modeli

Bu modelde anten, dış yüzeyinin etrafı baştan aşağıya manyetik alan ve elektrikli duvarlar ile sarılmış bir boşluk olarak tanımlanmaktadır. Bu model ile birlikte, transmisyon hattı modelindeki dezavantajların üstesinden gelmek mümkündür. Çünkü bu model, diğer modele göre daha kesin sonuçlar vermektedir. Bu sistem dalga kılavuzlarını, boşlukları ve radyatörleri analiz etmede oldukça başarılı olan pertürbasyon yöntemleri ile benzerlik göstermektedir. Bu sebeple cavity modelinin, özellikle dikdörtgenel yamaları analiz etmede oldukça kullanışlı olduğu göz önüne alınmalıdır. Bu modelin tek eksi yanı ise karmaşık analizler yapmasıdır. Yayılan yama ve düzlemi arasında bulunan bölüm boşluk olarak kabul edilmektedir. Yani mikroşerit antenler, kayıp boşluklar olarak adlandırılabilir. Yama güç

aldığında, Şekil 5'te gösterilen çekici ve itici mekanizma ile zemin yüzeyine dağıtıldığı gibi, yükler yamanın alt ve üst yüzeylerine dağıtılır. Yamanın alt tarafında ve zemin arasında bulunan çekici mekanizma, yamanın alt tarafında bulunan yükleri bir araya getirmektedir. Yamanın alt ve üst tarafında bulunan yükler arasındaki itici mekanizma ile yükler kenarlardan ve alt kısımdan üst tarafa geçmektedirler. Bu yüklerin hareketleri, yamanın üst ve alt yüzeyinde uyumlu akım yoğunluğu J_b ve J_t ortaya çıkarmaktadır. Çünkü yüksekliğin genişliğe oranı, çoğu mikroşerit yamalarda oldukça küçüktür. Bu sebeple çekici mekanizma etkisi daha fazladır. Yük konsantrasyonu ve akımın çoğu da yamanın altında kalmaktadır. Mevcut akımın küçük bir miktarı, yamanın kenarlarından, üst yüzeyine doğru dolaşmaktadır. Yine de bu mevcut akım, uzunluğun genişliğe oranının azalmasıyla azalmaktadır. Üst yüzeye doğru giden akım ideal olan şekilde, sıfıra ulaştığında, yamanın kenarlarına kadar teğetsel manyetik alan bileşimi ortaya çıkamaz. Dört yan duvar, ideal olarak, Şekil 6'da gösterildiği gibi, manyetik iletken yüzeyler ve yama altındaki elektrik alan dağılımları olarak modellenecektir [21,43].



Şekil 5. Mikroşerit yamasında yük dağılımı ve akım yoğunluğu

Saçak alanı dış sınır çizgisinin etrafında meydana gelmiştir. Saçak alanları ve ışınma gücü boşluğun içinde çevrelenmiş şekilde değildir fakat boşluğun kenarlarında dağıtılmış şekildedir. Yani boşluğun içindeki alan sıfır olarak kabul edilmektedir. Bu modelde yalıtkan altaşın kalınlığı oldukça küçük olduğundan, bu tek tip değer ve yüksekliğin çeşitliliği, sabit olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple yamanın kenarlarını çevreleyen saçak alanı da küçüktür. Dolayısıyla sadece TMx alan bileşenleri boşluğun içinde dikkate alınmaktadır. Antende oluşan radyasyon kaybı, iletken kaybı, yalıtkan alt katmanın kayıp tanjantından kaynaklanan kayıp ve gökyüzü dalga kaybı, antenin toplam ışınmasını etkiler. Boşluktaki elektrik ve manyetik alanların bileşenleri, (1.2), (1.3), (1.4), (1.5), (1.6) ve (1.7) denklemlerde gösterildiği gibi elde edilebilmektedir [21, 43].

$$E_x = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + k^2 \right) A_x \quad (1.2)$$

$$E_y = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial y} \quad (1.3)$$

$$E_z = -j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \frac{\partial^2 A_x}{\partial x \partial z} \quad (1.4)$$

$$H_x = 0 \quad (1.5)$$

$$H_y = \frac{1}{\mu} \frac{\partial A_x}{\partial z} \quad (1.6)$$

$$H_z = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_x}{\partial y} \quad (1.7)$$

Burada A_x , denklem (1.8) 'de verildiği gibi vektör potansiyelidir. Çözümü ise denklem (1.9)' da verilmiştir.

$$\nabla^2 A_x + k^2 A_x = 0 \quad (1.8)$$

$$A_x = [A_1 \cos(k_x x) + B_1 \sin(k_x x)] [A_2 \cos(k_y y) + B_2 \sin(k_y y)] [A_3 \cos(k_z z) + B_3 \sin(k_z z)] \quad (1.9)$$

Böylece boşluk içindeki vektör potansiyeli, A_x 'nin son şekli, denklem (1.10)'da verildiği gibidir.

$$A_x = A_{mnp} \cos(k_x x') \cos(k_y y') \cos(k_z z') \quad (1.10)$$

Burada A_{mnp} , aşağıda verildiği gibi k_x , k_y ve k_z dalga boylarının, her mnp modunun genlik katsayılarını temsil etmektedir.

$$k_x = \left(\frac{m\pi}{h} \right), \quad m = 1, 2, 3, \dots \dots \dots \quad (1.11)$$

$$k_y = \left(\frac{n\pi}{L} \right), \quad m = 1, 2, 3, \dots \dots \dots \quad (1.12)$$

$$k_z = \left(\frac{p\pi}{W} \right), \quad m = 1, 2, 3, \dots \dots \dots \quad (1.13)$$

Böylece boşluk içindeki elektrik ve manyetik alanların bileşenleri (1.14), (1.15), (1.16), (1.17), (1.18) ve (1.19) denklemlerdeki gibi yazılabilmektedir.

$$E_x = -j \frac{(k^2 - k_x^2)}{\omega\mu\epsilon} A_{mnp} \cos(k_x x') \cos(k_y y') \cos(k_z z') \quad (1.14)$$

$$E_y = -j \frac{k_x k_y}{\omega\mu\epsilon} A_{mnp} \sin(k_x x') \sin(k_y y') \cos(k_z z') \quad (1.15)$$

$$E_z = -j \frac{k_x k_z}{\omega\mu\epsilon} A_{mnp} \sin(k_x x') \cos(k_y y') \sin(k_z z') \quad (1.16)$$

$$H_x = 0 \quad (1.17)$$

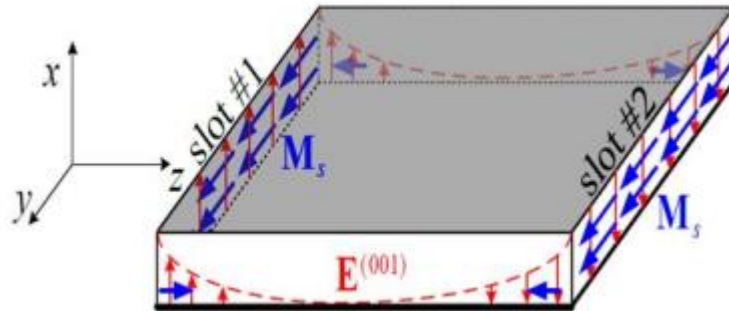
$$H_y = -\frac{k_z}{\mu} A_{mnp} \cos(k_x x') \cos(k_y y') \sin(k_z z') \quad (1.18)$$

$$H_z = \frac{k_y}{\mu} A_{mnp} \cos(k_x x') \sin(k_y y') \cos(k_z z') \quad (1.19)$$

Mikroşerit antenler için baskın mod, rezonant frekansının, denklem (1.20) 'de verilen en düşük rezonant frekansına sahip moddur. Bu nedenle TM_{010} , en düşük frekansa sahip olan baskın mod olarak kabul edilmektedir [21, 43].

$$(f_r)_{mnp} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{h}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2} \quad (1.20)$$

Bu modelde mikroşerit anten, yalıtkan alttaş çok ince olduğu varsayılarak dört boşluk duvarındaki, dört adet yarık ile temsil edilebilmektedir. Fakat yayılan alanın çoğu sadece yama uzunluğu ile ayrılan iki yarıktan oluşur. Çünkü yarıkların her biri, alan genliği ve alan faz ölçüsü denklem (1.21)'e eşit olan akım yoğunluğuna sahip olup yayılan yarıklar olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 6. Cavity modelinin dört yarığı üzerinde alanlar yönleri ve dağıtımı

Yama genişliği W ile ayrılan diğer iki yarıık, aynı alan genliğini yaymaktadır ancak zıt faz ise onlardan yayılan alan sıfıra eşit olduğundan, bunlara Şekil 6'da gösterildiği gibi yayılmayan yarııklar denilmektedir. Denklem (1.21) 'in eşdeğer akım yoğunlukları kullanılarak her bir yayılan yarığın yaydığı uzak bölge elektrik alanları, $E_r \cong E_\theta \cong 0$ olmak üzere denklem (1.22) yazılabilir [21, 43].

$$M_s = -2\hat{n} \times E_a \quad (1.21)$$

$$E_\phi = +j \frac{k_0 h W E_0 e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \left\{ \sin \theta \frac{\sin(X)}{X} \frac{\sin(Z)}{Z} \right\} \quad (1.22)$$

$$X = \frac{k_0 h}{2} \sin \theta \cos \phi \quad (1.23)$$

$$Z = \frac{k_0 W}{2} \cos \theta \quad (1.24)$$

Sonraki bölümlerde iki eleman için aynı genlik ve fazdaki dizi faktörü açıklanacak ve denklem (1.25) 'deki gibi anlatılacaktır [21, 43].

$$(AF)_y = 2 \cos \left(\frac{k_0 L_e}{2} \sin \theta \sin \phi \right) \quad (1.25)$$

Benzer şekilde yayılan elemanlar için, her yayılmayan yarıık tarafından yayılan ve normalize edilmiş uzak bölge elektrik alan bileşenleri (1.26) ve (1.27) denklemlerdeki gibi verilmektedir [21, 43].

$$E_\theta = - \frac{k_0 h L_e E_0 e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \left\{ Y \cos \phi \frac{\sin X}{X} \frac{\cos Y}{(Y)^2 - (\pi/2)^2} \right\} e^{j(X+Y)} \quad (1.26)$$

$$E_\phi = - \frac{k_0 h L_e E_0 e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \left\{ Y \cos \theta \sin \phi \frac{\sin X}{X} \frac{\cos Y}{(Y)^2 - (\pi/2)^2} \right\} e^{j(X+Y)} \quad (1.27)$$

$$X = \frac{k_0 h}{2} \sin \theta \cos \phi \quad (1.28)$$

$$Y = \frac{k_0 L_e}{2} \sin \theta \sin \phi \quad (1.29)$$

1.2.5. Mikroşerit Yama Antenlerin Alttaş Malzemesi Seçimi

Anten tasarımında, alttaş malzemesinin seçiminin anten özellikleri üzerindeki etkisi üretilebilme potansiyel ve maliyeti nedeniyle önemli bir rol oynamaktadır. Alttaş malzemesinin seçimi anten tasarımında ilk pratik adım olarak kabul edilmektedir. Mikroşerit antende yalıtkan alttaş malzeme öncelikle antene mekanik mukavemet vermek için gereklidir. Buna ek olarak, yalıtkan üzerinde üretilen yüzey dalgaları gibi antenin bozulmuş elektriksel özellikleri önceki paragrafta açıklanmıştır. Dikkat edilmesi gereken yalıtkan alttaş özellikleri ise dielektrik sabiti, teğet kaybı, sıcaklık ve frekans ile değişmesi, homojenlik, işleme ile boyutsal kararlılık ve sıcaklık, nem ve yaşlanmadır. Yalıtkan alttaşın diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri, esneklik, darbe direnci, güç kullanma kapasitesi, kimyasal direnç, sağlamlık, gerilim azaltma ve bağlanma kabiliyeti içermesidir. Bu faktörler ayrıca yalıtkan alttaş seçim kararında etkilidir. Seçim yaparken belirlenen parametreler yalıtkan alttaş malzemesi dielektrik sabiti ϵ ve malzemenin h kalınlığıdır. Dielektrik sabitinin değeri malzeme tipinin kendisiyle ilgilidir ve sadece malzeme türünün değişimi ile değiştirilmesi sağlanmaktadır. Yalıtkan alttaşın kalınlığı, malzeme türü ile ilgili belirli sınırlara ve frekansa göre üzerinde yapacağı işleme bağlı olarak tasarımcı tarafından belirlenir. Yalıtkan alttaş malzemesinin dayandığı temel özellik ise gerekli uygulama özelliklerine ek olarak, çalışma frekansına dayanmaktadır [46, 47, 48, 49]. Kısacası yüksek dielektrik sabit alttaş malzemesinin kullanılması yamanın boyutunu azaltmaya sebebiyet vermektedir. Ayrıca artan yalıtkan alttaş kalınlığı ile bant genişliği de artmakta ve daha iyi kazanç ve yöneltim elde edilmektedir ve istenen çalışma frekansından yönelen yama boyutu azalırken, merkez çalışma frekansı da azalmaktadır [47, 48]. Yalıtkan alttaş malzeme seçimi ayrıntılı ve teorik olarak [49]'da daha kapsamlı açıklanmaktadır.

1.2.6. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten Tasarım Yöntemi ve Besleme Hattı

Dikdörtgen yama anteni, yarım dalga anteni olarak kabul edilmektedir, çünkü uzunluğu, etkin dalga boyunun yarısıdır. Etkin dalga boyu (1.30) denkleminde gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. Bu nedenle, artan frekansla, yamanın boyutu azalmaktadır [7, 50].

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1.30)$$

Burada ϵ_r dielektrik sabitidir. Böylece buradan yalıtkan alttaşın anten boyutları ve performansı üzerindeki etkisi netleşebilmektedir. Dikdörtgen yamayı tasarlamak amacıyla yapılması gereken kritik parametreler için hesaplanan genişlik W , uzunluk ise L 'dir. Çalışma frekansı f_r olmak üzere yama genişliği aşağıdaki denklem (1.2)'den hesaplanır [7, 21, 45, 50, 51].

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1.31)$$

Yama, yalıtkan alttaş ile birleştirildiğinde ve ışımaya başladığında alanın bir kısmı hava olduğundan alttaşın dielektrik sabiti azalır ve buna etkin dielektrik sabiti ϵ_{eff} denir. Bu değer, saçak alanını fiziksel olarak ifade etmektedir. Bu değer $\frac{W}{h}$ yama genişliğinin alttaş kalınlığına oranı ve aynı zamanda doğal malzemenin dielektrik sabiti ile ilgilidir. Tasarım için bu değer dikkate alınmalıdır ve denklem (1.1) 'de olduğu gibi hesaplanmıştır [21, 45, 50, 51].

Bundan dolayı, etkin yama uzunluğu denklem (1.32) 'te olduğu gibi hesaplanır [7, 21, 45, 50, 51].

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1.32)$$

Sonrasında ise yamanın gerçek uzunluğu denklem (1.33) 'teki gibi verilmiştir [7, 21, 45, 50, 51].

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (1.33)$$

Burada ΔL , etkin dielektrik sabitinin ϵ_{eff} değeri ve genişlik / yükseklik oranının $\frac{W}{h}$ bir fonksiyonu olup denklem (1.34) 'de verilmiştir [7, 21, 45, 50, 51].

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} + 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} h \quad (1.34)$$

Gerçek uzunluk, esas olarak alttaş ile ilgili olan bir ΔL ile etkin uzunluktan daha büyük olup, dielektrik sabiti ve kalınlığı ile ilişkilidir. Düzeltme eki, yalıtkan alttaşın ortasında, alttaş

boyut uzunluğu ve genişliği sırasıyla (1.7) ve (1.8) denklemlerde olduğu gibi verilmiştir [7, 50, 51, 52].

$$L_g = 6h + L \quad (1.35)$$

$$W_g = 6h + W \quad (1.36)$$

Yamayı beslemek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler temaslı ve temassız besleme olarak iki kategoriye ayrılabilir. Temas yöntemi mikroşerit hattı ve koaksiyel prob içermekte ve temassız yöntem ise diyafram bağlantısı ve yakınlık bağlantısını içermektedir. Bu dört teknik genel olarak yamayı, mikroşerit antenlerde beslemek için kullanılan temel tekniklerdir. Temas yöntemlerinde, bir bağlantı hattı kullanılarak güç doğrudan yayılan yama ile beslenmektedir. Temassız yöntemlerinde ise mikroşerit hattı ve yayılan yama arasındaki gücü aktarmak için elektromanyetik alan kuplajı kullanılmaktadır. Besleme yöntemleri anten özelliklerinden bant genişliğini, ışınma paternini, polarizasyonu, kazancı ve empedansını etkiler. Besleme yöntemleri için etkisi yüksek yan loblara neden olabilecek sahte ışınma seviyesi ve polarizasyon problemleri de söz konusudur. Temassız yöntemler orta derece sahte ışınma sahip olup, tasarlaması ve imalatı çok zor olmasına rağmen, antenin teknik özellikleri üzerinde daha iyi etki uygulamaktadır. Temas yöntemleri imalat kolaylığı ve anten ile birleştirilmesi nedeniyle daha sık kullanılmaktadır. Temas yöntemlerindeki ana problem ise hat arasındaki uyumsuzluktur ve aralarındaki temas noktasındaki yama empedansdır. Yani empedans uyumu hat empedansının genellikle 50Ω olmakta, ancak yama empedansının değiştiği yerlerde boyutlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Mikroşerit hat beslemesi imalat açısından çok kolay bir yoldur. Buradaki yalıtkan alttaş üzerinde yama ile baskı yapılmaktadır. Böylece boyutu daha küçük olan anten daha önce bahsedilen problemleri çözme kolaylığı açısından tercih edilebilmektedir [21, 43]. Mikroşerit besleme hattı ve yama arasındaki empedans uyumu için, uygun bir nokta belirlenir. Sonra hat yamanın o noktasına yerleştirilir. Hat üzerindeki empedans uydurma noktası konumuna doğru iç besleme mesafesini hesaplamak için yamanın kenardaki yama empedansı denklem (1.37) ile belirlenmelidir [21, 51, 53].

$$R_{in} = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L_p}{W_p} \right)^2 \quad (1.37)$$

Daha sonra Y_0 inset mesafesi denklem (1.38)'de verilmiştir [21, 51, 54].

$$Y_0 = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_{in}}{R_{in}}} \right) \quad (1.38)$$

Burada Z_{in} , genellikle değeri 50Ω olan iletim hattı empedansdır. Ayrıca hattın her iki tarafı için boşluk genişliği denklem (1.39) ile verilmiştir [51, 55].

$$g = \frac{4.65 \cdot 10^{-12} c}{f_r \sqrt{2\epsilon_{eff}}} \quad (1.39)$$

Mikroşerit besleme hattı ile dikdörtgen mikroşerit yama anteninin tasarım parametreleri böylece tamamlanmaktadır.

1.2.7. Mikroşerit Yama Antenlerinin Parametreleri

Anten performansını değerlendirmek ve gerekli özelliklere uygunluğunu belirlemek amacı ile anten parametrelerinin hesaplarını ve tanımlarını bilmek önemlidir. Bu bölümde parametreler genel olarak açıklanacaktır ve daha kolay anlaşılması için basitliği nedeniyle tek eleman, örnek olarak kullanılacaktır.

1.2.7.1. Işıma Paterni

Bir antenin radyasyon özelliği [21] 'de matematiksel bir fonksiyon olarak tanımlanmış ve uzayın bir fonksiyonu olarak antenin radyasyon özelliklerinin grafiksel gösterimi verilmiştir. Uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak, dağılım ve desibel dB cinsinden verilmektedir [21, 56]. Işıma paterinden güç akısı yoğunluğu, ışınma yoğunluğu, alan şiddeti, antenin yöneltim ve polarizasyon anlaşılmaktadır. Işıma paterni, üç boyutlu olmak ya da E ve H düzlemlerinde iki boyutlu olarak verilebilir. Dikdörtgen yama antenlerin ışınma paterni, belirli bir alana sahip, bir ana lobdan oluşmaktadır. Bu lobun yanında yan lob denilen daha küçük loblar vardır. Ek olarak, ana lobun karşı tarafında bulunan küçük loblar arka lob olarak adlandırılmaktadır [21].

1.2.7.2. Hüzme Genişliği

Hüzme genişliği, ışın paterninin loblarından her lobun karşı taraftaki iki özdeş nokta arasındaki açısal ayrımıdır. Ancak antenin hüzme genişliği söylendiğinde, bu genellikle Yarı Güç Hüzme genişliği (HPBW) anlamına gelmektedir. HPBW ana lobun ışın genişliğidir, ışın paterninde yarı güç noktasında, yani 3 dB değerindedir [21]. HPBW, antenin tasarlandığı uygulamaya bağlı olarak anten yöneltimi ve gerekli ışın genişliğini göstermektedir. Bu nedenle bazı uygulamalar, kısa menzilli otomotiv radar (SRR) gibi geniş bir hüzme genişliği gerektirir. Diğerleri ise uzun menzilli otomotiv radar (LRR) gibi daha dar bir hüzme genişliği gerektirmektedir.

1.2.7.3. Kazanç ve Yöneltim

Anten kazancı, yayabileceği ya da alabileceği ışın maksimum yönde ve desibel dB cinsinden verilmektedir. Teorik olarak radyasyon özelliğinin belirli özellikli yönündeki kazancı, radyasyon yoğunluğunun izotropik kaynak tarafından yayılan yoğunluğa göre belirli bir yönünde oranı olarak tanımlanabilir. Ama kazançtan bahsedildiğinde, en büyük yöndeki kazancın değeri olarak ifade edilir. Anten kazancı denklem (1.40) 'de olduğu gibi matematiksel olarak hesaplanmıştır [21, 56, 57].

$$G = \frac{U_1(\theta, \phi)}{U_2(\theta, \phi)} = \frac{4\pi U_1(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (1.40)$$

$U_2(\theta, \phi)$: yöntemsiz bir izotropik antenin ışın şiddeti, $U_1(\theta, \phi)$: tasarlanmış antenin ışın şiddeti ve P_{in} toplam giriş gücüdür.

Anten yöneltimi, toplam anten radyasyonuna belirli bir yöndeki anten radyasyonunun oranıdır. Ancak yöneltim terimi genellikle, anten radyasyonunun en büyük yönünü göstermek için kullanılmaktadır. Pratikte, yöneltim maksimum yönü ifade eder ve denklem (1.41) ile hesaplanmıştır [21, 56].

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi U_1(\theta, \phi)}{P_{is}} = \frac{4\pi U_1(\theta, \phi)}{\int_{\frac{1}{2}} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] d\vec{S}} \quad (1.41)$$

1.2.7.4. Anten Verimi

Antenin ışıma verimi, giriş gücüne göre yayılan gücün oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, ilgili kazanç ve yönlülük ile ilişkilidir [21].

1.2.7.5. Geri Dönüş Kaybı

Geri dönüş kaybı, iletim hattından aktarılabilen anten olan yüke iletilen enerji miktarının bir ölçüsüdür. Bu güç ne kadar yüksekse oran, yük ve hat daha uyumludur. Geri dönüş kaybı, dB cinsinden yansıma katsayısı büyüklüğünün negatiftir. Güç, gerilimin karesiyle orantılı olduğundan ve denklem (1.42) ile hesaplanmıştır. Geri dönüş kaybı diyagramından geri dönüş kaybının -10 dB'nin altında olduğu alan anten çalışma alanıdır [56, 57].

$$\text{Returnloss} = -20 \log \left| \frac{V_i^-}{V_i^+} \right| = -20 \log \left| \frac{Z_i - Z_0}{Z_i + Z_0} \right| \quad (1.42)$$

1.2.7.6. Frekans Bant Genişliği

Bant genişliği, anten özelliklerinin hala uygun olduğu merkezi frekans çevresindeki frekans aralığıdır. Bant genişliği geri dönüş kaybı diyagramından kolayca bilinir ve merkezi frekansın çevresindeki bant geri dönüş kaybı diyagramı değeri olan -10 dB'den düşüktür [21, 56, 57].

1.2.7.7. Polarizasyon

Anten polarizasyonu, antenin maksimum yönde yaydığı elektromanyetik dalgasının polarizasyonudur. Dalganın polarizasyonu elektromanyetik dalga yayılımı sırasında elektrik alan vektörü tarafından çizilen yoldur. Üç tip anten polarizasyon yöntemi vardır: doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyon. Önemli olan nokta verici ve alıcı antenlerin polarizasyonu arasında bir uyum olmasıdır. Uyumsuzluk durumunda, bilgi alınamaz ve uyuşmazlık polarizasyonu durumu oluşacaktır [21, 56].

1.3. Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten Dizileri

1.3.1. Yama Anten Dizilerine Giriş

Yama antenin küçük boyutlu olması onları çoğu kablosuz iletişim için arzu edilir kılmaktadır. Fakat tek bir elemanlı anten, istenen bazı teknik özellikleri gerçekleştirilememektedir. Dolayısıyla, gerekli teknik özellikleri elde etmek için literatürde yama anten dizileri tasarlanmaktadır. İlk yama anteni tasarlayan makalede dört dikdörtgen eleman kullanarak bir mikroşerit dizi oluşturulmuştur [41]. Genellikle tek elemanlı anten kullanılarak elde edilemeyen özelliklere ulaşmak için, dizinin elemanlarının arasında farklı besleme ağları kullanılmaktadır. Bu ağlar sayesinde anten dizilerinde istenmeyen yan lobları azaltmak, kazanç ve yöneltimi artırmak veya hüzme genişliğini değiştirmek mümkün olabilmektedir [19, 21, 51]. Anten dizileri geometrik olarak doğrusal, dairesel, düzlemsel ve düzlemsel olmayan diziler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Anten dizileri kullanarak antenin ışınma paterninin yönünü de kontrol edilebilir. Bu özelliği gerçekleştirmek için genellikle her elemana farklı fazda sinyal ulaştırmak gerekmektedir. Bazı durumlarda besleme akım genliği de farklı olabilmektedir. Bu diziler fazlı diziler olarak tanımlanır [19, 21,51]. Anten dizilerinde her eleman aynı faz ve genliğe sahipse üniform anten dizileri olarak isimlendirilir. Üniform olmayan dizilerinde dizi elemanlarının arasındaki faz ya da genlik farklıdır. Üniform olmayan anten dizileri, yan lob seviyelerini azaltmak için kullanılır. Üniform olmayan diziler tasarlamak için Binomial, Dolph-Chebyshev ve Taylor gibi birçok teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler, yan lob seviyelerini azaltmayı ve ışınma paterninin yönünü kontrol etmeyi mümkün kılmaktadır [21, 51, 58].

1.3.2. Anten Dizisi Faktörü

Anten dizisi faktörü, aşağıdakileri sağlayan matematiksel bir işlev olarak tanımlanmaktadır. Uzak alan deseninde anten tarafından yayılan toplam alanın tek elemanlı anten alanı ile çarpılarak denklemi (1.43) gibi hesaplanmıştır. Bir eleman tarafından yayılan alan değeri referans olarak kabul edilir. Anten dizisinden yayılan alan hesaplama noktasının nasıl hesaplanacağını bilmek için bir anten dizisinden yayılan alan, kaç eleman olursa olsun

bilinmelidir. Öncelikle bir eleman için yayılan alanın denklem (1.16)'deki gibi hesaplanması söz konusudur [21, 51].

$$E(\text{toplam}) = [E(\text{referans noktasında tek eleman})] \times [\text{dizi faktörü}] \quad (1.43)$$

$$E_t = \hat{a}_\theta \eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos\theta e^{j(kd\cos\theta + \beta)/2} \quad (1.44)$$

Anten dizisi faktörü AF denklem (1.45) ile hesaplanmıştır [21, 51].

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\psi} \quad (1.45)$$

Burada ψ denklem (1.46) gibi verilmiştir.

$$\psi = kd\cos\theta + \beta = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos\theta + \beta \quad (1.46)$$

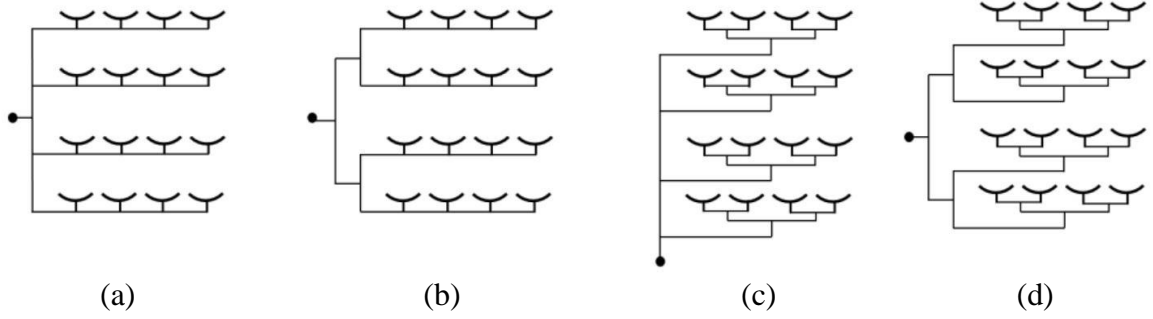
Burada k faz sabiti ve $2\pi/\lambda$ 'ye eşittir, d her iki eleman arasındaki mesafe, θ : anten dizisi ana lob açısıdır, β : elemanların arasındaki faz uyarımındaki farktır, a_n genlik katsayı ve N dizi elemanlarının sayısıdır.

Anten dizisi faktörü [21] 'de matematiksel olarak daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Yukarıdan denklemlerde, anten dizisinin ışına paterni dizi faktörü ile değiştirilmektedir [21].

1.3.3. Anten Dizileri Besleme Ağları

Besleme ağının şekli, Şekil 7'te gösterildiği gibi tasarımcı amaçlarına bağlı olarak değişebilir, ancak paralel besleme ağı, seri besleme ağı, uzay besleme ve karışık besleme gibi çok yaygın şekiller bulunmaktadır. Tüm besleme ağı türleri arasındaki temel fark ise her bir elemanda verilen genlik ve faz miktarıdır. Çünkü bu antenin ışına paternini doğrudan etkilemektedir [21, 51, 58]. Faz, mikrodalga teorisine göre, elemanlar ve kaynak arasındaki hattın uzunluğuna göre elemanlar arasında fark gösterdiğinden, kaynak ve tüm arasındaki hattın uzunluğu elemanlar eşitse, faz, Şekil 7(d) 'de gösterildiği gibi tüm elemanlar için eşittir. İletim hattı uzunluğu değiştikçe faz kayması meydana gelir ve bu kaymanın değeri

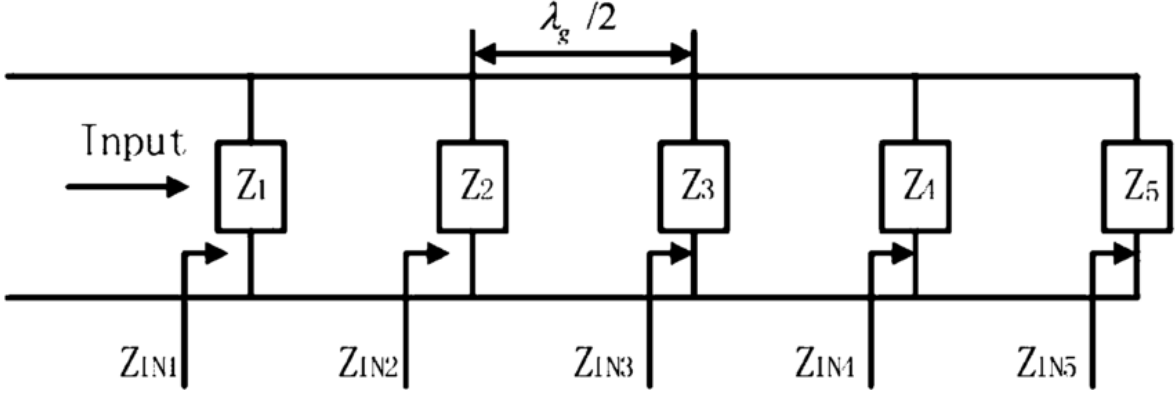
mesafeye göre değişmektedir. Karşılıklı kuplaj olarak adlandırılan elemanların birbiri üzerindeki etkisine ek olarak elemanlar arasındaki bağlanma da söz konusudur.



Şekil 7. Farklı anten dizisi besleme ağları türleri

Mikrodalga teorisinden faydalanılarak anten dizisinin oluşturduğu ışınma paterni kontrol edilebilmektedir [21, 58]. Güç bölücüler, giriş gücünü belirli sayıda çıkış gücüne eşit ya da farklı güçlerde bölmek için kullanılır. Yaygın olarak kullanılan üç pasif güç bölücü, T-bağlantı bölücü, mukavemet bölücü ve Wilkinson bölücüdür. Güç bölücünün çalışma fikri sinyalin iletim hatlarındaki yansımalarını iptal edip mümkün olan en büyük sinyali veren iletim hatlarında enerji miktarını kaybetmeden aktarabilmesidir. İdeal güç bölücü kayıpsız, uyumlu ve yüksek izolasyona sahiptir, ancak bu üç özelliği elde etmek zordur [51, 59, 60]. Güç bölücünün mekanizmasını daha iyi anlamak için matematiksel analiz ve saçılma matrisini [S] anlamak gereklidir [59, 60].

Seri besleme ağlarında, elemanlar bir satırda yerleştirilir ve birbirine Şekil 5(a) ve 5(b)'deki dizilerdeki gibi bağlanır. Böylece güç her elemana diziden önce gelen elemanlarla transfer edilir. Bu nedenle, bu dizideki sinyal zayıflamaya maruz kalır. Elemanlar tarafından yapılan ışınma, gücün bir elemandan diğerine geçişi sırasında genlikte ve fazda bir değişiklik oluşur [21, 51]. Seri besleme anten dizisinin eşdeğer devre modeli Şekil 8'de görülmüştür. Devre, iletim hattı parçaları ile birbirine bağlanan elemanları temsil eden paralel empedanslardan oluşur. Eşdeğer devreye göre, toplam giriş empedansı, yama elemanlarından en küçüğü tarafından belirlenir. Besleme hattı karakteristik empedansı seri olarak eşleşmesi için elemanların iç giriş empedansı ile aynıdır. Böylece daha iyi VSWR özellikleri mevcut olmaktadır [21].



Şekil 8. Seri beslenen dizi eşdeğer devre

Paralel besleme ağlarında, her bir elemana bağlı genlik ve faz eşittir. Ayrıca her bir elemanın genliği ve fazı nispeten kolaylıkla kontrol edilebilmektedir. Tarama, çok ışınlı ve şekilli ışın antenlerinin tasarlanabilmesini sağlamaktadır. Bu tipte de, empedans uydurması daha kolay, ancak çok sayıda olması nedeniyle yüksek seviyesinde yan loblardan muzdarip olan iletim hatları ve bağlantıları söz konusudur [21, 51]. Besleme ağı, aşağıdakilerden oluşacak şekilde tasarlanmış ise belli durumlar söz konusu olur: seri besleme parçası ve paralel besleme parçası. Daha sonra her iki türün avantajları elde edilebilir ve karışık besleme ağları olarak bilinen dezavantajlar ortadan kaldırılır. Ayrıca, iletim hatlarının neden olacağı istenmeyen ışınma, ana lobun açısını değiştirmenin yanı sıra yan lobların seviyesini artırarak antenin ışınma paternini etkileyecektir. Ancak iyi bir besleme ağı tasarlanması durumunda daha iyi bir kazanç ve yöneltim elde edilmesi sağlanmaktadır [21, 58].

1.3.4. Yan Lob Seviyesi (SLL) Azaltma

Ortaya çıkan en önemli problemlerden biri, anten dizilerinde karşılıklı kuplaj etkisinin genellikle ışınma paterninde ana lobun yanında ve diğer yönlerde yan lobların oluşmasıdır [21, 63]. Bu loblar iletilen sinyalin gücünü zayıflatır ve ana lobla alıcıda parazit oluşturur. Bu nedenle, antenin ışınma paterninin yan loblarının en düşük seviyede olması gerekmektedir [7, 21]. Yan lobları baskılamak anten tasarımcıları açısından uzun zamandan beri önemli bir zorluk olmuştur. Bununla birlikte araştırmacılar, her zaman ışınma yan loblarını mümkün olan en düşük seviyeye indiren yeni algoritmalar bulmakla ilgilenmektedir. Bu alanda binlerce farklı araştırma ve fikir yayınlanmıştır [64]. [27] 'ye göre, yan lobların ortaya çıkmasının nedeni keskin kenarlar veya verilerin süreksizlikleridir. Başka bir deyişle, sinyal gücü bazı

açılardan sifira ulaştığında, veri radyasyonunun kesilmesi ve radyasyon özelliğinde bir ayrılma meydana gelmektedir. Bu durum bir sonraki radyasyonun lobunun öncekinden ayrılmasına ve gecikmesine ve yeni bir radyasyonun ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Yan lob, farklı bir açıya, farklı bir yöne ve ana lobdan daha zayıf bir kuvvete sahiptir [7, 27]. Bu lobların üretilmesinin fiziksel nedenleri ise yamalar arasında karşılıklı kuplaj, besleme ağından istenmeyen radyasyon ve yüzey dalgasının etkisidir [29]. Yan lobların matematiksel analizi [27] 'de açıklanmıştır. Yan lob seviyesinin değeri, ister daha düşük yan lob seviyesine sahip olan seri, ister paralel beslemeli olsun, dizi besleme türüne göre değişmektedir. Ayrıca yan lob seviyesinin gerekli değeri, çalışacak uygulamaya göre, ancak -10 dB'den fazla olmamalıdır. Ayrıca elde edilen en düşük seviye -25 dB olmaktadır [65, 66]. Seviyeyi azaltmak için kullanılan geleneksel yöntemlere ek olarak yan loblardan, birçok farklı fikir, istenen hedefe göre en az seviyeye ulaşmak için ortaya atılmıştır. Yan lob seviyelerini azaltmanın en basit fikri, tek tek yamaların genliğini ve güç uyarımını, dizinin merkezine olan mesafeyle orantılı olarak azaltmaktır. Bunu başarmak için, yayılan yamalarının boyutları, ana loba doğru yöneltilmeli ve diğer loblarda azaltılmalıdır. Ek olarak, besleme ağındaki hatlar kontrol edilmelidir. En çok kullanılan ve özellikle radar sistemlerinde yama boyutlarını belirlemek için matematiksel yöntemler olarak Binomial, Dolph-Chebyshev ve Taylor dağılımları vardır [7, 21, 27, 29]. Matematiksel yöntemlere ek olarak, yan loblar da geometrik tasarım tarafından bastırılabilir. Dizideki yamaların yerleştirilmesi, radyasyon paterninin şeklini etkileyecektir ve böylece radyasyon, dizinin elemanlarının antene özel olarak yerleştirilmesiyle yönlendirilebilir hale gelecektir [7, 67]. Yan loba neden olan yüzey dalgalarını bastırmak için çeşitli yöntemler de vardır. Örneğin, belirli dalgaların çalışmasına izin veren Elektromanyetik bant boşluğu (EBG) yapılarının kullanılması vb. Loblar yüzey dalgalarını bastırarak yayılır, yamanın üzerine ek bir yalıtkan katman yerleştirir, düşük etkin dielektrik sabiti gerçekleştirmek için yamanın altında bir hava boşluğunun delinmesi ile dielektrik sabiti ve yüzey dalgaları azalır [68, 69]. Aşağıda, üç dağılım açıklaması yapılar, yan lobun seviyesini azaltmak için kullanılan Binomial, Dolph-Chebyshev ve Taylor anten dizisi matematiksel olarak açıklanacaktır.

1.3.4.1. Binomial Dağılımı

Binomial Dağılımı Teorik olarak, ışıma gücü merkezinde maksimum olacaktır. Merkezden uzaklaşarak radyasyon yoğunluğu azalacaktır. Daha açık bir ifadeyle anten

elemanın genliği, dizinin ortasındaki elemanlarda maksimum iken dizinin uçlarında minimum olarak tasarlanır. Böylece, yayılan yamaların boyutlarını hesaplamak için, önce genlik hesaplanmalı veya her yamanın ağırlığı bilinmelidir. Bir sonraki adım ise oran ağırlıkları dizisini hesaplamaktır. Daha sonra, bu oranları kullanarak ve merkezi yamanın boyutlarına bağlı olarak, elemanların genişliği hesaplanır. Son olarak, eleman uzunlukları önceden hesaplanmış genişlikler ve antenin frekansı ile orantılı olarak hesaplanmıştır [70, 71]. Bu yöntem için N elemanlarının dizi faktörü denklem (1.47) gibi yazılabilmektedir.

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn\psi} \quad (1.47)$$

$$\psi = Kd \cos(\theta) + \beta \quad (1.48)$$

Burada N : eleman sayısı, d : elemanlar arasındaki mesafe, K : dalga sayısı, θ : dizi eksenini ve alan noktasının yönü arasındaki açı ve A_n : akım genliğidir. $Z = e^{j\psi}$ olmak üzere dizi faktörü denklem (1.49) olarak yeniden yazılabilmektedir.

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn\psi} = \sum_{n=0}^{N-1} A_n Z^n \quad (1.49)$$

Bu denklemi çözerek, radyasyon elemanlarının ağırlıkları, daha sonra yama boyutları Binomial dağılımına göre elde edilebilir [70, 71]. Sonra dizi faktörü denklem (1.50) olarak yazılabilir.

$$AF = (1 + Z)^{N-1} \quad (1.50)$$

1.3.4.2. Dolph-Chebyshev Dağılımı

Dolph-Chebyshev yöntemi, 1946 yılında istenilen yan lob seviyelerine ve HPBW'lere sahip anten dizilerini tasarlamak için Dolph tarafından önerilmiştir [26]. Bu yöntem, dizinin deseninin denklem (1.51) olarak tanımlanan m düzeninin bir Chebyshev polinomu ile yaklaşmasına dayanır. Bu polinomların hepsi $[-1, 1]$ aralığında eşit tepe büyüklüğüne sahiptir. Diziyi tasarlamak ve elemanların katsayılarını belirlemek için dizi faktörü, çift sayılı eleman dizileri için denklem (1.52) ve tek sayılı eleman dizileri için denklem (1.53) olarak yeniden yazılır. Her $\cos(mu)$ 'yı $\cos(u)$ ve $\cos(u) = \frac{t}{t_0}$ güç serileri ile değiştirerek genişletilebilir. t_0 terimi, denklem (1.54) 'de gösterildiği gibi hesaplanır. S istenen yan lob

seviyesi ve N dizi elemanı numarası. AF 'yi $T_{N-1}(z)$ ile eşitledikten sonra, her bir eleman için katsayılar matematiksel olarak belirlenebilir [27, 72, 73].

$$T_m(z) = 2zT_{m-1}(z) - T_{m-2}(z), m = 2, 3, \dots \dots \quad (1.51)$$

$$(AF)_{2M} = \sum_{n=1}^M a_n \cos[(2n - 1)u] \quad (1.52)$$

$$(AF)_{2M+1} = \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos[(2n - 1)u] \quad (1.53)$$

$$\text{Burada } u = \frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta$$

$$t_0 = \cosh \left[\frac{\cosh^{-1}(S)}{N-1} \right] \quad (1.54)$$

1.3.4.3. Taylor Dağılımı

Taylor dağılımı 1955 yılında [74] parametrelili sayıda yakın yan lob seviyesine bağlı olarak Dolph-Chebyshev dağılımı, Fourier transformatöründe önerilmiştir. Ancak daha sonra daralan bir koniklik sağlamaktadır. Bu durum onu, genellikle bazı sinyal işleme çevrelerinde gerçekleştirilebilir ve kullanılır hale getirmektedir. Teorik olarak, yan lob seviyesi -50 dB'e kadar bir azalma sağlar. Taylor radyasyon modelinde sadece ilk yan loblar \bar{n} yaklaşık olarak eşittir ve uzak dış loblar $\sin(X)/X$ tir [27, 75]. İstenen yan lob seviyesi dB cinsinden S 'tir. Ana lob ile yan lob arasındaki mesafe \bar{n} bağlı olarak, normalleştirilmiş dizi faktörü denklem (1.55) olarak yazılıp katsayılar hesaplanmaktadır, burada $1 \leq m \leq (\bar{n} - 1)$ [27, 76].

$$F_m = \frac{-\left(\frac{(-1)^m}{2}\right) \prod_{n=1}^{(\bar{n}-1)} \left(1 - \frac{\frac{m^2}{\sigma^2}}{A^2 + \left(n - \frac{1}{2}\right)^2}\right)}{\prod_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^{(\bar{n}-1)} \left(1 - \frac{m^2}{n^2}\right)} \quad (1.55)$$

$$\sigma^2 = \frac{(\bar{n})^2}{A^2 + \left(\bar{n} - \frac{1}{2}\right)^2} \quad (1.56)$$

$$A = \frac{\text{acosh}(\eta)}{\pi} = \frac{\ln(\eta + \sqrt{\eta^2 - 1})}{\pi} \quad (1.57)$$

$$\text{Burada } \eta = 10^{-S/20}$$

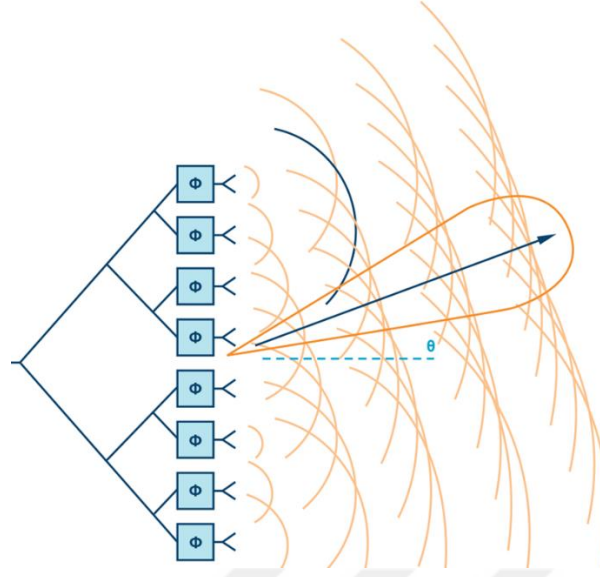
Yukarıdaki yöntemler sadece yan lob seviyesini etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda ışın verimliliği ve hüzme genişliği kullanılan yönteme ve dizi elemanları sayısına göre farklılık göstermektedir. Ayrıca, bu yöntemler her tür anten dizisi için kullanılmaktadır. Bu nedenle pratik sonuçlar, mikroşerit yama anten dizileri için teorik hesaplamalarla %100 elde edilememiştir. Önceki üç yöntem arasındaki farklar aşağıdaki şekilde özetlenebilir: Taylor dağılımı düşük yan loblar nedeniyle en iyi ışın verimliliğine sahiptir. Ayrıca, Taylor dağılımı en düşük yan lob seviyesine sahiptir ve Dolph-Chebyshev dağılımı ise en yüksek olandır. Ancak Binomial dağılımı eleman sayısı arttıkça, yan lobların seviyesi azalır. Dolph-Chebyshev yönteminde tüm yan loblar eşittir fakat Taylor yönteminde düzensiz olarak azalmaktadır. Hüzme genişliği, bulunduğu eleman sayısı ile orantılıdır. Eşit sayıda eleman için Taylor yöntemi en dar hüzme genişliğine sahip olup Dolph-Chebyshev yönteminde hüzme genişliği en geniştir [76].

1.3.5. Fazlı Dizi Antenler ve Hüzmeleme

Çoğu uygulama, özellikle radar sistemleri, antenin maksimum radyasyonu için belirli bir açı gerektirir. Buradan fazlı dizi fikir ortaya çıkmıştır. Dizinin maksimum ışınması belirli bir açıda yönlendirilir. Dizinin her bir elemanı farklı sinyalin fazı ile beslenir. Bu sebeple, tüm elemanlardan istenen açıda ışınma üst üste biner ve diğer açılarda bastırılır. Işınma paterninin ana lobu için bu yönlendirme, Şekil 9'da gösterildiği gibi hüzmeleme olarak bilinir [21, 77, 78]. Faz ayarlaması denklem (1.58) gibi gerçekleşmektedir [21].

$$\psi = kdcos\theta + \beta_{\theta=\theta_0} = kdcos\theta_0 + \beta = 0 \Rightarrow \beta = -kdcos\theta_0 \quad (1.58)$$

Analog, elektronik ve optik teknolojiler, anten dizilerinin kontrolüne uygulanabilir. Sistem gereksinimlerine ve fiziksel kısıtlamalara bağlı olarak kullanılacak teknik seçilmektedir [56, 77]. Mikroşerit antenler için mikrodalga devreleri çok uygundur, çünkü aynı alıtış üzerinde basılır. Mikrodalga faz kaydırıcı devreleri bir iletim hatları ağı olup her eleman fazı için gerekli kaydırmayı sağlamak üzere farklı boyutlarda hatlardan oluşur [77, 78]. Butler matrisi, sabit faz kaydırıcılar, crossover'lar ve 90° hibrit köplür oluşmuştur [78, 79].



Şekil 9. Fazlı dizi ve hüzmleme diyagramı

Elektronik kontrol, anten dizisine bir veya daha fazla elektronik parça eklenerek gerçekleştirilmektedir. Elemanlar arasında faz kaydırmasına sebep olmaktadır. Faz kontrolü için ilk parçalar, elektronik olarak dalga kılavuzu ferrit faz kaydırıcılarıdır. Ancak PIN diyot anahtarları, transistor devreleri, mikro elektromekanik sistemler (MEMS) anahtarları daha etkili kullanılmaktadır. Ka bandı frekansları için PIN diyot faz kaydırıcılar ucuz fiyatı ve anten dizisi ile birleştirilmesi nedeniyle en etkili yöntem olarak kabul edilir [21, 77].

Fazlı dizi antenler, tarama mikroşerit anten tasarımının temel taşı olarak kabul edilir. Belirli bölgelere yönlendirilmiş ışına hüzmeleri göndererek, belirli bir hassasiyet ile gerekli tüm bölgeyi kaplamak için tarama antenler kullanılmaktadır.

1.4. Yeniden Yapılandırılabilir Mikroşerit Yama Anten Dizileri

1.4.1. Yeniden Yapılandırılabilir Antenlerin Tanıtımı ve Temel Prensipleri

Birden fazla kablosuz standardı kullanmak yerine, birden fazla kablosuz standardı destekler bir cihaz veya bir iletişim sistemi için antenler geliştirilmelidir. Bu ihtiyaçları karşılamak için farklı teknolojiler üzerinde çalışabilen antenlere yeniden yapılandırılabilir antenler denir. Kısacası, tüm özellikleri tek bir antende olan çoklu antenler olarak yeniden yapılandırılabilir antenler söz konusudur. Teknik olarak, yeniden yapılandırılabilir antenler parametrelerinden bir veya daha fazlasını gerektiği gibi değiştirebilmektedir [80, 81, 82].

Buna göre, yeniden yapılandırılabilir anten türleri; ışınma paterni, birden fazla ışınma paterni olan ve birçok yön ile sahip yeniden yapılandırılabilir antenler; frekans, yeniden yapılandırılabilir antenler aynı anda iki veya daha fazla frekans bantta çalışabilen antenler; polarizasyon, farklı açılarda veya farklı polarizasyonlarda aynı polarizasyona sahip olabilen antenler ile yukarıdaki özelliklerin ikisine ve her birine sahip bileşik yeniden yapılandırılabilir antenler olarak dört kategoriye ayrılır. Bu konular sonraki bölümlerde daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır [80, 83]. Önceki özellikleri elde etmek için modüler anten tasarımında bir değişiklik ile antene, ek elemanlar eklenir. Bunun için birçok teknoloji kullanılmaktadır. Buna ek olarak, araştırmalar yeniden yapılandırılabilir antenlere ve ilgili teknolojilere büyük ilgi göstererek giderek artmaktadır. Böylece antenler, tasarımında kullanılan tekniğe göre; elektronik veya elektriksel yeniden yapılandırma, optik yeniden yapılandırma, fiziksel veya mekanik yeniden yapılandırma ve akıllı malzemelerle yeniden yapılandırılabilir antenler olarak dört kategoriye ayrılabilir. Her biri sonraki bölümlerde ayrı ayrı açıklanacaktır. Genel olarak, önceki tekniklerin çoğunda kullanılan parçalar anahtarlardır, ancak türleri önceki kategorilere, anten tipine, üzerinde çalışacak uygulamaya ve fiziksel hususlara göre değişmektedir [80, 84].

Yeniden yapılandırılabilir antenler ile elde edilen avantajlardan bazıları aşağıdaki gibidir [80, 85, 86]:

- Yeniden yapılandırılabilir antenler birden fazla kablosuz standardını destekleyebilir ve birden fazla antenle aynı performans gösterebilir.
- Üzerinde çalışan farklı kablosuz standartlar arasında iyi izolasyon sağlayabilir.
- Yeniden yapılandırmada kullanılan anahtarların düşük maliyeti diğerlerine göre özellikle antenin sağlayacağı işlevler ve özellikler ile karşılaştırıldığında, daha düşüktür. Ancak maliyetin kullanılan elemanların sayısına ve tükettiği enerjiye bağlı olduğu dikkate alınmalıdır.
- Yeniden yapılandırmada kullanılan anahtarların düşük ağırlığı mikrodalga devreler veya diyotlar gibidir.
- Yeniden yapılandırma için kullanılan anahtarlar, anten yapısı ile kolayca entegre edilebilmektedir.
- Görev değişikliklerine göre işlevselliği değişmekte, tek bir eleman veya dizi olarak çalışmakta ve gereksinimlere göre dar bant veya geniş bant sağlamaktadır.
- Yeni çevreye uyum sağlayabilen yazılım tanımlı radyolar için en iyi adaydır.

Ek olarak, aşağıdaki gibi yeniden yapılandırılabilir antenlerin dezavantajları da bulunmaktadır [84, 86]:

- Yeniden yapılandırma elemanları çalıştırmak için ek güç gerekmektedir.
- Bazı durumlarda yeniden yapılandırma elemanlarının yaşı daha kısadır.
- Elemanların hasar görme olasılığı vardır. Dolayısıyla anten tamamen hasar görmüş ve özellikle bu elemanlar anten yapısına entegre edilmiştir.
- Zaman içinde düşük performans, elemanların tepkisinde gecikmeye yol açar.
- Bazı yeniden yapılandırma elemanlarının bant genişliği sınırlıdır.

1.4.2. Yeniden Yapılandırılabilir Anten Uygulamaları

Önceki bölümde belirtilen avantajları nedeniyle yeniden yapılandırılabilir antenler birçok uygulamada arzu edilir hale getirmiştir. Her bir uygulamaya göre dezavantajlarını azaltmak için sürekli yeni tasarımlar sunulmaktadır. Yeniden yapılandırılabilir antenler aşağıdaki uygulamalar için kullanılmaktadır:

- Radar sistemleri, uygulama çeşitliliği nedeniyle tüm yeniden yapılandırılabilir anten türlerini ve tüm yeniden yapılandırmaları tekniklerini kullanmaktadır. Otomotiv radar sistemleri için, gerekli tarama için, ışınma paterni ve polarizasyon yeniden yapılandırılabilir antenler kullanılmaktadır. Gerekli bölgeyi yüksek yönlülükle tarar ve radarı çevreleyen nesnelerin açılarını ve mesafelerini belirleme doğruluğunu artırır. Otomotiv radar uygulama antenlerinin yeniden yapılandırılması için MEMS, PIN diyot tercih edilmektedir [19].
- Bilişsel Radyo Sistemleri frekansı için yeniden yapılandırılabilir anten en iyisidir. Çünkü anten kazanç değerini ve radyasyon özelliklerini kaybetmeden frekansı ayarlayabilmektedir. Burada yeniden yapılandırma tekniklerinin çoğu kullanır ancak optik yeniden yapılandırma tercih edilir [84, 85, 87].
- Çok Girişli Çok Çıkışlı (MIMO) kablosuz iletişim sistemleri ışınma paterni ve polarizasyon yeniden yapılandırılabilir antenleri kullanır. Kanal güvenilirliğini artıran kapasite ve sistem performansının değeri, bit hata oranını (BER) azaltır ve son kullanıcılar arasında güvenilir bir iletişim sağlar. MEMS tekniği, PIN diyot anahtarları ve varaktör diyotları ile MIMO sistemleri için kullanılır ancak son ikisi için daha çok tercih edilmektedir [83, 85, 88].

- Uydu iletişim sistemlerinde, farklı bölgelere güçlü ve yönlü hüzmeler göndererek uydunun gerekli alanını kaplamak için ışıma paterni yeniden yapılandırılabilir antenler kullanılmaktadır. Uydu uygulamaları için sıklıkla kullanılan teknik MEMS'dir [84, 85].
- Genellikle polarizasyon uyumsuzluğundan kaçınmak için, biyomedikal uygulamalar, vücut merkezli kablosuz iletişim sisteminde (BWCS) polarizasyon yeniden yapılandırılabilir antenleri kullanmaktadır. Antenler, 0° , $\pm 45^{\circ}$ ve 90° olan dört polarizasyon modları arasında anahtarlama yapmak için PIN diyotları ile donatılmıştır [85].

Ayrıca, yeniden yapılandırılabilir antenler genellikle parazit reddi, kablosuz ağ güvenliği ve birçok sivil ve askeri uygulamada kullanılır [87].

1.4.3. Yeniden Yapılandırılabilir Anten Türleri

1.4.3.1. Işıma Paterni Yeniden Yapılandırılabilir Antenler

Yeniden yapılandırılabilen bir ışıma paterni elde etmek için anten anahtarlarla entegre edilmektedir. Bir mikroişlemci devre durumu kontrol ederek açık ve kapalı arasında anahtarlama yapmakta, belirli elemanları etkinleştirmekte veya devre dışı bırakmaktadır. Böylece ışıma paterni değiştirilmektedir. Anten elemanları arasındaki akımların faz farklılıkları, farklı ana ışın yönlerine yol açar. Bu teknoloji, radar uygulamalar, uydu sistemleri ve daha önce bahsedildiği gibi 5G gibi modern mobil sistemlerin ışıma paterni taranması gereken uygulamalarda kullanılmaktadır. Genellikle fazlı diziler bu antenlerin tasarımında hüzmelenmek ve yöneltimi arttırmak için sıklıkla kullanılır. Bu antenler fazlı dizilerden daha iyidir. Çünkü fazlı diziler yalnızca 0° ila 180° arasında tarama yapabilir. Ama bu antenler 0 ila 360° tüm aralığı tarama yapabilmektedir [83, 89]. Tasarımlar, antenin tasarlandığı uygulamalara ve antenden elde edilecek teknik özelliklere bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterir. Azimut düzleminde 8 tane ışıma paterni ile 360° üzerinde hüzmeye yönlendirmesini sağlayabilen dört elemanlı bir L-şekilli anten dizisi [90] 'de önerilmiştir. Anten dört adet BAR64-02v PIN diyotu kullanarak 2.4 dBi civarında bir kazanç elde etmektedir. Ayrıca, uzun hüzmeyi dörtten fazla değiştirmek için, dikdörtgen tek kollu spiral anten yapısı [91] 'de tasarlanmıştır. Dört adet PIN diyot kullanarak, spiralın uzunluğunu

değiştirerek, E ve H düzlemlerinde $\pm 45^\circ$ ve $\pm 65^\circ$ yönleri antenlerin kazanımları olan farklı modlar için 4.58, 3.2, 2.71 ve 1.11 dBi'dir. Buna ek olarak, hüzmek için paralel beslemeli 4-elemanlı fazlı dizi [89] 'de önerilmiştir. Burada MA4FCP300 PIN diyotları kullanarak, antenin -15° , 0° , $+15^\circ$ üç durumu elde edilmesi gözlenmiştir. Otomotiv radar sistemleri için 5x16 Rotman lens fazlı dizisi ile ışınma paterni yeniden yapılandırılabilir anten [19] 'da önerilmektedir. Anten tüm radar bölgeleri için 0° ile 10° arasındaki aralığı taramaktadır. İlk anahtar grubu kapalı olduğunda, dizi sütunlarının sayısı MRR radarı için 8 olur. İkinci grup ayrıca kapalı, dizi sütunlarının sayısı SRR radarı için 1 olur. Kullanılan anahtar dizinin sütun sayısını kontrol etmek için MEMS SPST RF anahtarlarıdır. Elde edilen kazançlar anten SRR için 8.8 dBi, MRR için 12 dBi ve LRR için 20.5 dBi'dir.

1.4.3.2. Frekans Yeniden Yapılandırılabilir Antenler

Telefonlar, dizüstü bilgisayarlar ve televizyonlar gibi modern kablosuz cihazların aynı anda WLAN, WiMAX, Bluetooth, 3G ve 4G gibi birden fazla kablosuz iletişim sistemleri üzerinde çalışması gerekmektedir. Bu nedenle, bu cihazların antenleri aynı anda birden fazla frekans bandında çalışmalıdır. Dolayısıyla, bu tür cihazlar için yeniden yapılandırılabilir antenler en iyi çözümdür. Çünkü frekans yeniden yapılandırılabilen anten, yakın frekanslar olabilen [93]' te gibi veya daha uzak bir bandı [94] 'te olduğu gibi çoklu bandı kapsama yeteneğine sahiptir. Geniş bant antenlerle karşılaştırıldığında, frekans yeniden yapılandırılabilir antenin bir avantajı, antenin kullanılmayan bantlarda gürültü reddi sağlayabilmesidir. Böylece ön devreler için filtre gereksinimleri azalır. Anten frekansı kablosuz sistemlere ve gerekli çalışacağı frekans bantları bağlı olarak [93] 'te olduğu gibi sürekli veya [94]' te olduğu gibi ayrı olarak değiştirilir. Bu antenleri tasarlarken göz önünde bulundurulması gereken en önemli şey, her frekans bandı için gerekli polarizasyon, ışınma paterni, kazanç ve yöneltimi korumaktır [83, 92]. Kompakt frekanslı bir mikroşerit yama anten çok standartlı kablosuz iletişim için [93] 'te önerilmiştir. Anten, 8 PIN diyot kullanarak dört adet farklı çevre elemanına bağlı merkezi bir yamadan oluşur. Diyotlar dört adet gruba ayrılmıştır. Dört adet çevresel elemanın her biri diğerlerinden bağımsız bir frekansta çalışır. Yama anteni 0.8 ila 3 GHz arasında geniş bir frekans bandında toplandığında $2^4 = 16$ farklı durum elde edilir. Quasi-Sierpinski fraktal dipollerinden oluşan frekans yeniden yapılandırılabilir anten çift bantlı yüksek empedanslı bir yüzey (HIS) ile entegrasyon [94]'de önerilmiştir. Anten, dört adet AlGaAs flip-chip PIN diyot anahtarı durumlarını değiştirerek

üç ayrı frekansta 9,3 GHz, 14,2 GHz ve 29 GHz, yani X-bandı, Ku-bandı ve Ka-bandı olmak üzere çalışmıştır.

1.4.3.3. Polarizasyon Yeniden Yapılandırılabilir Antenler

Polarizasyon yeniden yapılandırılabilir antenler dinamik kablosuz ortamlara uyum sağlama yetenekleri ve tamamen telsiz iletişim kanallarının kapasitesini nedeniyle ilgi çekmiştir. Çok yönlü yayılım ortamlarında sinyal solmasını azaltmak için çok iyi polarizasyon uydurması sağlayabilir. Polarizasyon yeniden yapılandırılabilir antende, yeniden yapılandırma sırasında dalga cephesindeki elektrik alanının yönü değiştirilmektedir. Polarizasyon yeniden yapılandırılabilir antenler doğrusal polarizasyonu farklı açılardan veya dairesel polarizasyonu hem sağ el dairesel (RHCP) hem de sol el dairesel (LHCP) tiplerini veya doğrusal ve dairesel olarak aynı anda elde edebilmektedir. Ancak bu antenlerin tasarımındaki en önemli zorluk tüm polarizasyon durumları için ışınma paterni korumaktır [83, 85, 92]. Kompakt bir U-yarık WLAN uygulamaları için polarizasyon yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama anteni [95] 'de sunulmaktadır. Anten iki tane prototip antenin aynı boyutları ile analiz edilmiştir. İlk anten prototipi, MA4AGBLP912 PIN diyot ve U yarığında bulunan 30 pF kapasite kullanarak doğrusal ve dairesel polarizasyonlar arasında anahtarlamasını sağlar. İkinci anten prototipinde, iki dairesel polarizasyon arasında anahtarlaması için iki adet MA4AGBLP912 PIN diyotu kullanılmıştır. Sonra iki anten prototipleri, istenen anteni oluşturmak için birleştirilmiştir. İzolasyonunu sağlamak için üç adet 30 pF kullanarak yama iki parçaya ayrılmıştır. Antenler, polarizasyonlarını WLAN standartlarının sadece bir frekans bandında yeniden yapılandırılabilir [95].

1.4.3.4. Bileşik Yeniden Yapılandırılabilir Antenler

Daha önce bahsedilen tüm yeniden yapılandırılabilir anten türleri, antenin yalnızca bir parametresini yeniden yapılandırılabilir. Ancak kablosuz uygulamalar, iletişim sistemi üzerinde çalışacak standardını karşılamak için birden fazla parametresi değiştirilmiş yeniden yapılandırılabilir antenler gerekmektedir. Amaç ve zorluk; çalışma frekansını, polarizasyonunu ve ışınma paterni aynı anda değiştiren yeniden yapılandırılabilir bir anten tasarlamaktır. Ancak, bir antenin frekans yanıtı ve radyasyon özellikleri arasındaki güçlü

bağlantı; çalışma frekansını, polarizasyonu ve ışınım paterni bağımsız olarak kontrol etmeyi çok zor hale getirir. Bu nedenle, bir antenin tamamen yeniden yapılandırılmasını sağlamak için yeni etkili teknikler bulunarak antenin özellikleri arasında bağlantıyı koparması gerekmektedir [83, 92, 96]. [96]'da hem frekans hem de polarizasyon yeniden yapılandırılabilir anten, diyagonal hat boyunca yerleştirilmiş tek bir prob beslemesine sahip kare bir mikroşerit yamadan tasarlanmıştır. Yamanın her bir kenarın merkezi, polarizasyonu anahtarlama için bir MA4PBL027 PIN diyotu ve frekansı ayarlaması için iki adet MGV 125-20-0805 varaktör diyot aracılığıyla bir kısa devre direğine bağlanır. Anahtarlama yapılarak PIN diyotlarının farklı durumları arasında, anten, yatay, dikey veya 45° doğrusal polarizasyonlarla ışınım paterni üretebilmektedir. DC gerilimi değiştirerek antenin çalışma frekansı, her bir polarizasyon için bağımsız olarak ayarlanabilir. Yatay veya dikey polarizasyon için 1.35 ila 2.25 GHz ve 45° doğrusal polarizasyon için 1.35 ila 1.9 GHz çalışılmıştır.

1.4.4. Yeniden Yapılandırma Teknikleri

1.4.4.1. Elektronik Yeniden Yapılandırma Tekniği

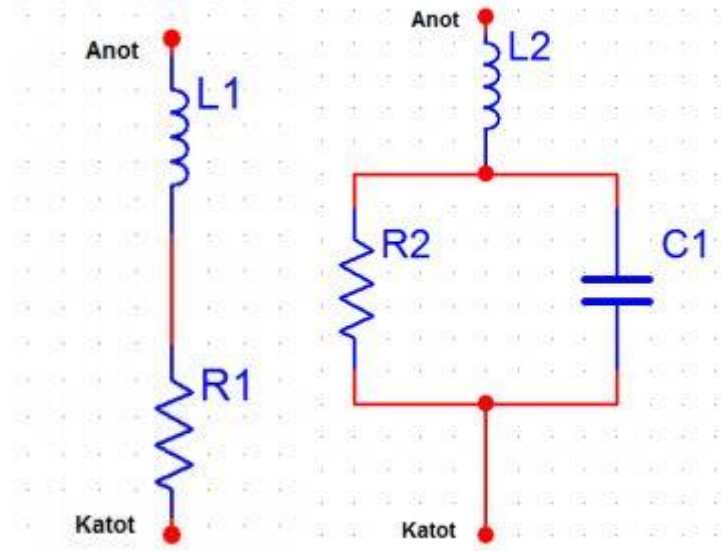
Elektronik yeniden yapılandırma teknolojisi PIN diyotları, varaktör diyotları veya RF-MEMS gibi elektronik anahtarları kullanarak anten performansını değiştirmektedir. Bu anahtarlar, anten yapısı ile kolayca üretilip entegre edilebilmesi, çok güvenilir ve genellikle düşük maliyetli olması gibi birçok avantajlara sahiptir. Ayrıca mekanizması ayrıktır ve sürekli ayarlama yöntemleri kullanır [84, 85]. Bunlar, mikroşerit yeniden yapılandırılabilir antenler için iyi bir seçimdir. Ancak, bu elektronik cihazları anten devresinde çalıştırmak için doğru akım (DC) kaynağı ve öngerilimleme devrelerine ihtiyaç vardır. Bu sebeple anten boyutlarını artıran ve istenmeyen ışınım yayılabilir. Bu nedenle antenin çalışması ve performansı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu düşünülebilir. Ek olarak, yüksek bir ayarlama hızına ve yüksek bir güç taşıma kapasitesine ihtiyaç duyar [84, 85]. Her bir anahtarın avantaj ve dezavantajlarının ayrıntıları Tablo 2'de listelenmiştir.

Hangi anahtarın kullanılacağını seçerken dikkate alınması gereken bazı parametreler [87]:

- Karakteristik empedans: sinyallerin bir anahtara nasıl iletildiğini veya yansıtıldığını belirleyen faktördür.
- Bant genişliği: anahtarın içindeki özellikleri elde edebileceği frekans bandıdır.

- Yerleştirme kaybı: anahtar açıkken ve kapalıyken belirli bir frekans aralığında sinyal üzerinde anahtar tarafından üretilen güç kaybıdır. Bu kayıp, giriş ve çıkış gücü arasındaki orandır.
- Anahtarlama hızı: açma-kapama durumundan anahtarlama için gereken süredir.
- Beklenen kullanım ömrü: hata oluşmadan önce anahtarlama tahmini sayısıdır.
- Güç kullanımı: anahtarları çalıştırmak için gereken güç miktarıdır.

PIN diyot, içsel bir tabaka ile ayrılmış bir p ve n katmanlarından oluşan bir yarı iletken cihazdır. Bununla birlikte, iç tabaka nedeniyle, PIN diyonu RF sinyali için akım kontrollü bir doğrusal direnç olarak çalışabilir. Açık modda, uygulanan bir voltaj vardır. Devre kapalı durumda iken, anahtarın düşük empedans hattı ve gerekli bir yoldaki akım akışı antenin ışımaya özelliklerini değiştirmektedir. Kapalı modda, uygulanan voltaj yoktur ve devre açık durumunda iken, anahtarın büyük empedansı vardır ve akım akışı yoktur [86, 87]. Elektriksel parametreler diyot eşdeğeri devresinin Açık ve Kapalı durumları Şekil 10'da gösterilmiştir [56]. Ayrıca yeniden yapılandırılabilir mikroşerit antenler ve 100 GHz'e kadar yüksek frekanslar için ortak bir seçenek olarak kabul edilir. Çünkü boyutları milimetre sırasında ve anten yapısına kolayca entegre edilebilir [56].



Şekil 10. PIN diyot anahtarı için eşdeğer elektrik devresi açık ve kapalı devreler içinde ileri ve ters öngerilimleme [56].

Varaktör diyotlarının kapasitesi, varaktörün voltaj seviyelerini değiştirerek değişir. Böylece, anten performansını ayarlanmaktadır [84, 86, 88]. Ayrıca varaktör diyot geniş bir

ayar yeteneği sunmaktadır. Karşılık gelen varaktörün değişken kapasitenin entegrasyonuna dayanmaktadır [88].

Mikro-Elektromekanik sistem MEMS, silikon gibi bir alttaş üzerinde bulunan küçük mekanik anahtarlardan oluşmaktadır. RF devrelerinde kısa veya açık durumlar elde etmek için mekanik hareket kullanılarak çalışmaktadır. Mekanik hareket için gerekli kuvvet manyetostatik ve elektrostatik gibi farklı mekanizmalara elde edilebilir. Elektrostatik mekanizma, basitliği, kompaktlığı ve düşük güç tüketimi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. MEMS anahtarları, sinyal yolu seri veya paralel, çalıştırma mekanizması elektrostatik, termal veya manyetostatik, temas türü ohm veya kapasite ve konsol veya köprü yapı türüne bağlı olarak farklı tasarımlar olabilmektedir [82, 84, 86, 87, 88].

Tablo 2. PIN diyotlarının, varaktör diyotlarının ve RF-MEMS anahtarlarının avantajları ve dezavantajları [82, 84, 86, 88].

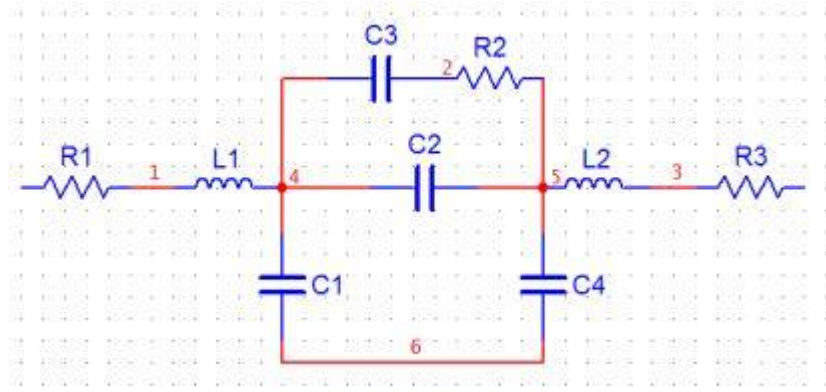
	Avantajları	Dezavantajları
PIN diyotlar	<ul style="list-style-type: none"> • Çok güvenilir • Son derece düşük maliyet • Çok düşük sürüş gerilimi • Yüksek ayar hızı (1-100 ns) • Yüksek güç taşıma yeteneği 	<ul style="list-style-type: none"> • Açık durumda yüksek DC sapma • Yüksek güç taşıma kapasitesi
Varaktör diyotlar	<ul style="list-style-type: none"> • Küçük akım akışı • Sürekli ayar • Entegrasyon kolaylığı 	<ul style="list-style-type: none"> • Doğrusal değil • Düşük dinamik aralık • Karmaşık öngerilimleme devresi
RF-MEMS	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek izolasyon ve doğrusallık • Geniş empedans bant genişliği • Düşük güç kaybı • Düşük gürültü seviyesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek kontrol gerilimi • Yavaş anahtarlama hızı (1-200μs) • Doğrusal değil • Düşük kalite faktörü • Ayrık ayar

Tablo 3. PIN diyotlarının ve RF-MEMS anahtarlarının bazı teknik özelliklerinin karşılaştırılması [82].

	PIN diyotlar	RF-MEMS
Gerilim [V]	3 – 5	20 – 100
Akım [mA]	1 – 20	0
Güç tüketimi [mW]	5 – 100	0.05 – 0.1
Güç kullanımı [W]	<10	<0.5
Anahtarlama süresi [nSec]	1 – 100	1000 – 200000
Kayıbı [dB]	0.3 – 1.2	0.05 – 0.2

1.4.4.2. Optik Yeniden Yapılandırma Tekniği

Optik yeniden yapılandırma tekniği fotokondüktif anahtarları, silikon veya galyum arsenit olabilen yarı iletken malzemeyi aktif hale getirmek için kullanılmaktadır. Uygun dalga boyuna sahip ışık malzemeye ulaştığında, foton parçacıklarının elektron-delik çiftleri oluşur ve dolayısıyla yarı iletken malzemenin iletkenliği artar [56, 84, 85, 88]. Işık, silikon gibi yarı iletken bir malzeme üzerinde olduğunda malzemedeki yüklerin hareketliliği azalır ve yoğunlukları artar. Işık hızı, Planck sabiti ve ışık dalga boyuna bağlı olarak ışık altındaki malzemenin elektrik iletkenliğini arttırmakta ve optik bir anahtar oluşmaktadır [65, 85]. Optik silikon anahtarın eşdeğer elektrik devresi Şekil 7'deki gibi verilmiştir [56]. Optik anahtarların kullanılması, diğer teknolojiler için gerekli olan metalik iletim kablolarına ihtiyaç duyulmama avantajını sunar. Bu kablolar nedeniyle tasarım karmaşıklığına ek olarak, kendi ışması yüzünden antenin ışma paterni bozulabilmektedir. Ayrıca optik anahtar, kontrol eden optik sinyali kontrollü mikrodalga sinyalinden izole eder [56, 84, 85]. Üstelik nano saniye cinsinden son derece yüksek anahtarlama hızına sahiptir [84]. Optik anahtarlar, frekans, polarizasyon, hüme genişliği ve ışma paterni yeniden yapılandırmak için önceki bölümde bahsedilen her türlü yeniden yapılandırılabilir antende kullanılabilinmektedir [84, 85].



Şekil 11. Optik silikon anahtar için eşdeğer elektrik devresi [56].

Ancak optik anahtarların ana dezavantajları karmaşık aktivasyon mekanizması, anten yapısı ile entegrasyon zorluğu ve yüksek güç gereksinimidir [85, 88].

1.4.4.3. Mekanik Yeniden Yapılandırma Tekniği

Mekanik yeniden yapılandırma tekniğinin en önemli prensibi, diğer teknolojilerden farklı olarak, yeniden yapılandırma için optik lazer diyotlarına, öngerilimleme hatlarını veya hatta anahtarlama cihazlarına herhangi bir ihtiyaç duymamasıdır [84, 85, 87]. Ancak, bu tür antenlerin sınırlı performans esnekliği, bileşik yeniden yapılandırılabilir özellikler sağlama zorluğu ve her türlü antende, özellikle de mikroşerit antenlerde, kullanım zorluğu dezavantajlarından bazılarıdır [84]. Arcibo küresel reflektör anteni bu teknik kullanmak için çok ünlü bir örnektir. Örneğin, bir sıvı metal kullanan fiziksel olarak yeniden yapılandırılabilir bir antenin, uyumlu empedans bant genişliğini yeniden yapılandırmak [97] 'de önerilmiştir. Ayrıca, mekanik olarak frekans yeniden yapılandırılabilir mikroşerit anten dört ile dairesel dönen bir parçadan oluşur. Tasarımın mikroşerit besleme hattına bağlanabilen farklı şekillerin rezonans frekanslarının farklı setlerini üretmek [98] 'de önerilmiştir.

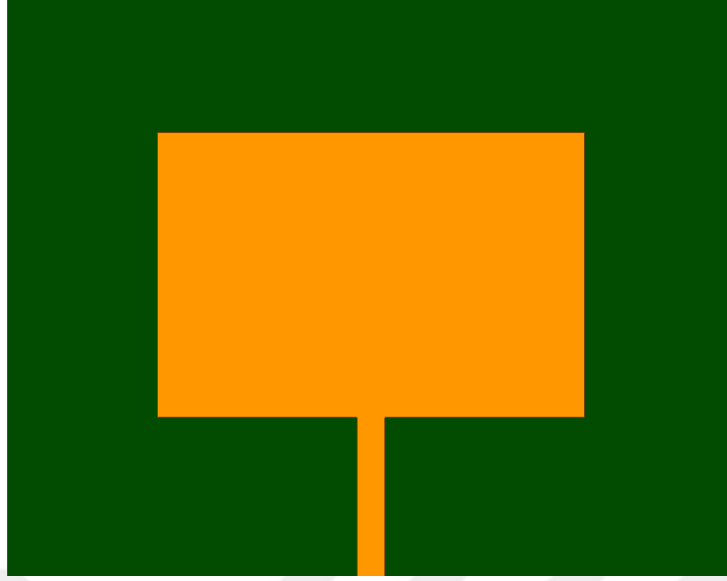
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Tek Elemanlı Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten

Dizi tasarımındaki ilk nokta, dizi anteninin referans noktası olarak tek elemanın tasarımıdır [52]. Burada yarım dalga uzunluğundaki dikdörtgen mikroşerit yama anteni dizi tasarımında tek elemanlı olarak seçilir. 3.55'e eşit dielektrik sabitine sahip olan hidrokarbonlu seramik levha Rogers RO4003C, bu çalışmada gelecek olan tüm antenlerin üstüne baskılanması gereken yalıtkan alttaş olarak seçilir. Bunun sağladığı özellikler, sert termik şok uygulamalarında ortaya çıkan mükemmel boyut, kararlılık ve güvenilirlik olarak nitelendirilmektedir. Aynı zamanda düşük kayıplı malzeme olarak kabul edilmektedir [99]. Yalıtkan alttaş kalınlık h 'si genellikle $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ aralığındadır ve burada 0.508mm 'e eşit olan standart değerlerden seçilmiştir [45, 100]. Tek dikdörtgensel elemanın tasarımı 1., 2. ve 6. bölümde bahsedildiği gibi, önemli parametreleri; yama genişliği W , yama uzunluğu L , yamadaki besleme hattı giriş mesafesi d ve g boşluk genişliğidir [21,45]. Fakat burada, giriş besleme hattı olmadan, dikdörtgen yama tasarlanmalıdır. Çünkü bu eleman dizi tasarımında kullanılacaktır. (1.31), (1.32), (1.33), (1.34), (1.35) ve (1.36) denklemleri uygulanarak, tek dikdörtgensel eleman anteninin parametreleri hesaplanabilir. Bunlar Tablo 4'te özetlenmiş ve anten yapısı Şekil 12'de gösterilmiştir. Ayrıca yama 100Ω genişliği besleme hattı ile bağlanır. Yama 50Ω kaynak ile beslenmektedir.

Tablo 4. Tek eleman dikdörtgen mikroşerit yama anten boyutları

Boyut adı ve sembolü	Boyut değeri	Boyut birimi
Dielektrik sabiti (ϵ_r)	3.55	-
Yalıtkan alttaş kalınlığı (h)	0.508	mm
Yalıtkan alttaş genişliği (Wg)	7.398	mm
Yalıtkan alttaş uzunluğu (Lg)	5.948	mm
Yama genişliği (W)	4.35	mm
Yama uzunluğu (L)	2.9	mm
Besleme hattı genişliği	0.287	mm
Besleme hattı uzunluğu	1.65	mm



Şekil 12. Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama anten

2.2. Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Düz Dizisi

1x8'lik diziyi tasarlamak için, 8 eleman ardışık ve sıralı olarak dizilir. Her elemanın arasındaki mesafe, sabittir ve yarım dalga uzunluğuna eşittir. Elemanlar arası sabit uzaklık, bütün elemanların aynı fazda ışınmasını sağlar. Şekil 13'te gösterildiği gibi, aralarındaki bağlantı 100 ohm genişliğinde hatlarla yapılmıştır. 50 ohm kaynak ve dizi arasında empedans uydurması için iki ayrı hat kullanılmıştır. Diziye bağlanmış hattın genişliği 0.8 mm ve uzunluğu 1.65 mm diziye ile bağlanmıştır. Daha sonra anten kaynağa 0.6 mm genişliği ve 1.65 mm uzunluğu bir hat ile bağlanmıştır. Bununla birlikte ışın elemanlarının ölçüleri, tek elemandan oluşan dizilerde, “özellikle, dizinin ortasında, radyasyon modelinin ana lobunu ayarlamak için bulunan parçanın uzunluğu” az oranda farklılık gösterebilmektedir. Dizinin boyutları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. 1x8 Mikroşerit yama anten düz dizisinin boyutları

Boyut adı	Boyut değeri	Boyut birimi
Yalıtkan alttaş genişliği	7.398	mm
Yalıtkan alttaş uzunluğu	53.698	mm
Anten uzunluğu	50.65	mm
Elemanlar genişliği	4.35	mm
Elemanlar uzunluğu	3	mm
Elemanlar arasındaki mesafe	3.3	mm

Tablo 5'in devamı

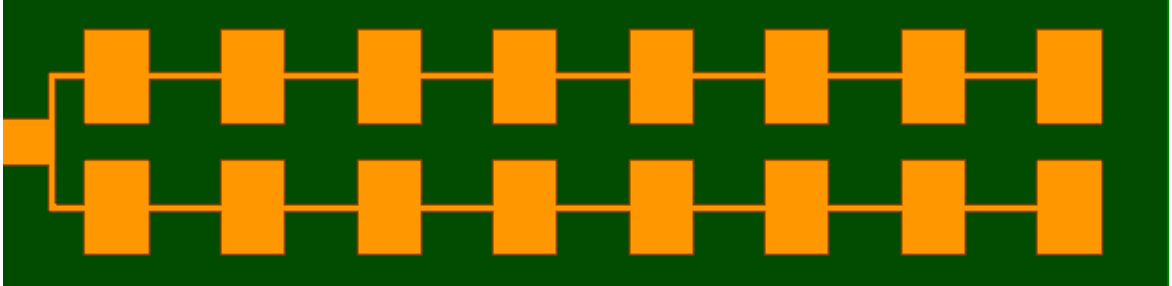
Ayrıcı hatlar genişliği	0.287	mm
Uydurma hattı genişliği	0.14	mm
Uydurma hattı uzunluğu	1.9	mm



Şekil 13. Mikroşerit yama antenin 1x8 düz dizisi

2.3. Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Düz Dizisi

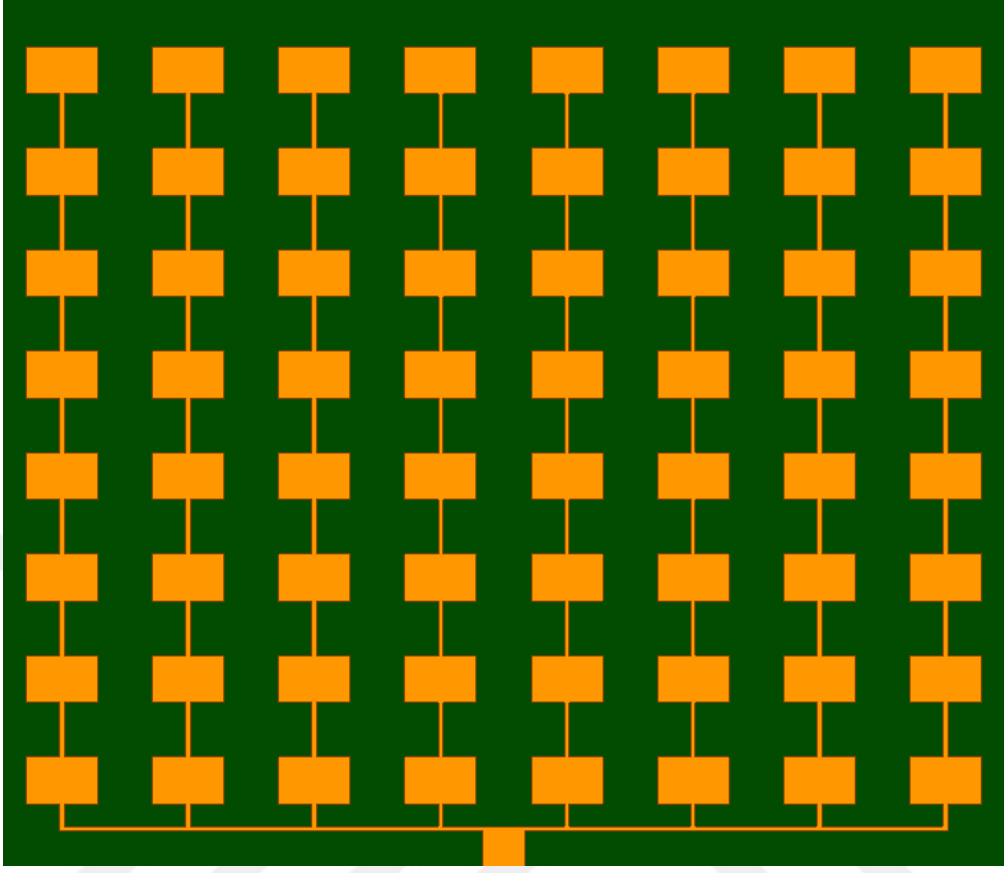
1x8 Dizisi, çeyrek dalga boyu $\lambda_g/4 = 1.65$ mm, uzaklık ile onların arasında, iki kere tekrarlanmıştır. Sonrasında, iki dizi birbirlerine 100 ohmluk hat ile bağlanmış olur. Şekil 14'te gösterildiği gibi, 2.1 mm genişliğinde, 2.3 mm ölçülerindeki uydurma hattı, kaynak ve dizinin arasında bulunmaktadır.



Şekil 14. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisi

2.4. Mikroşerit Yama Antenin 8x8 Düz Dizisi

8x8 anten dizisini tasarlamak, 1x8 dizisi, aralarındaki yarım dalga boyu $\lambda_g/2 = 3.3$ mm uzaklık ile 8 kere tekrarlanmıştır. Böylece sekiz dizi birbirlerine 100 ohmluk bağlantı hattı ile bağlanmış olur. Şekil 15'te gösterildiği gibi, 2.5 mm genişliğindeki, 2.3 mm uzunluğundaki uydurma hattı, kaynak ve dizi arasında bulunmaktadır.



Şekil 15. Mikroşerit yama antenin 8x8 düz dizisi

2.5. Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Konik Dizisi

Anten özelliklerini geliştirmek ve uyum sağlamak, hedeflerin gereklerindedir. Bunun mümkün olabilmesi için daha önce bölüm 1.3.5'te belirtilen Binomial dağılımı uygulanacaktır. Dizi yamalarının boyutlarını hesaplayabilmek için ilk olarak dizi faktörü (1.47) denkleminde hesaplanmalıdır. Daha sonra denklem (1.50) uygulanarak sekiz eleman için ağırlık dizisi hesaplanır. MATLAB programı kullanılarak $A_n = [1, 7, 21, 35, 35, 21, 7, 1]$ ağırlıklar dizisi elde edilir. Bu yamaların boyutları Tablo 5'te verilmiştir. Yamalar arasındaki boşluk sabit olup, 3.65 mm'ye eşittir. Şekil 16'daki gibi 50 ohm kaynağı ile uzunluğu 1.9 mm ve genişliği 0.287 mm olan uydurma hattı ile bağlanmıştır.

Tablo 6. 1x8 Mikroşerit yama konik antenin dizisinin ağırlıkları ve elemanların boyutları

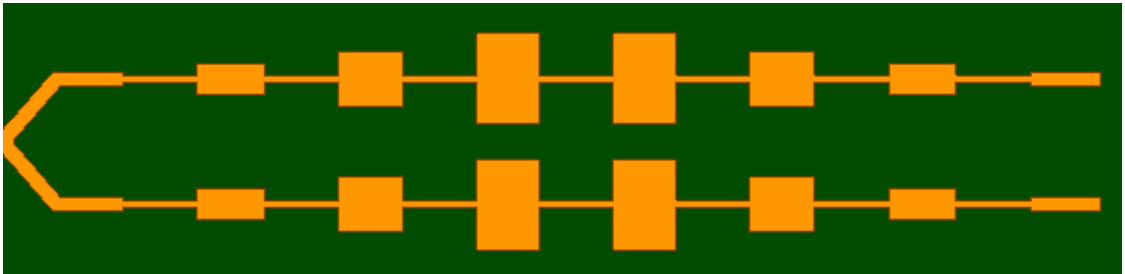
Eleman numarası	Ağırlık	Yama genişliği (mm)	Yama uzunluğu (mm)
1	1	0.609	3.4
2	7	1.47	3.25
3	21	2.61	3.1
4	35	4.35	3
5	35	4.35	3
6	21	2.61	3.1
7	7	1.47	3.25
8	1	0.609	3.4



Şekil 16. Binomial dağılımı kullanarak mikroşerit yama antenin 1x8 konik dizisi

2.6. Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Konik Dizisi

2x8'lik konik diziyi tasarlamak için, önceki konik diziyi iki katına çıkarılır, burada iki dizi arasındaki mesafe, bölüm 2.3'teki gibi, çeyrek dalga boyudur. Fakat onları birbirine bağlayan iletim hattı istenmeyen radyasyona neden olur ve yan lob seviyelerini artırır. Bu nedenle kaynağı ve her iki diziyi aynı anda ve aynı uzaklıkta bağlamak için V-şeklinde bir iletim hattı kullanılmıştır.



Şekil 17. Binomial dağılımı kullanarak mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisi

2.7. Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Düz Dizisi

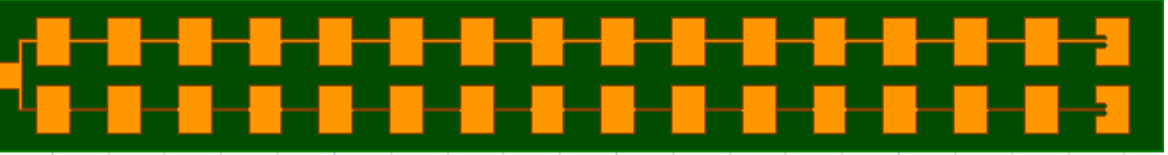
Işıma paterninin ana lobunun odağını arttırmak için dizideki elemanların sayısı artırılmıştır. Bölüm 2.2'de olduğu gibi, 16 eleman, her ikisi arasında yarım dalga boyu boşluğu olacak şekilde, tek bir satır birbiri ardına düzenlenmiştir. Antenin ve elemanın boyutları, iki katına çıkarılan anten uzunluğu haricinde Tablo 5 ile aynı olup Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 18. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisi

2.8. Mikroşerit Yama Antenin 2x16 Düz Dizisi

Bölüm 2.3'teki gibi, 1x16'lik dizisi iki katına çıkarılarak, 2x16'lik anten dizisi oluşturulmaktadır. İletim hatları ve empedans eşleme hattı, Şekil 20'deki 2x8'lik anten dizisi ile aynıdır.



Şekil 19. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisi

2.9. Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Konik Dizisi

Çok sayıda eleman ve 1x16'lık dizisinin tek elemanının küçük boyutları nedeniyle, dizinin tasarımında lineer dağılım kullanılmıştır. Bu dağılımın kullanılması, yan lobun nispeten yüksek kazanç ve yönlendirme sahip bu tip uzun seri besleme antenleri için, mümkün olan en düşük seviyeye bastırılmasını sağlamaktadır. Elemanların ışınması ve genliği, maksimum değer dizinin merkezinde olduğu yerde değişecek olup -6 dB değerine kadar doğrusal olarak kenarlara doğru azalacaktır. Elemanlar 3.65 mm uzunluğunda bir iletim hattı

ile aralıklı olup boyutları Tablo 7'deki gibidir. Dizi, ucundan 1.9 mm uzunluğa ve 0.7 mm genişlik uydurma hattına, Şekil 21'deki gibi 50 ohm kaynağı ile bağlanmıştır.

Tablo 7. 1x16 Mikroşerit yama konik antenin dizisinin elemanlarının boyutları

Eleman numarası	Yama genişliği (mm)	Yama uzunluğu (mm)
1	3.31	1
2	3.30	1.15
3	3.28	1.35
4	3.25	1.65
5	3.22	1.9
6	3.19	2.45
7	3.16	2.9
8	3.13	3
9	3.13	3
10	3.16	2.9
11	3.19	2.45
12	3.22	1.9
13	3.25	1.65
14	3.28	1.35
15	3.30	1.15
16	3.31	1



Şekil 20. Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisi

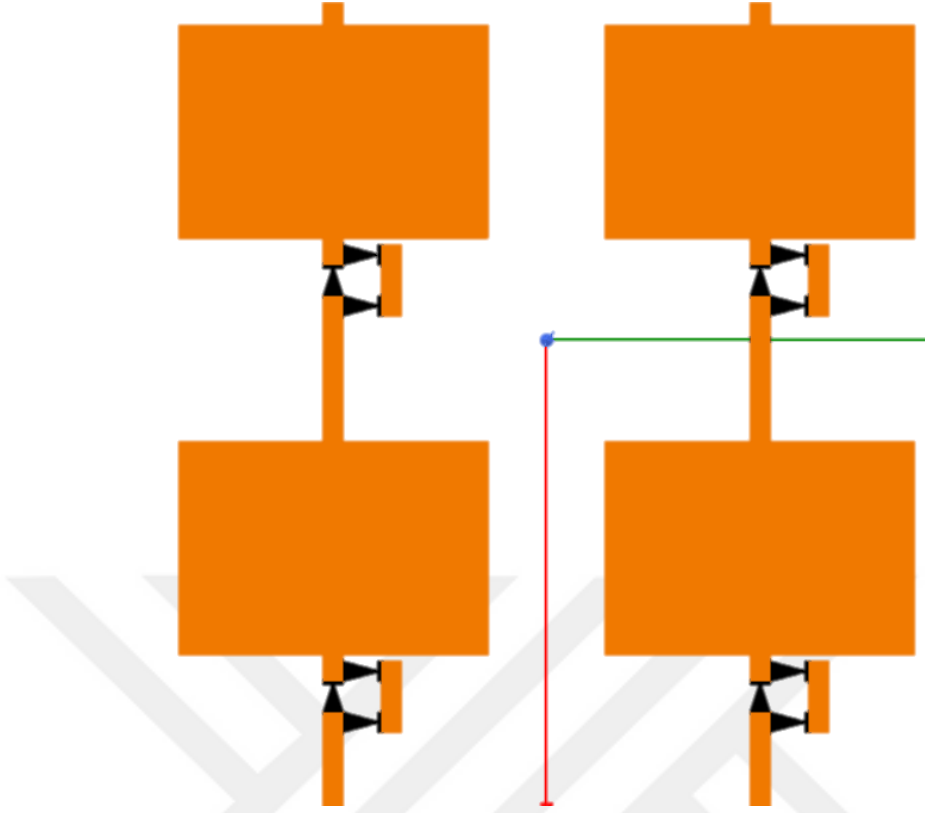
2.10. Işıma Paterni Yeniden Yapılandırabilir Konik Anten Dizisi

Otomotiv radar sisteminde, gerekli alanı taramak için ışımaya paterni 0 ile 10 derece arasında hareket edecektir. Işıma paternini gerektiği gibi hareket ettirmek için faz her iki yama arasında değiştirilmelidir. Bunun için yamalar arasındaki iletim hattının uzunluğunun değiştirilmesi gerekmektedir. İletim hattının uzunluğu arttıkça, ışımaya paterni, iletim hattının uzunluğundaki değişikliğe orantılı bir açıda hareket eder. Faz kaydırıcı bu hedefe ulaşmak ve açığı değiştirmek için kullanılabilir, anahtarlar bu durumda, Şekil 24'teki gibi, her iki yama arasındaki şeklin haline gelmek için kullanılır. Son yama hariç her iletim hattı, iki yama arasında 0,53 mm'lik bir değer ile daha uzundur. Bu da kullanılan diyot sayısını mümkün olduğunca azaltmaktır. Kaynaktan uzaklaştıkça iletim hattının uzunluğunun etkisi

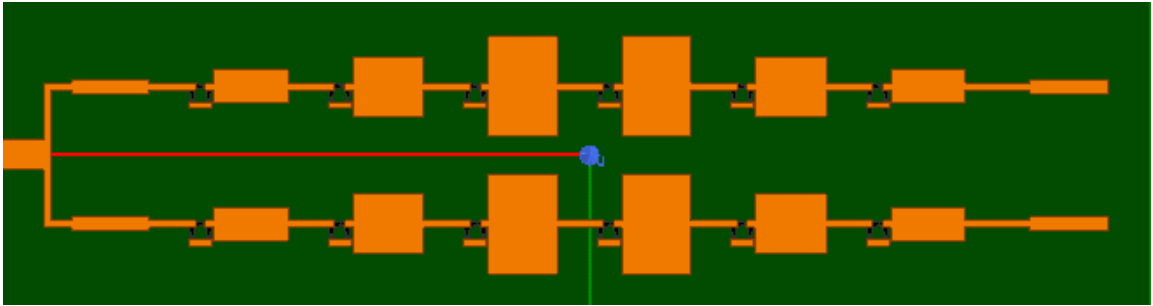
de azalır. Benzer şekilde, faz anahtarları bir yamada kapalı bulunmalı ve radyasyonunu yama radyasyonu ile birleştirmek ayrıca diyotlardan ve fazla hatlardan gelen istenmemiş etkileri iptal etmek için yamaların arasında bulunmamalıdır. NXP RF diyotlar veya Infineon diyotlar, küçük boyutu ve uygun yükseklikteki frekansı nedeniyle, yeniden yapılandırılabilir mikroşerit antenlerde kullanılabilir. Fakat burada uygun özellikleri dolayısıyla, MACOM firmasına ait üretilen Şekil 23'te gösterilmiş MA4AGBL912 diyotları kullanılmıştır. MA4AGBL912 faz kayması için 40GHz'e kadar yüksek frekanslarda çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Anahtarlama hızı yaklaşık olarak 5 nano saniyedir. ON modda yaklaşık 4 ohm değerinde düşük bir empedans, OFF modda ise 0.02 pF kapasite ile yaklaşık 10 kohm'a sahiptir. Ölçüleri oldukça uygun, yaklaşık olarak 0.7*0.22*0.15 mm ve maliyeti ise 3 dolardır. Bu anahtarın çoğu özelliği veri sayfasında mevcuttur [101]. Üç adet MA4AGBL912 diyot, farklı açılarda radyasyon açısı oluşturabilmek için, dizinin her iki yamasının arasında kullanılmaktadır. Birincisi merkezdeki sıfır açısındadır, ikincisi ise 10 derecelik açıdadır. Fakat benzetim sürecindeki diyot ideal diyotu olarak temsil edilmektedir. Bu temsil için, Şekil 24'de gösterildiği gibi, bir 2x8 dizi seçilmiştir. Tüm dizi için 36 diyot kullanılmıştır.



Şekil 21. MACOM MA4AGBL912 diyot anahtarın ön ve arka tarafları



Şekil 22. Yamaların arasındaki PIN diyotların yerleşimi



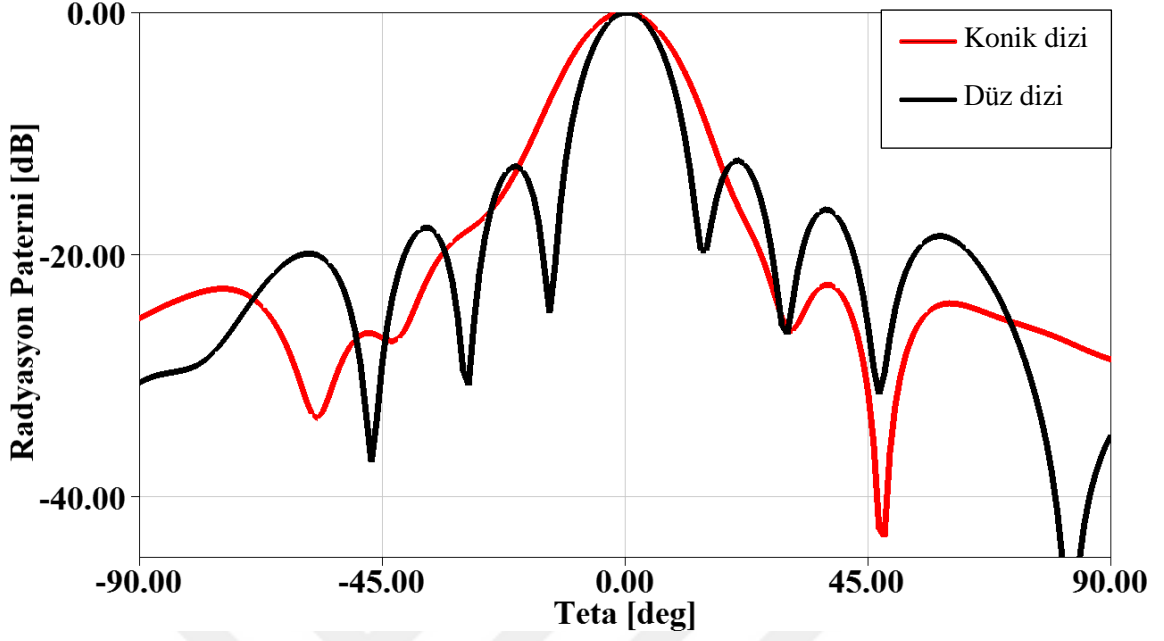
Şekil 23. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 dizisi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

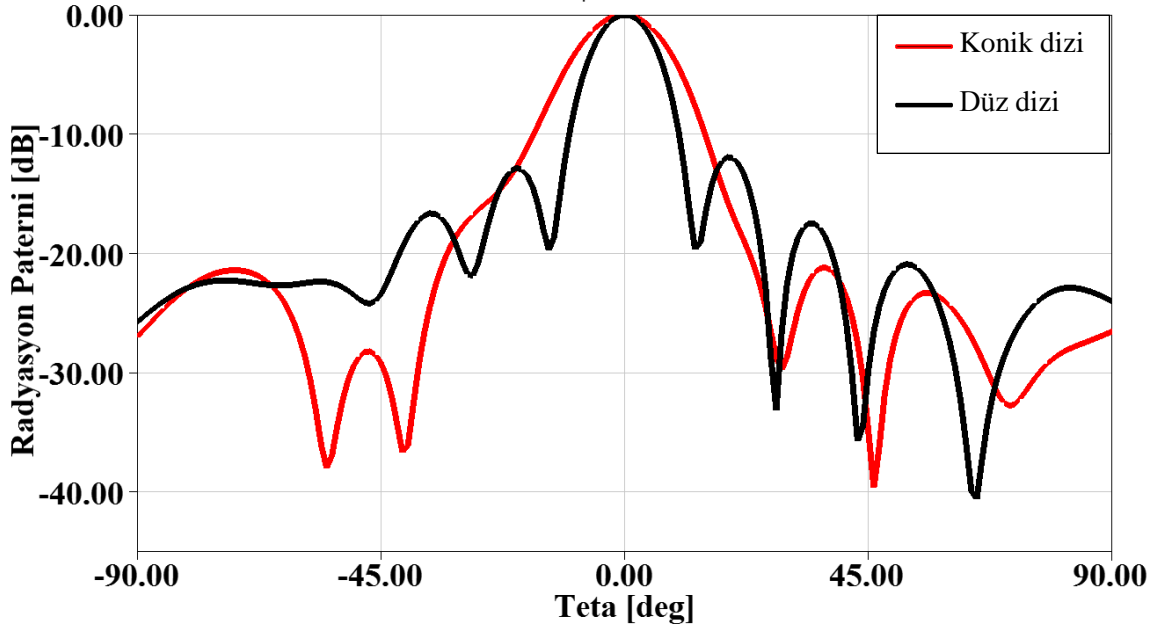
Bu bölümde çalışmanın tasarlanmasında kullanılan algoritma ve metotların etkilerini gözlemlemek için, elde ettiğimiz konik dizilerin sonuçları düz dizilerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elemanların sayısına göre her iki aynı anten arasındaki karşılaştırma Şekil 24'te ve 25'de gösterilmiştir. Şekil 24'te ve 25'de, 8 elemanlı konik dizileri incelendiğinde, hüzmeye genişliğinin düz dizilerinkinden daha geniş olduğu sonucuna varılmıştır. 16 elemanlı diziler için Şekil 26'da, hüzmeye genişliği her iki durum için aynıdır. Hüzmeye genişliğindeki değişim konik dizinin tasarımında kullanılan dağılım türünden kaynaklanmaktadır. Çünkü 8 elemanlı diziler için Binomial dağılımı ve 16 elemanlı diziler için lineer dağılımını kullanılmıştır. Buna ek olarak, bu çalışmanın tasarımları diğer tasarımlar ile kıyaslandığında, frekans şartları, dizilerin eleman sayısı ve yayın yılı olabildiğince benzerlik göstermektedir. Şunu da dikkate almak gerekir ki bu çalışmadaki tasarımlarda, kabul edilebilir kazanç seviyesi ve düşük yan lob seviyeleri elde edilmektedir. Bu karşılaştırma Tablo 8'de özetlenmiştir. Tasarlanan antenlerin her birinin ayrıntılı sonuçları Bölüm 4'te verilmiştir.

Tablo 8. Bu çalışma ile benzer çalışmaların karşılaştırılması

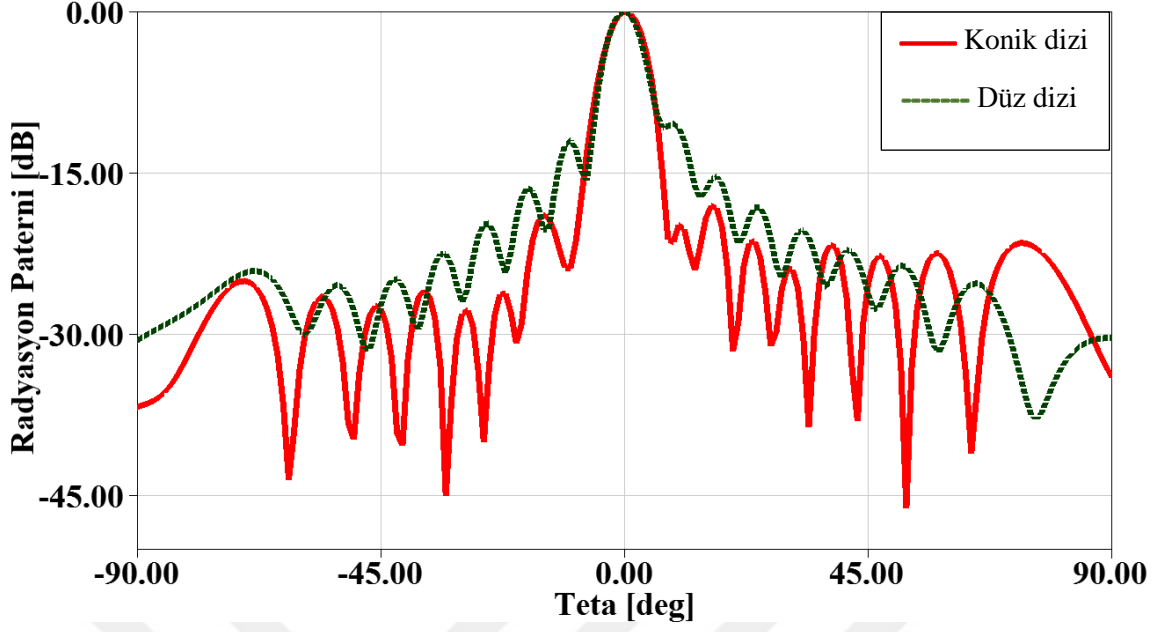
Çalışma	Elemanların sayısı	Çalışma frekansı	Kazanç (dB)	SLL (dB)	Yıl
[102]	5	5	10.00	-13.0	2015
[103]	8	28	11.50	-15.0	2018
[104]	48	77	-	-15.0	2018
[105]	4	9.1	10.41	-15.1	2018
[106]	8	24	-	-18.0	2018
Bu çalışma düz 1x8 dizi	8	24	13.45	-12.0	2020
Bu çalışma konik 1x8 dizi	8	24	11.85	-20.0	2020
Bu çalışma düz 2x8 dizi	16	24	15.73	-11.9	2020
Bu çalışma düz 1x16 dizi	16	24	14.40	-10.2	2020
Bu çalışma konik 2x8 dizi	16	24	14.47	-17.8	2020
Bu çalışma konik 1x16 dizi	16	24	14.33	-18.0	2020
Bu çalışma düz 2x16 dizi	32	24	16.50	-10.2	2020
Bu çalışma düz 8x8 dizi	64	24	21.73	-11.90	2020



Şekil 24. 1x8 düz ve konik dizinin $\phi=0$ 'daki 2D ışıma paterni

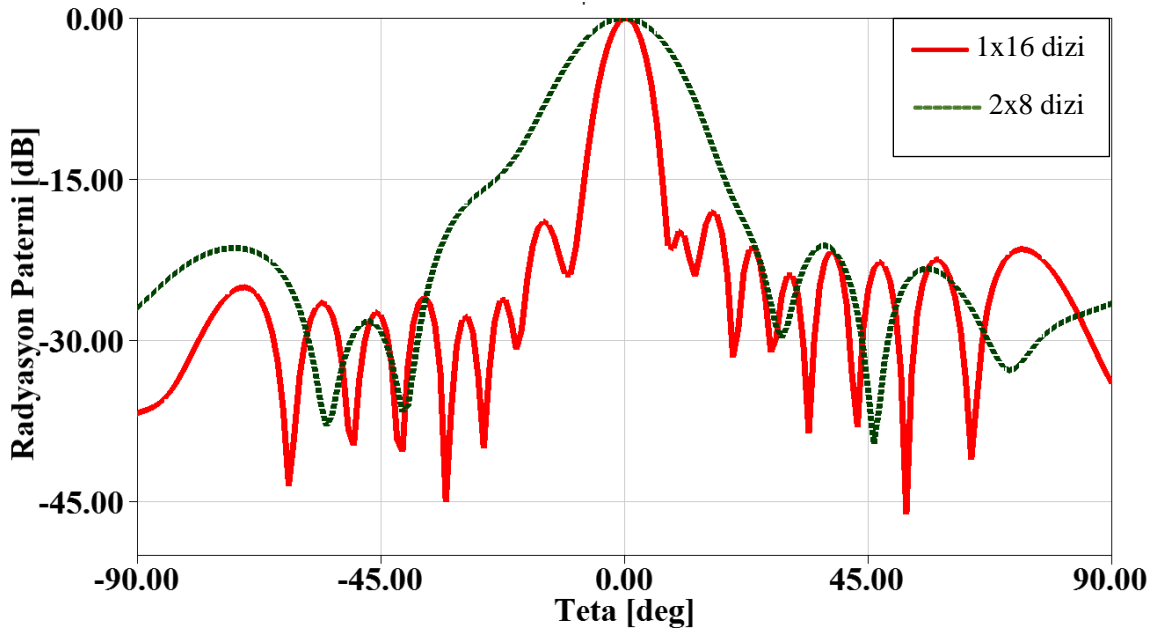


Şekil 25. 2x8 düz ve konik dizinin $\phi=0$ 'daki 2D ışıma paterni



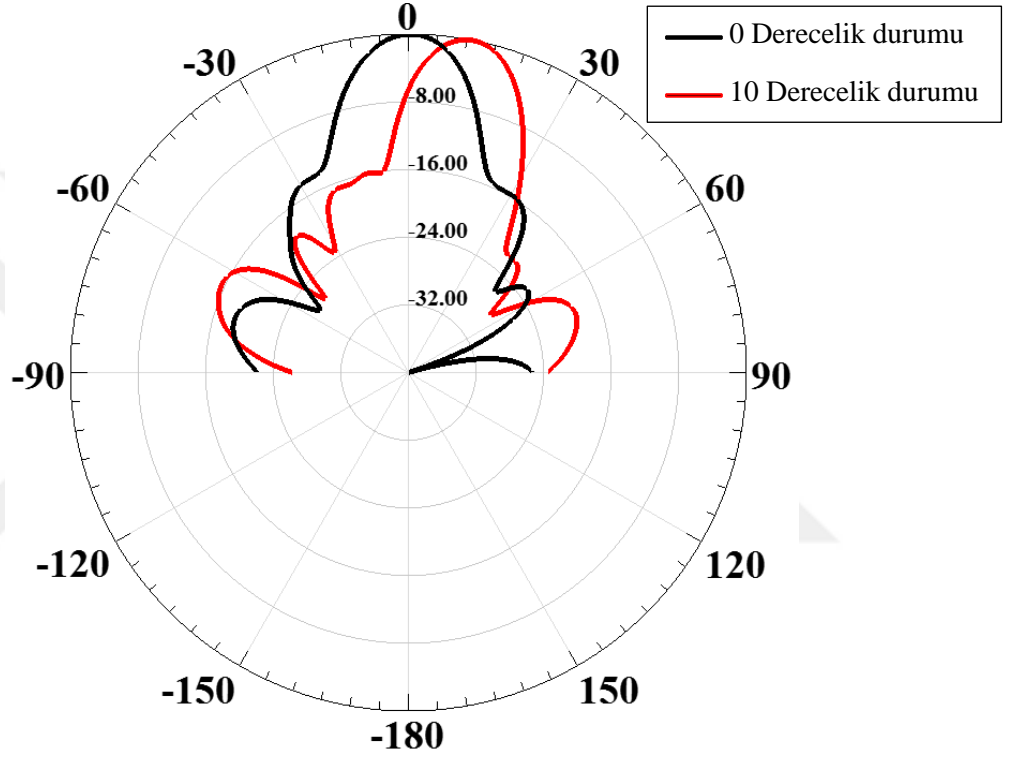
Şekil 26. 1x16 düz ve konik dizinin $\phi=0$ 'daki 2D ışımada paterni

Şekil 27 incelenirse, aynı eleman sayısına sahip antenler, dizi numaraları arasındaki farklılığa rağmen, benzer sonuçlar verdiğini dikkate almak gerekir. 1x16 ve 2x8 antenleri arasındaki tek fark yarım güç hüzmeye genişliğidir. Dizilerdeki eleman sayısının artması, daha dar hüzmeye genişliğine ve ana lobun daha odaklı olmasına sebep olmaktadır.

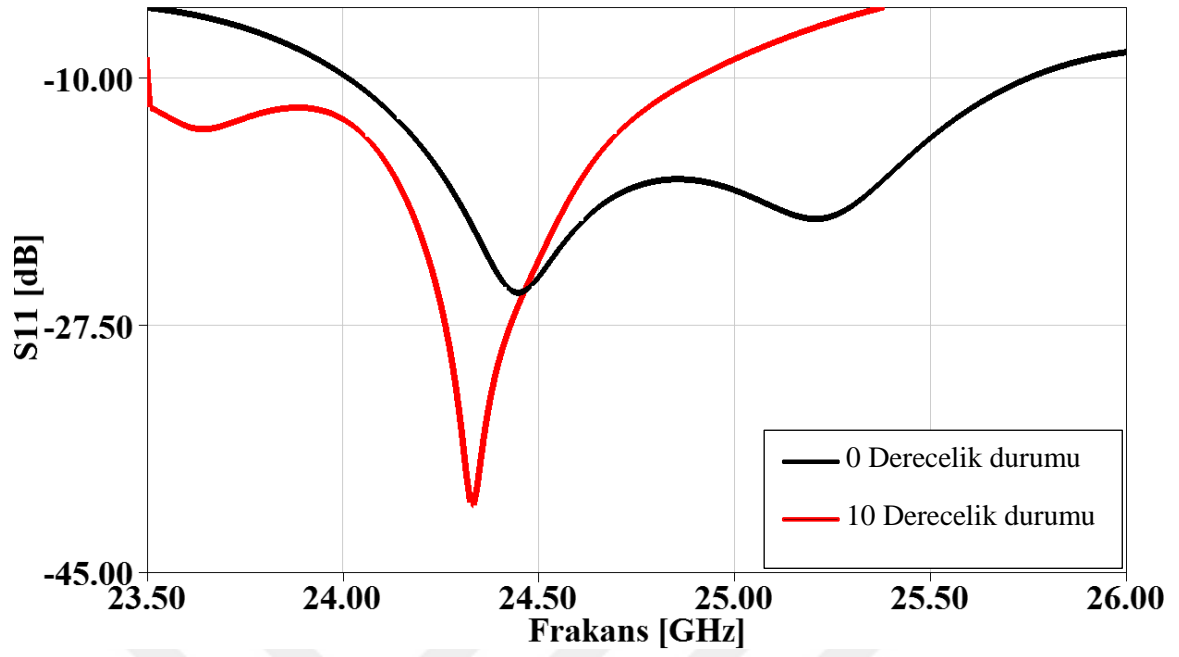


Şekil 27. 16 elemanlı, 1x16 ve 2x8 konik diziler $\phi=0$ 'daki 2D ışımada paterni

Şekil 28’de iki grup diyot tarafından gösterildiği gibi, 2x8 antenin ışıma paterni on dereceye kadar hareket etmektedir. Birinci grup ON durumda ve ikinci grup OFF durumda olduğunda, faz kaydırıcı çalışır ve ışıma paterni merkezde sıfır açıda bulunmaktadır. Birinci grup OFF durumda ve ikinci grup ON durumda olduğunda, ışıma paterni 10 derecelik açıda bulunmaktadır. Şekil 29’da iki S11 paterni ile eşleştirdiğimizde, antenin bant genişliğinin yaklaşık 1 GHz olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 28. Yeniden yapılandırılabilir antenin 2x8 dizisinin $\phi=0$ 'daki 2D ışıma paterni



Şekil 29. Yeniden yapılandırılabilir antenin 2x8 dizisinin iki durumunun S_{11} 'i

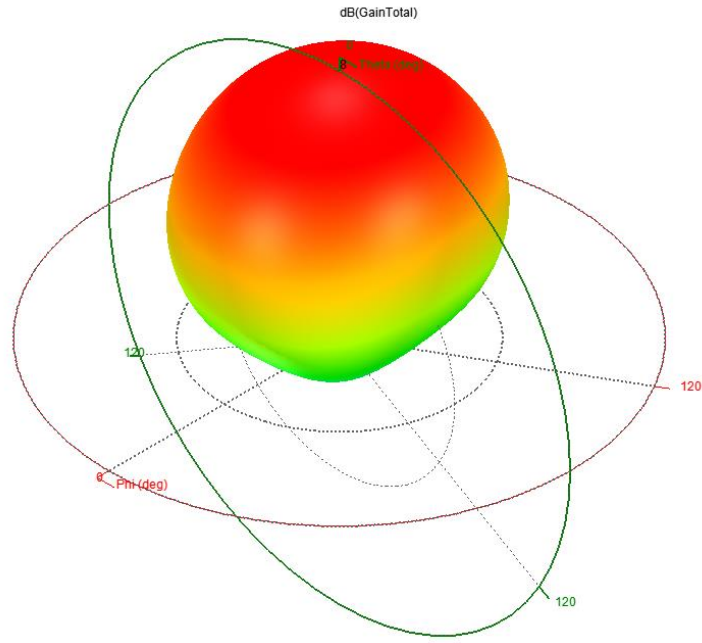
4. SONUÇLAR

4.1. Tek Elemanlı Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten

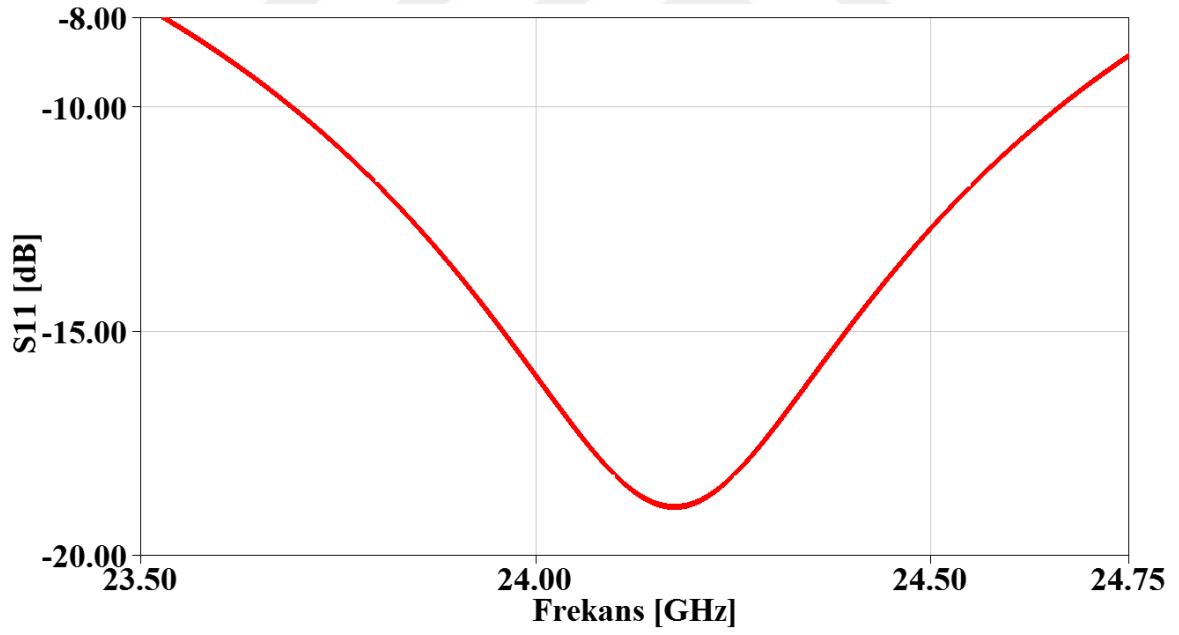
Anten dizisi oluştururken başlangıçta seçilen antenin istenen özelliklere sahip olması için teorik denklemler gözetilerek tasarlanması gerekir. Bu amaçla tasarlanan dikdörtgen mikroşerit antenin üç boyutlu ışınması Şekil 34 ile verilmektedir. Antenin maksimum ışınması z yönündedir. Tasarlanan antenin S11 değişimi Şekil 35 ile verilmiştir. Buna göre yaklaşık -16 dB seviyelerinde bir sonuç antenin bu frekansta çalışabileceğini göstermektedir. Sırasıyla Şekil 36, 37 ve 38’ de $\phi=0$ ve 90 için iki boyutlu ışınma paternleri verilmektedir. Paternler incelenirse anten ışınmasının her yönde simetrik olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, anten hüzmeye genişliği E ve H düzlemleri arasında farklılık gösterse de -3 dB seviyesine yaklaşık 80 ila 94 derece arasında gelmektedir. Ayrıca, Şekil 35 incelendiğinde tasarlanan mikroşerit antenin yaklaşık 1 GHz’lik bant genişliğine sahip olduğu görülmektedir. Antenin tüm sonuçları Tablo 9 ‘da özetlenmiştir.

Tablo 9. Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama anten sonuçları

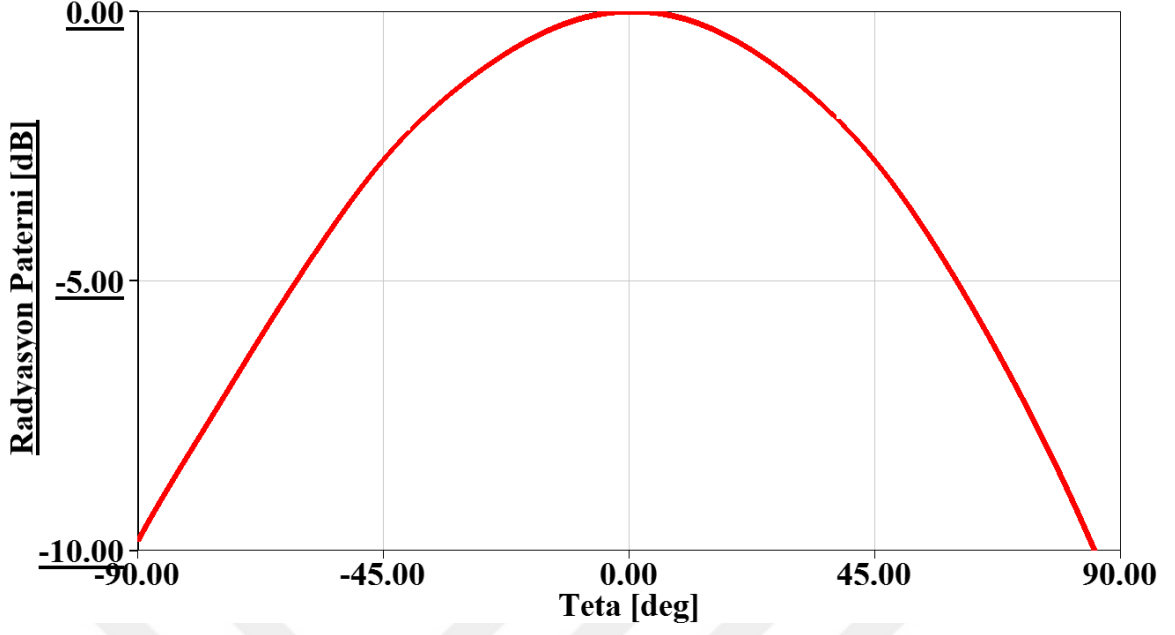
Parametre	Değer	Birim
S11	-16	dB
Kazanç	6.73	dB
Yöneltim	7	dB
Verimlilik	93.5	%
Bant genişliği	0.95	GHz
E düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	80	Derece
H düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	94	Derece



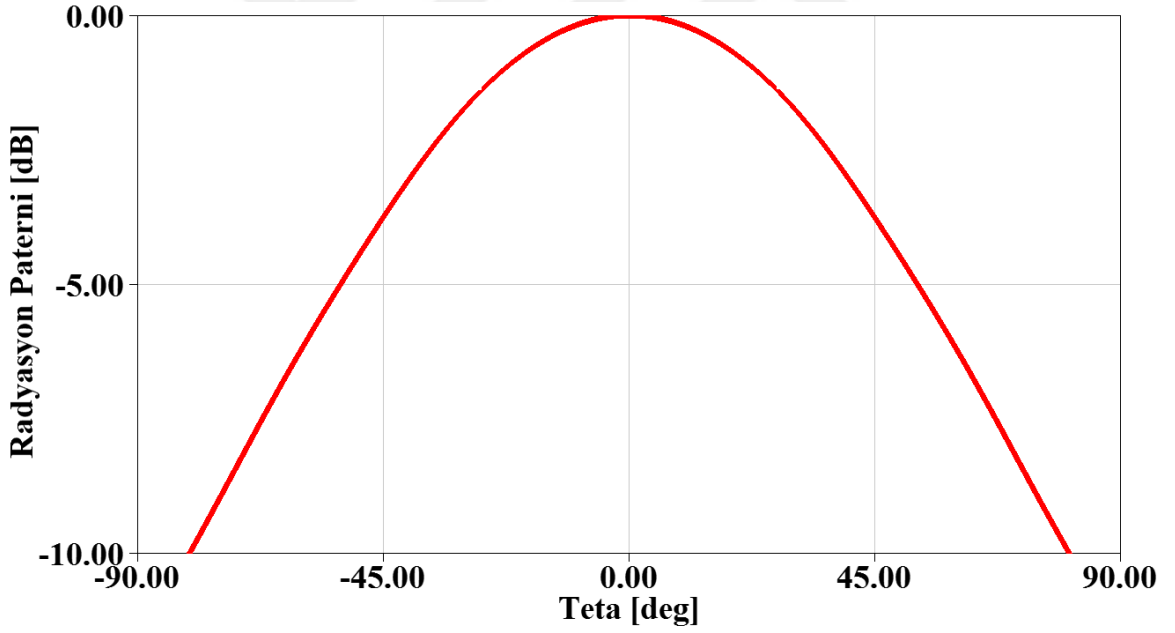
Şekil 30. Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama antenin 3D ışınma paterni



Şekil 31. Tek elemanlı dikdörtgen mikroşerit yama antenin geri dönüş kaybı S11



Şekil 32. Tek elemanlı mikroşerit yama antenin $\phi=0$ 'deki 2D ışıma paterni



Şekil 33. Tek elemanlı mikroşerit yama antenin $\phi=90$ 'deki 2D ışıma paterni

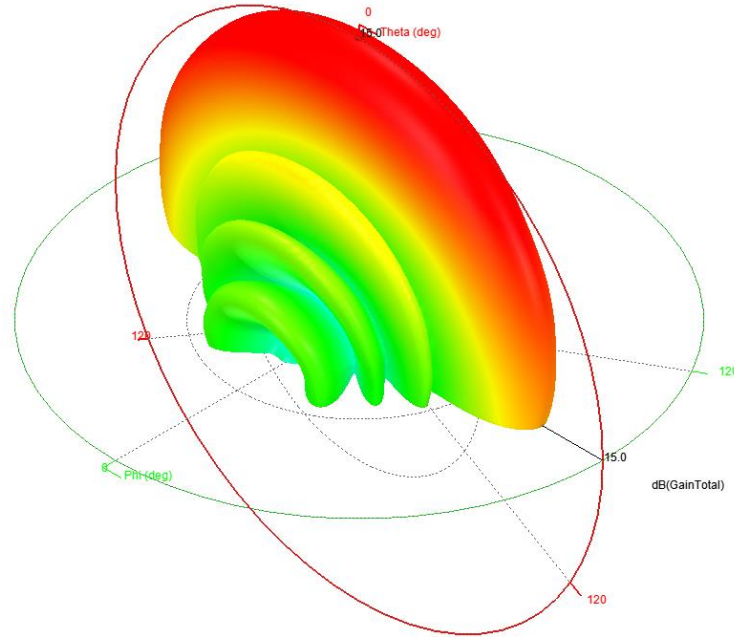
4.2. Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Düz Dizisi

Bu kısımda 1x8 dikdörtgen mikroşerit anten dizisi tasarlanmıştır. Bölüm 2.2'de tasarlanan anten dizisi dikkate alındığında kazancın ve bant genişliğinin arttığı gözlenmiştir. Fakat verimlilik azalmakta ve yan loblar belirginleşmektedir. Bunlara ek olarak, yarı güç,

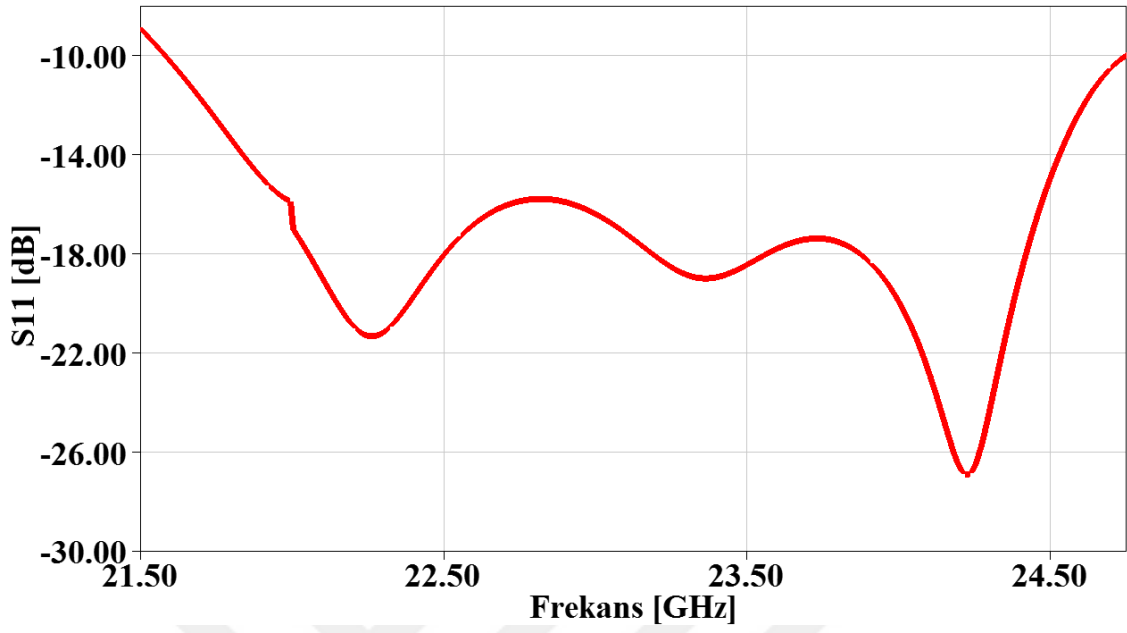
hüzme genişliği daha dar olmaktadır. Şekil 34'den, üç boyutlu anten dizisinin ışımalarının z yönünde olduğu ve dizi düzlemine dik olduğu görülmektedir. Şekil 36 ve 37 incelenirse ışıma paterninin her eksen için ayrı ayrı simetrik olduğu görülmektedir. Ancak, bir eksenden diğerine değişmesi normaldir çünkü dizinin elemanlarının sayısı tüm eksenlerde eşit değildir. Şekil 36 incelenirse, E düzlemindeki hüzme genişliğinin Şekil 37'de belirgin olan H düzlemine göre daha dar olduğu görülmektedir. Ayrıca, yan loblar, içindeki çok sayıda eleman nedeniyle E düzleminde -12.6 dB gibi yüksek bir seviyede ortaya çıkmıştır. Şekil 35 ile verilen S11 değişimi incelenirse bant genişliğinin yaklaşık 3.25 GHz olduğu görülmektedir. 1x8 düz dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10. Mikroşerit yama anten 1x8 düz dizi sonuçları

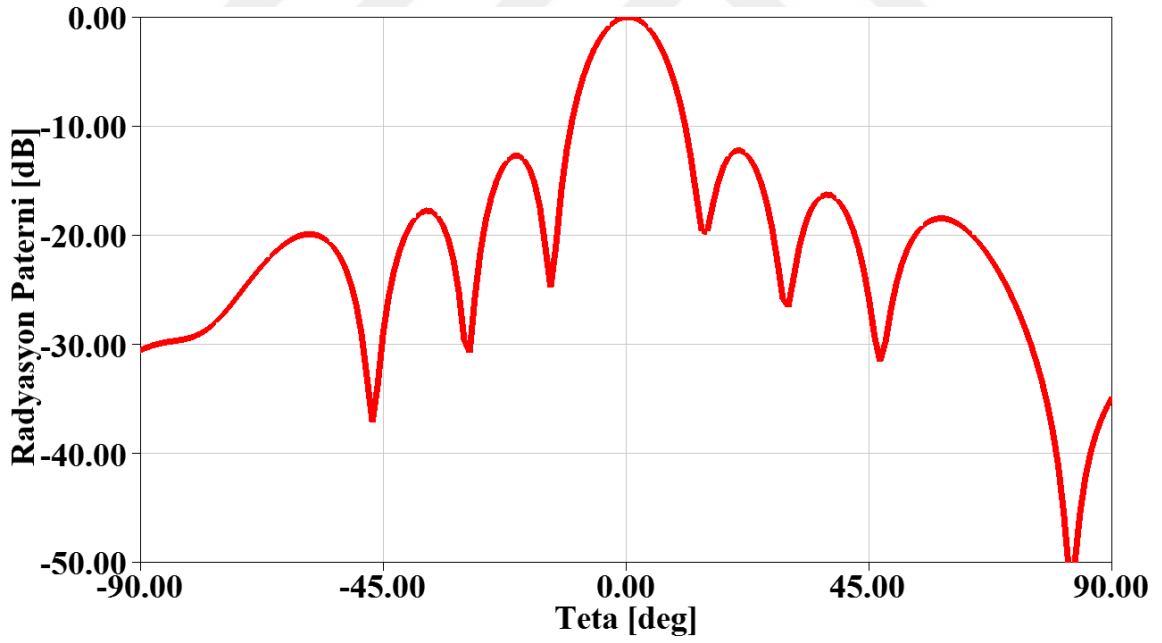
Parametre	Değer	Birim
S11	-20	dB
Kazanç	13.45	dB
Yöneltim	14.44	dB
Verimlilik	79.5	%
Yan lob seviyesi SLL	-12	dB
Bant genişliği	3.25	GHz
E düzlemindeki hüzme genişliği [HPBW]	12.6	Derece
H düzlemindeki hüzme genişliği [HPBW]	85	Derece



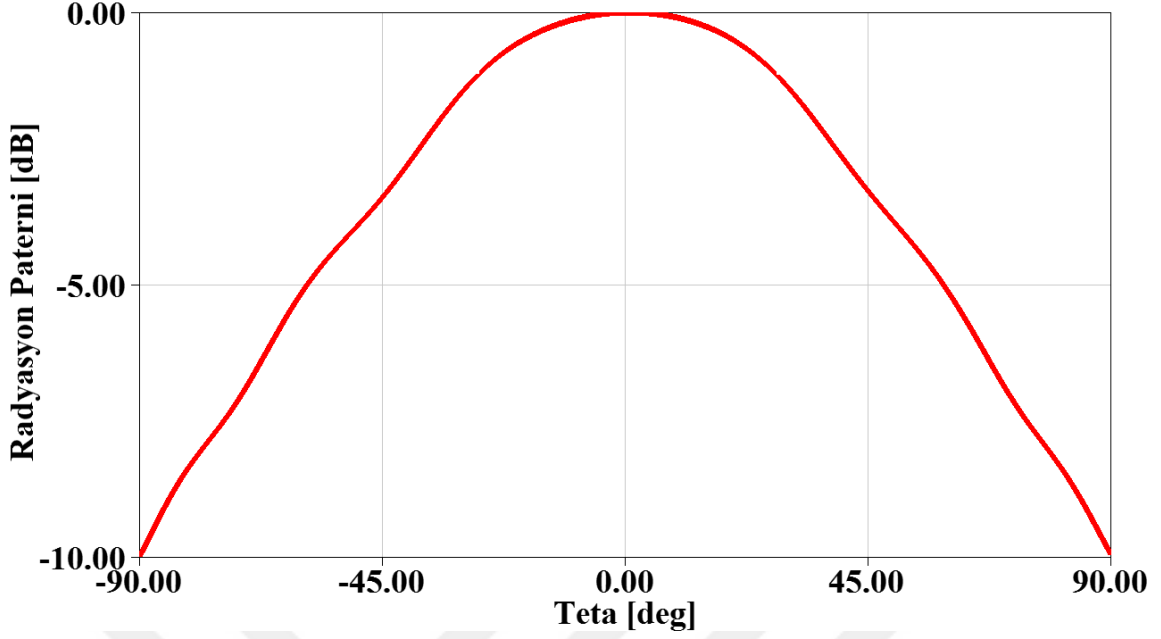
Şekil 34. Mikroşerit yama antenin 1x8 düz dizisinin 3D ışımaları



Şekil 35. Mikroşerit yama anteninın 1x8 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11



Şekil 36. Mikroşerit yama anteninın 1x8 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışımaya paterni



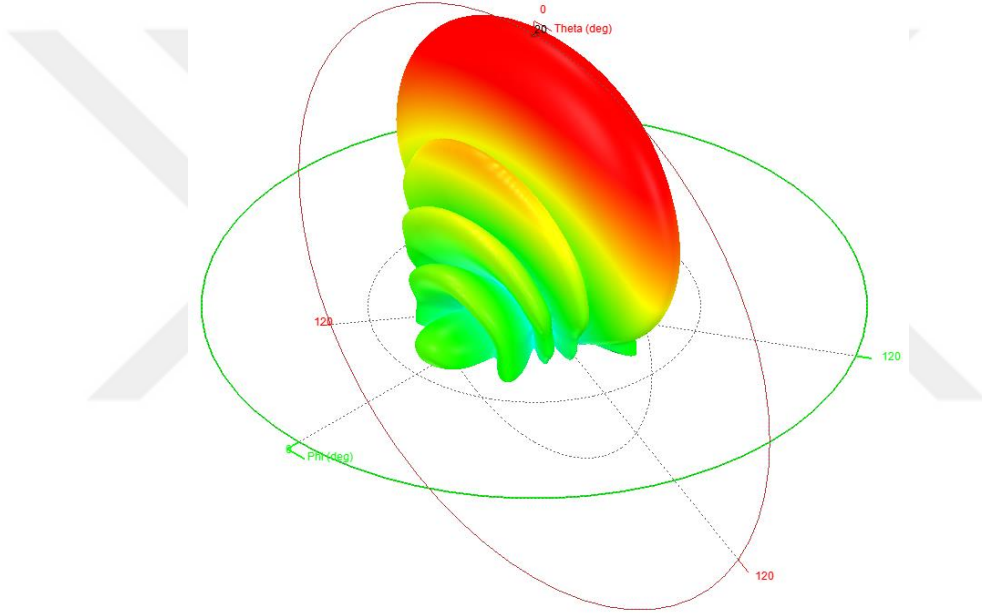
Şekil 37. Mikroşerit yama antenin 1x8 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışımaya paterni

4.3. Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Düz Dizisi

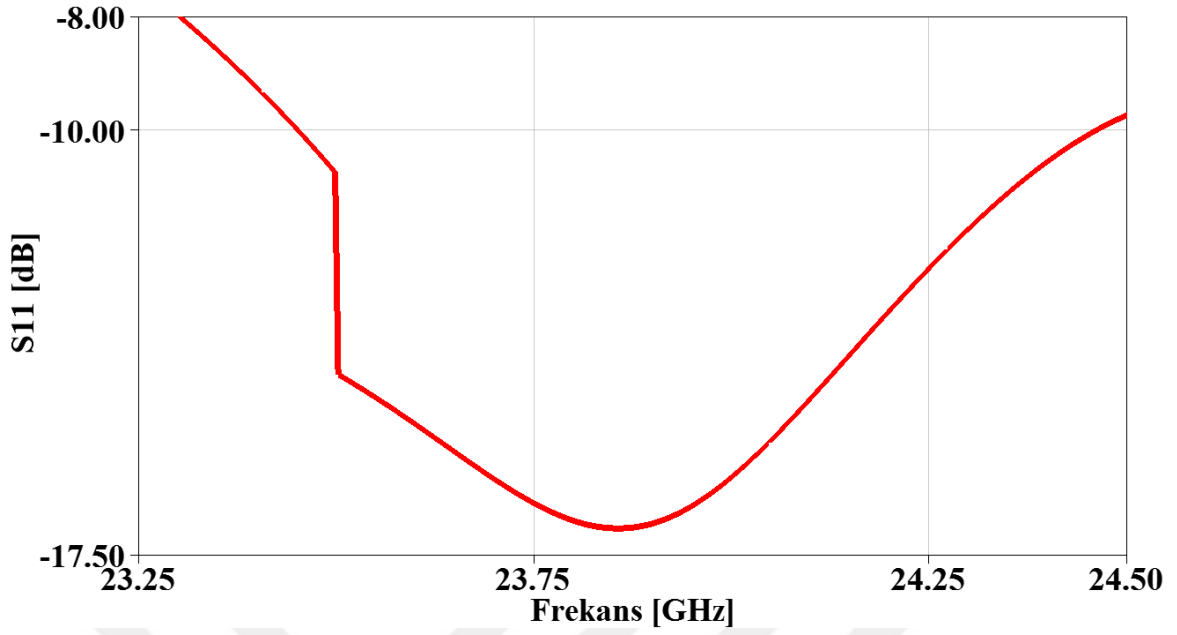
Bu kısımda 1x8 dikdörtgen mikroşerit anten dizi iki kat tekrarlanarak 2x8 düz dizinin tasarlanmıştır. Bölüm 2.3'de tasarlanan anten 2x8 dizisi dikkate alındığında E ve H düzlemlerinin ikisinde de yöneltiminin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca kazancı da artmaktadır. Fakat yan lobların seviyesi artmaktadır. Şekil 38'den, üç boyutlu anten dizisinin ışımalarının z yönünde olduğu ve dizi düzlemine dik olduğu görülmektedir. Sırasıyla Şekil 36, 37 ve 38'de $\phi=0$ ve 90 ve $\theta=90$ için iki boyutlu ışımaya paternleri verilmektedir. Paternler incelenirse anten ışımalarının E düzlemindeki hüzmeye genişliği önceki antenlere göre daha dar olduğu görülmektedir. X eksenindeki elemanların sayısı değişmediğinden H düzlemindeki hüzmeye genişliği de değişmemektedir. Şekil 41 ile verilen S11 değişimi için merkezi frekans -16 dB'de gelmiştir. Ayrıca 1x8 kıyasla bant genişliği azalmış ve 1 GHz'e ulaşmıştır. 2x8 düz dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 11'da özetlenmiştir.

Tablo 11. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisinin sonuçları

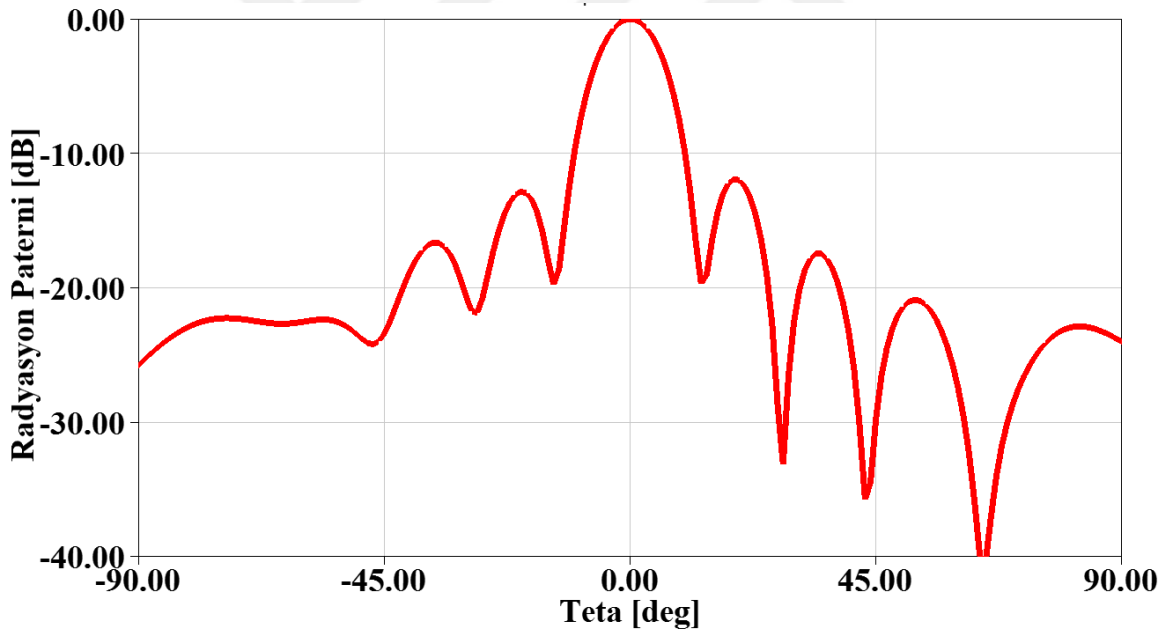
Parametre	Değer	Birim
S11	-16	dB
Kazanç	15.73	dB
Yöneltim	16.8	dB
Verimlilik	78	%
Yan lob seviyesi SLL	-11.9	dB
Bant genişliği	1	GHz
E düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	12	Derece
H düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	54.64	Derece



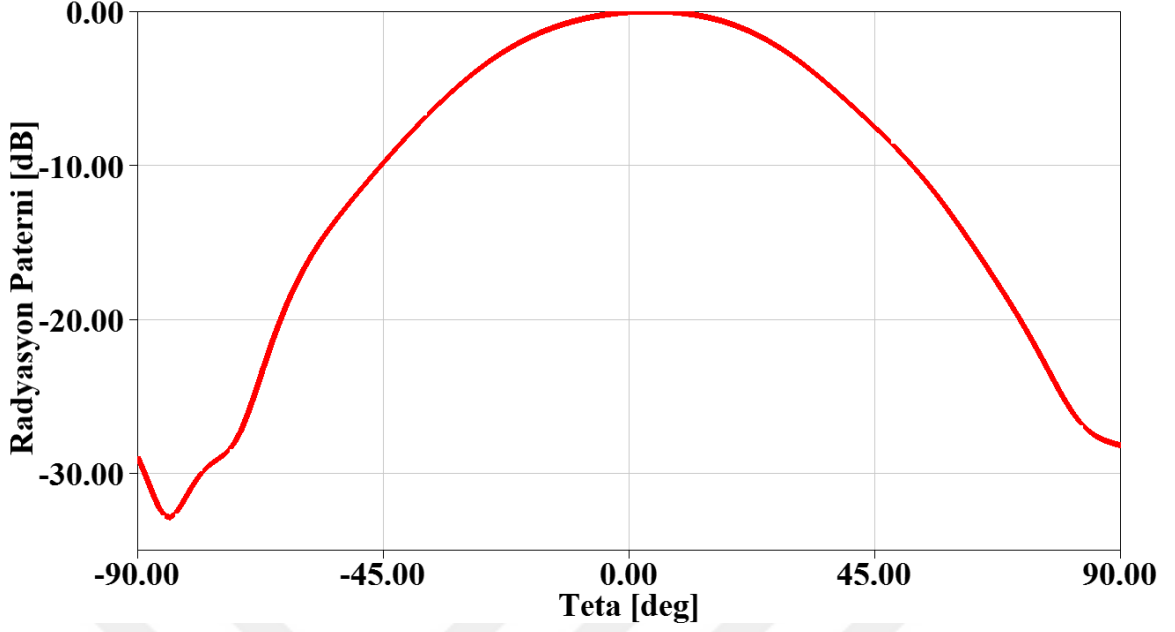
Şekil 38. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisinin 3D ışıma paterni



Şekil 39. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11



Şekil 40. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışıma paterni



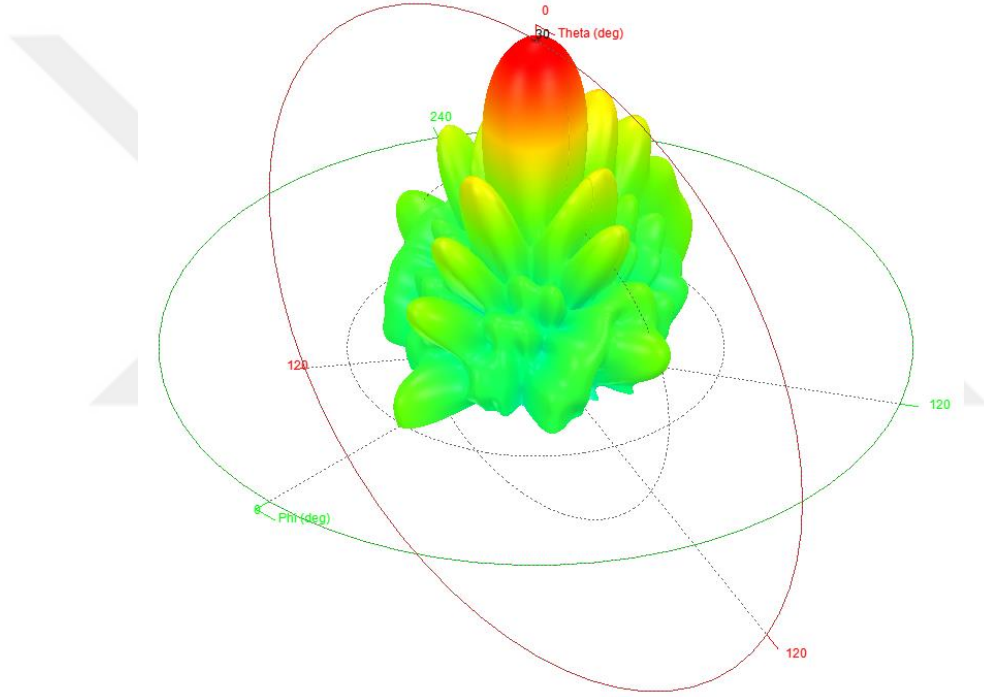
Şekil 41. Mikroşerit yama antenin 2x8 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni

4.4. Mikroşerit Yama Antenin 8x8 Düz Dizisi

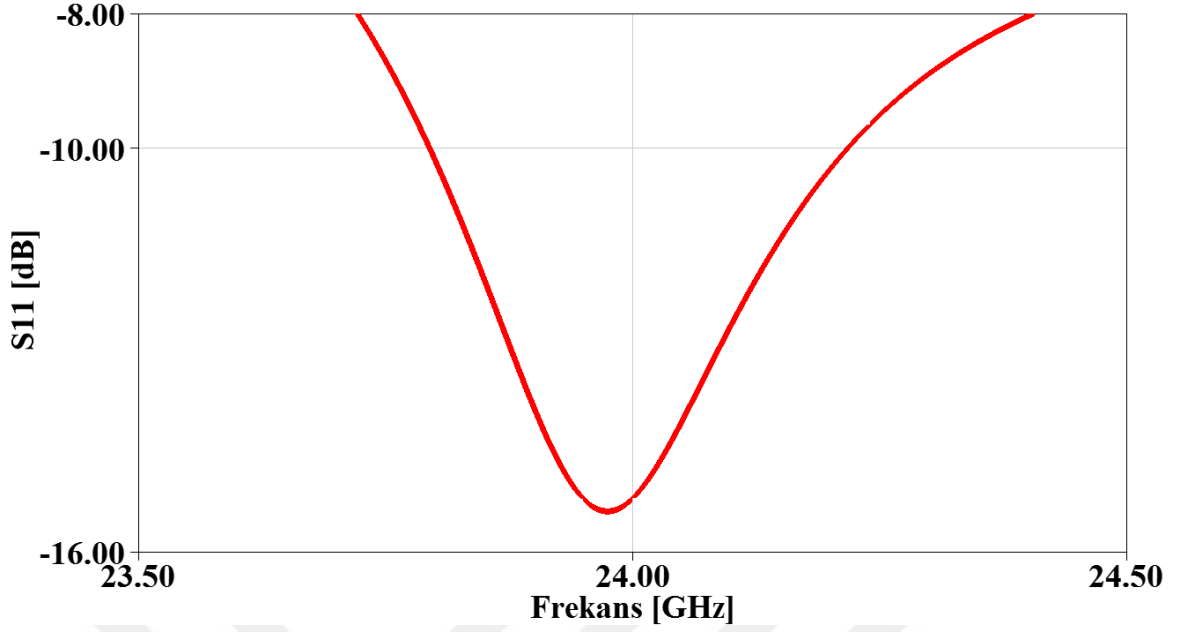
Bu kısımda iki boyutlu simetrik 8x8 dikdörtgen mikroşerit anten dizisi tasarlanmıştır. Anten dizi simetrik olduğu nedeniyle ışınması da simetrik olmuştur. Üç boyutlu ışınması Şekil 42'de verilmektedir. Bu nedenle, hüzmeye genişliği E ve H düzlemlerinde yaklaşık eşittir ve 11 derece olmuştur. Sırasıyla Şekil 44 ve 45'de E ve H düzlemlerdeki iki boyutlu ışınma paternleri verilmektedir. Kazanç da önceki tasarlanmış antenlere göre daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 44 incelenirse ışınma, iletim hatlarından yayılan ışınma nedeniyle tamamen simetrik değildir. H düzlemindeki yan loblar seviyesi nispeten düşüktür ve -15 dB'e ulaşmıştır. Fakat E düzlemindeki yan loblar seviyesi daha fazla yüksek ve -12 dB'e kadar gelmiştir. Şekil 41'de verilen S11 değişimi incelenirse -15 dB seviyelerinde bir sonuç antenin bu frekansta çalışabileceğini göstermektedir. Fakat önceki antenlere göre 400 MHz en düşük bant genişliği sahiptir. 8x8 düz dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 12'da özetlenmiştir.

Tablo 12. Mikroşerit yama antenin 8x8 düz dizisinin sonuçları

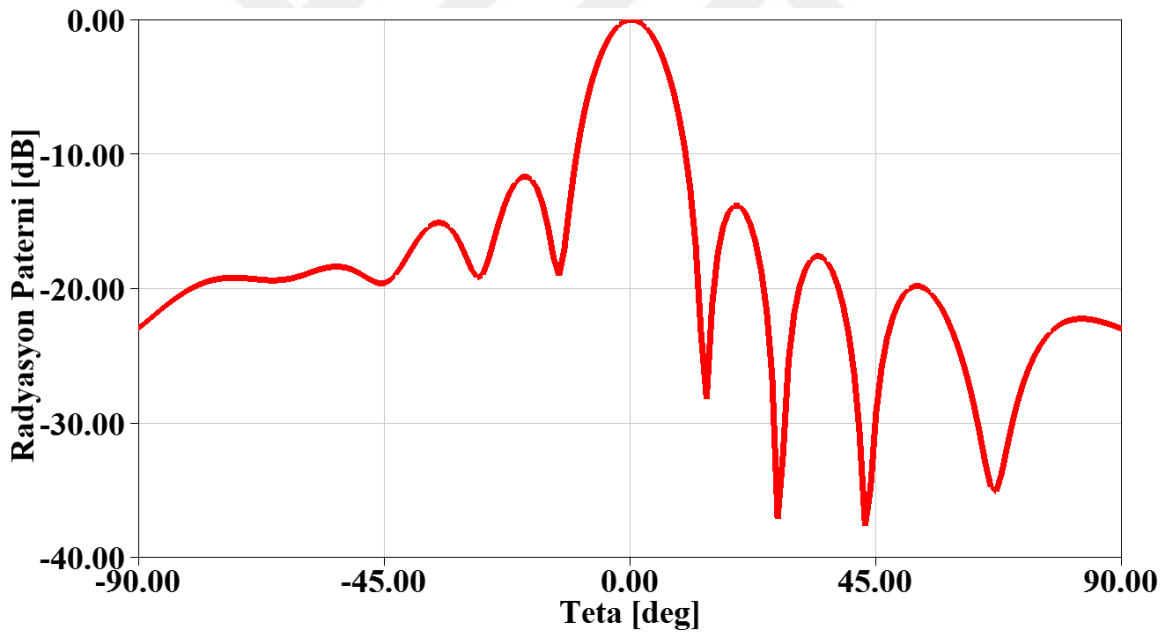
Parametre	Değer	Birim
S11	-15.2	dB
Kazanç	21.73	dB
Yöneltim	23	dB
Verimlilik	74	%
En yüksek yan lob seviyesi SLL	-11.6	dB
Bant genişliği	0.4	GHz
E düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	11.8	Derece
H düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	10.5	Derece



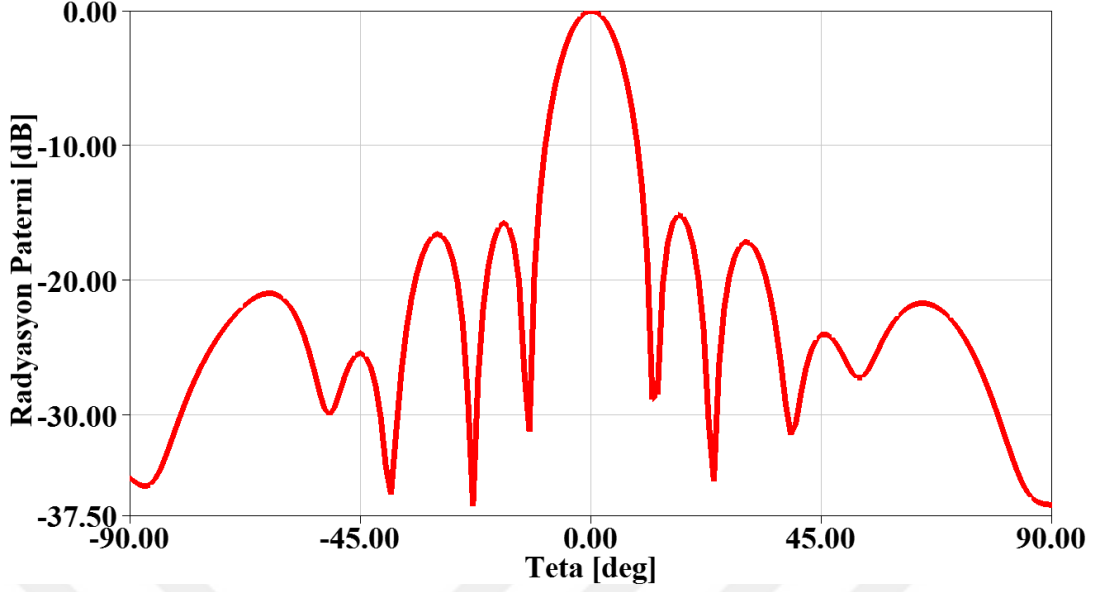
Şekil 42. Mikroşerit yama antenin 8x8 düz dizisinin 3D ışınma paterni



Şekil 43. Mikroşerit yama anteninin 8x8 düz dizisinin geri dönüş kaybı S_{11}



Şekil 44. Mikroşerit yama anteninin 8x8 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışıma paterni



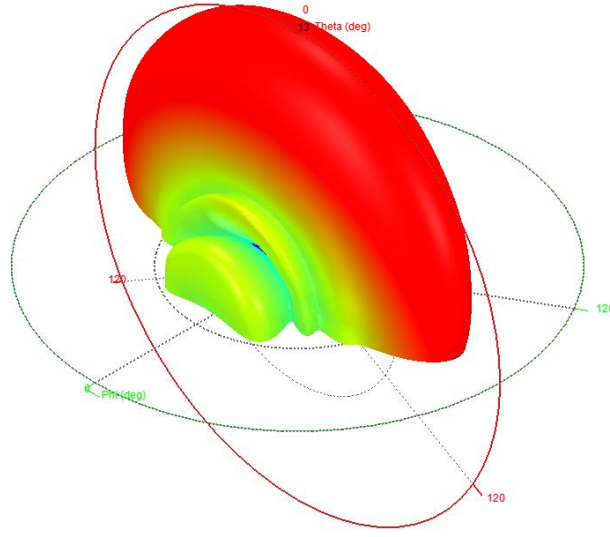
Şekil 45. Mikroşerit yama antenin 8x8 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışıma paterni

4.5. Mikroşerit Yama Antenin 1x8 Konik Dizisi

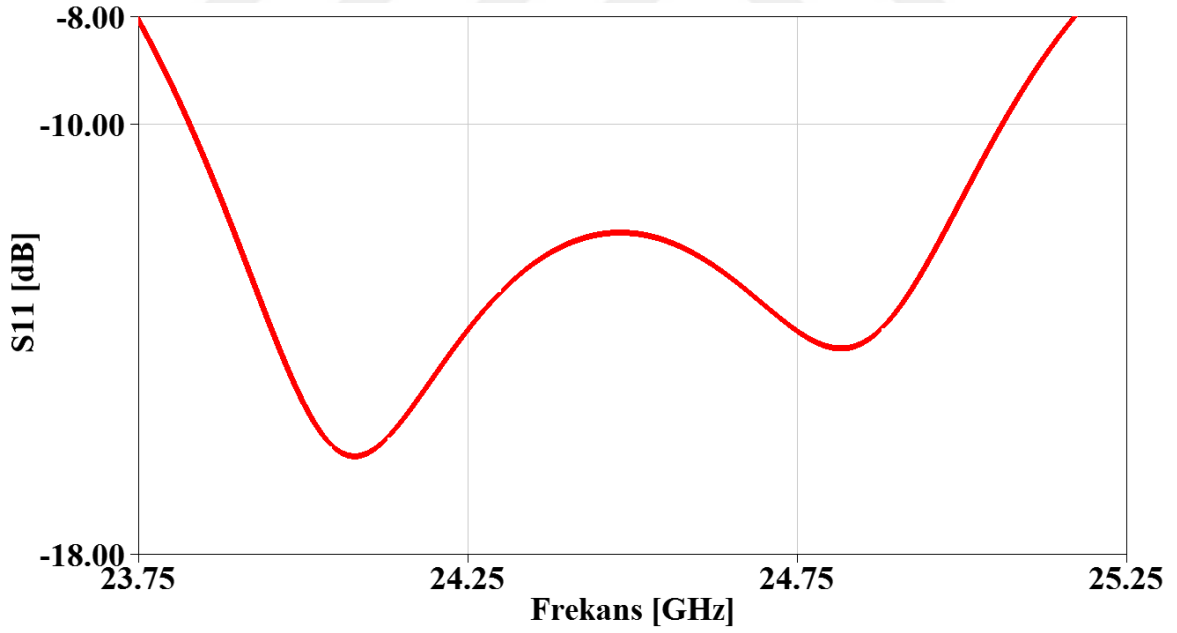
Bu kısımda 1x8 dizinin yan lobların seviyesi azaltmak için bölüm 2.5'te tasarlanan 1x8 konik dizi kullanılmıştır. Bu diziyi tasarlamak için Binomial dağıtımı kullanarak tasarlanmıştır. Antenin üç boyutlu ışıması Şekil 46 ile verilmektedir. Dizinin yamalarının boyutları daha küçük olmuştur. Bu nedenle, 1x8 düz antene göre antenin kazancı ve verimi hafifçe azalmaktadır. Fakat Şekil 48 incelenirse yan loblar seviyesini 1x8 düz anten kıyasla -8 dB düşmüştür. Şekil 47 ile verilen S11 değişimi incelenirse bant genişliğinin yaklaşık 1.3 GHz olduğu görülmektedir. Ayrıca, -15 dB seviyelerinde bir sonuç antenin bu frekansta çalışabileceğini göstermektedir. 1x8 konik dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 13'da özetlenmiştir.

Tablo 13. Mikroşerit yama antenin 1x8 konik dizisinin sonuçları

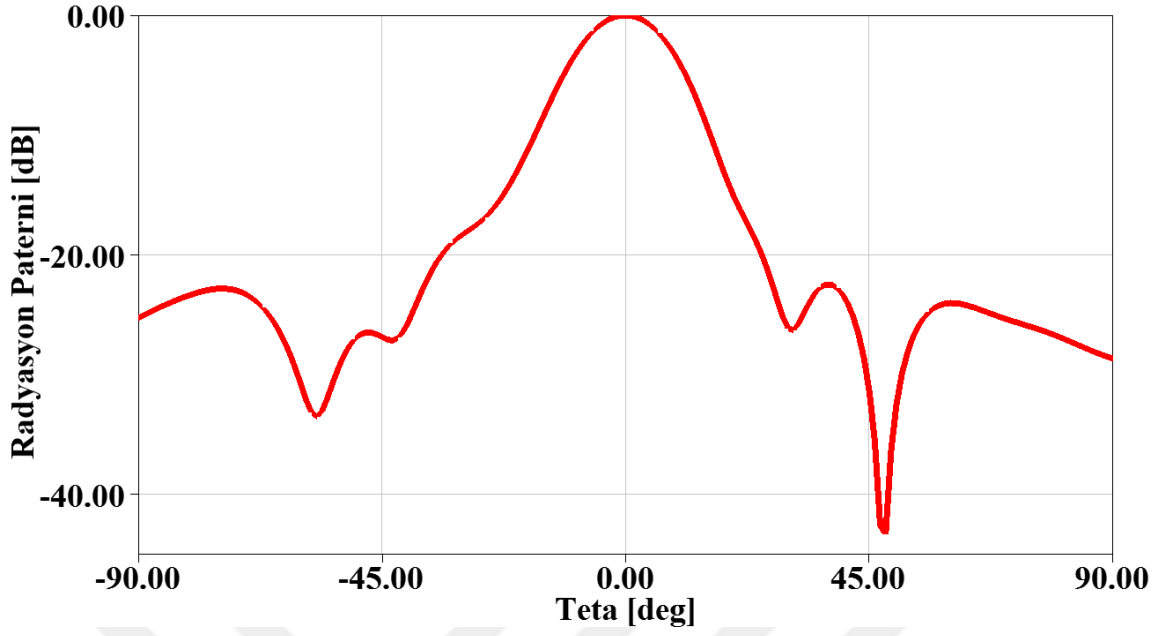
Parametre	Değer	Birim
S11	-15.2	dB
Kazanç	11.85	dB
Yöneltim	13.43	dB
Verimlilik	70	%
Yan lob seviyesi SLL	-20	dB
Bant genişliği	1.3	GHz
E düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	17.5	Derece
H düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	84.4	Derece



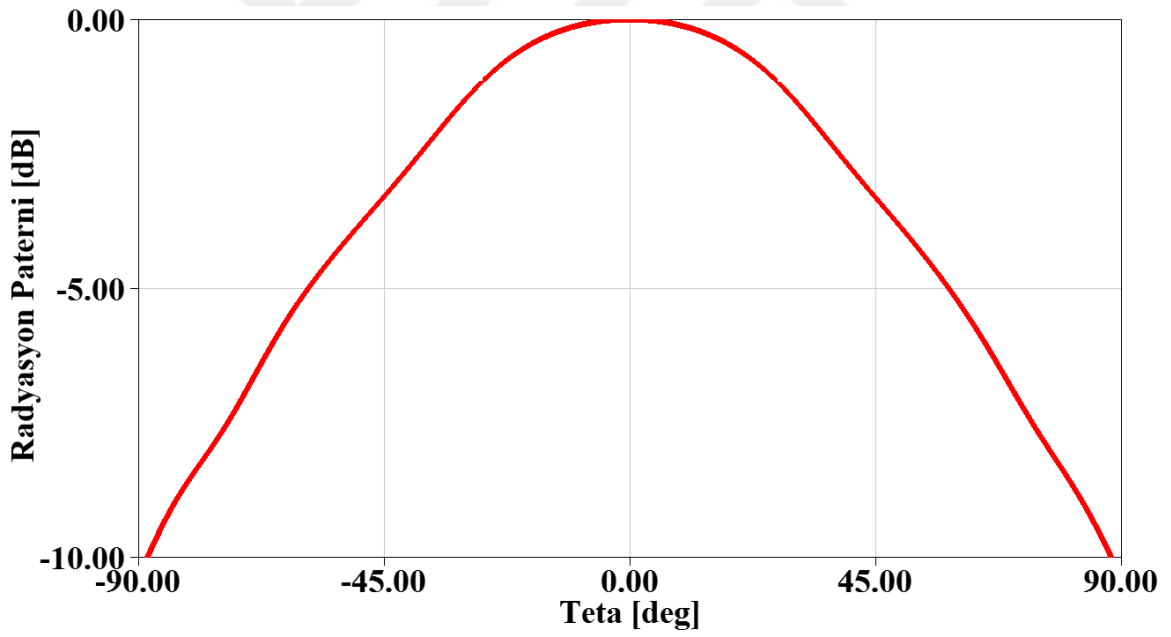
Şekil 46. Mikroşerit yama antenin 1x8 konik dizisinin 3D ışıma paterni



Şekil 47. Mikroşerit yama antenin 1x8 konik dizisinin geri dönüş kaybı S_{11}



Şekil 48. Mikroşerit yama anteninın 1x8 konik dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışıma paterni



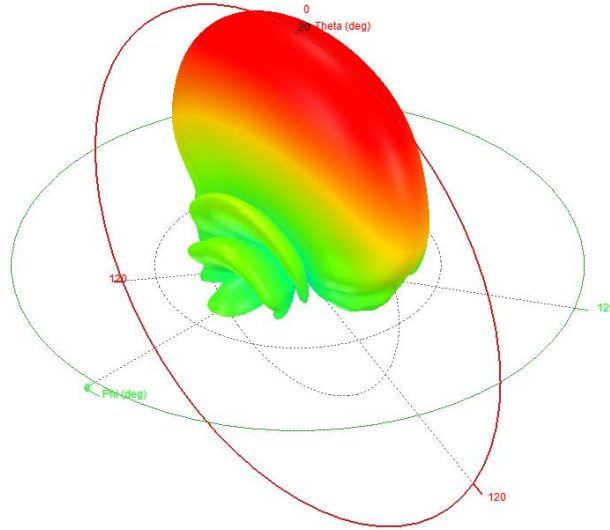
Şekil 49. Mikroşerit yama anteninın 1x8 konik dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışıma paterni

4.6. Mikroşerit Yama Antenin 2x8 Konik Dizisi

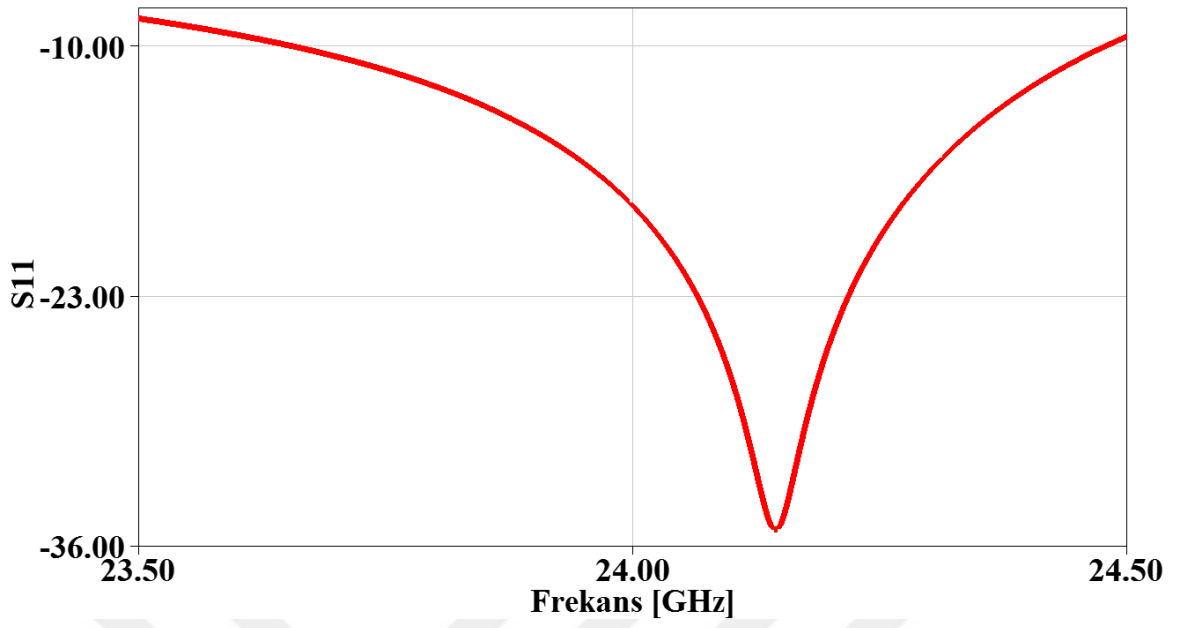
Bu kısımda 1x8 konik dizi kazancı artırmak için 2x8 anten dizisi tasarlanması gerekir. Bölüm 2.6’de tasarlanan anten 2x8 konik dizisi dikkate alındığında kazancın, yöneltiminin ve veriminin arttığı gözlenmiştir. Anteninin üç boyutlu ışınması Şekil 50 ile verilmektedir. Sırasıyla Şekil 52’de ve 53’te $\phi=0$ ve 90 için iki boyutlu ışınma paternleri verilmektedir. Paternler incelenirse E düzlemindeki yan loblar seviyesi 1x8 konik diziden çok yüksek değildir. İkisi arasında 2 dB yan loblar seviyesi farkı vardır. Ayrıca hüzmeye genişliği de aynıdır. Fakat 2x8 konik dizinin bant genişliği 800 MHz ve 1x8 diziden daha dar olmuştur. 2x8 konik dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 14’de özetlenmiştir.

Tablo 14. Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin sonuçları

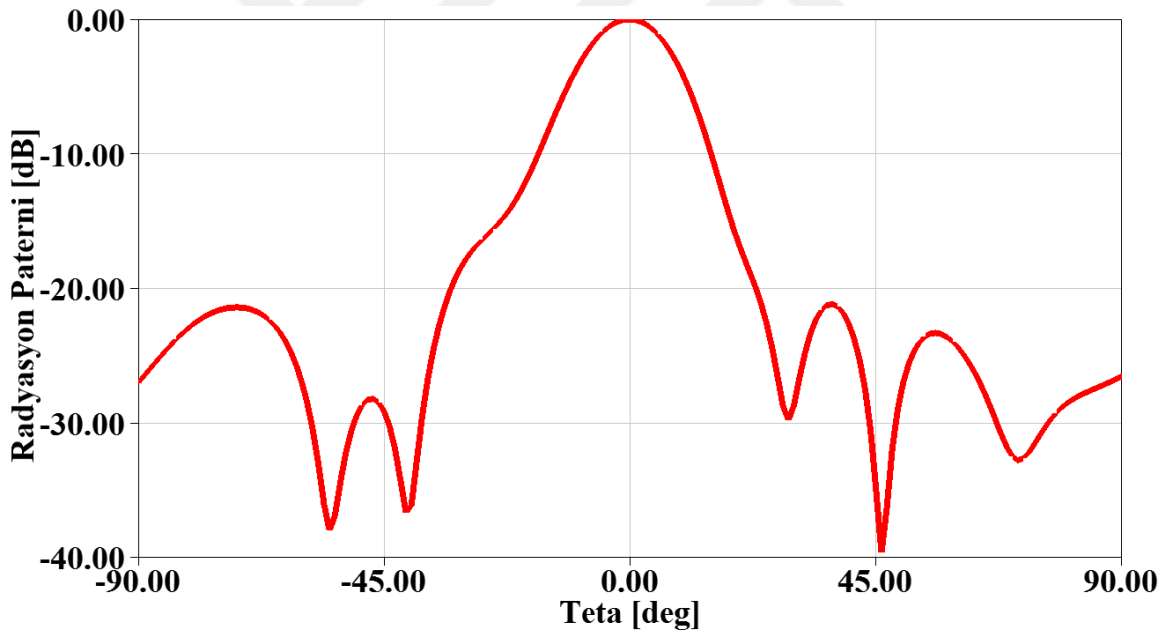
Parametre	Değer	Birim
S11	-18.3	dB
Kazanç	14.47	dB
Yöneltim	15.63	dB
Verimlilik	77	%
Yan lob seviyesi SLL	-17.8	dB
Bant genişliği	0.78	GHz
E düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	16.7	Derece
H düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	53	Derece



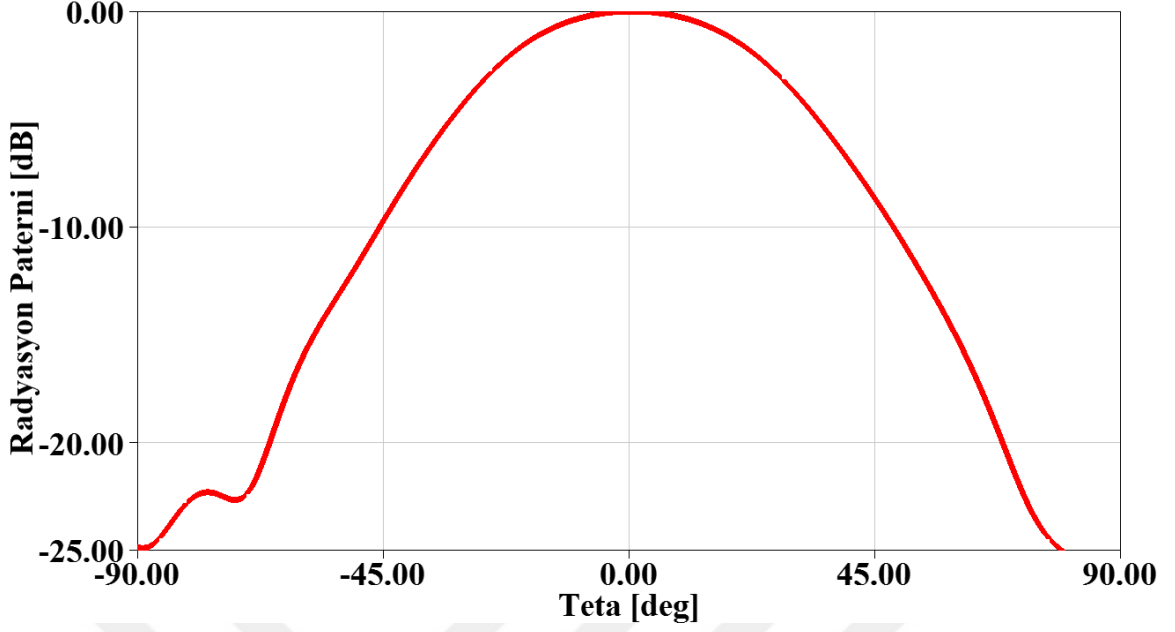
Şekil 50. Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 3D ışınma paterni



Şekil 51. Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin geri dönüş kaybı S_{11}



Şekil 52. Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışınma paterni



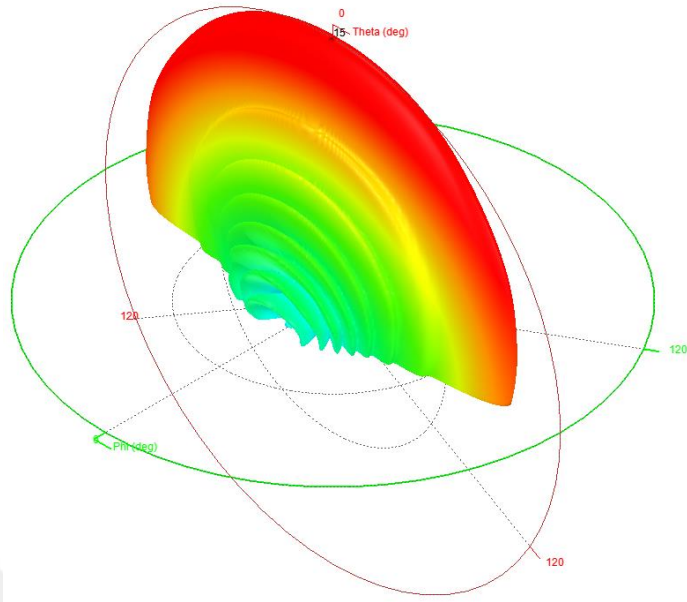
Şekil 53. Mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin $\phi=90^\circ$ 'deki 2D ışıma paterni

4.7. Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Düz Dizisi

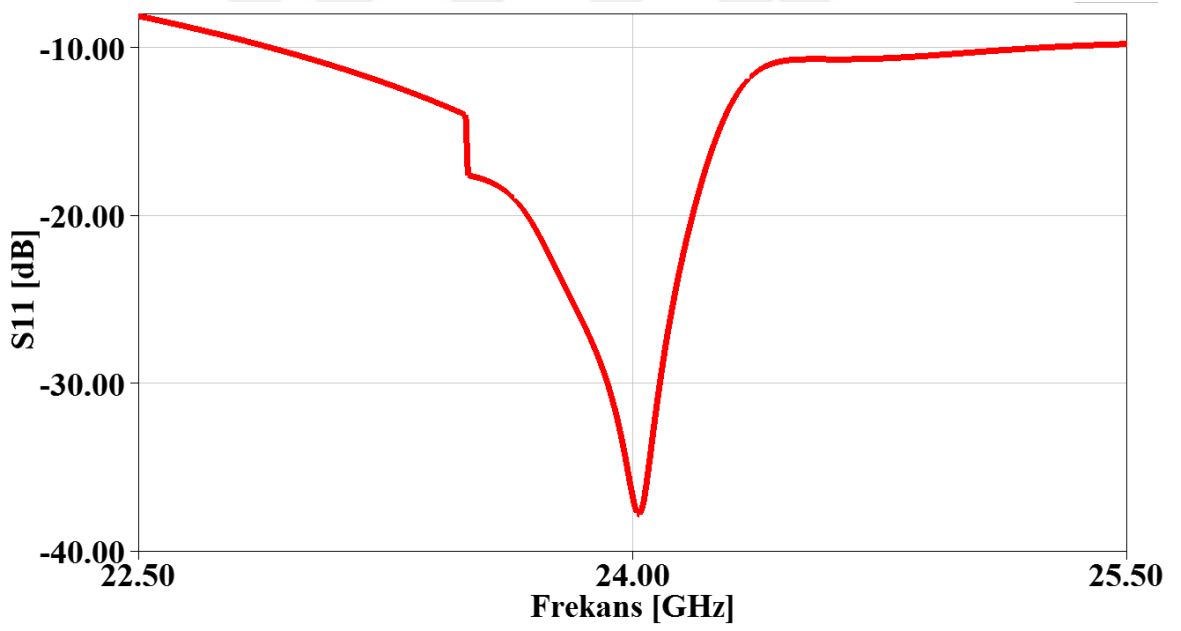
Bu kısımda 16 elemanlı 1x16 düz dizi sonuçları tartışılacaktır. Aynı eleman sayısına sahip olan 2x8 düz dizi ile karşılaştırılmıştır. Kazancın ve yan loblar seviyesi yaklaşık olarak eşittir. Antenin üç boyutlu ışıması Şekil 54 ile verilmektedir. Şekil 56 incelenirse hüzmeye genişliği 2x8 diziden %50 daha dar hüzmeye genişliği elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 55 ile verilen S11 değişimi incelenirse bant genişliğinin elde edildiği görülmektedir. 1x16 düz dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 15'de özetlenmiştir.

Tablo 15. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin sonuçları

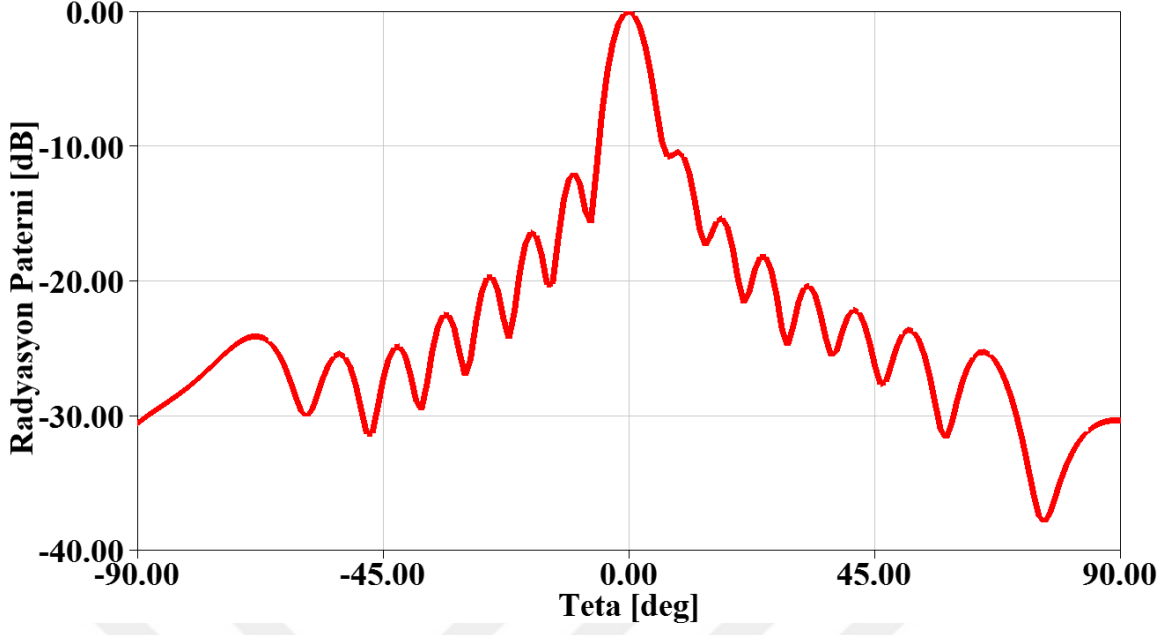
Parametre	Değer	Birim
S11	-37.3	dB
Kazanç	14.4	dB
Yöneltim	16.24	dB
Verimlilik	65	%
Yan lob seviyesi SLL	-10.2	dB
Bant genişliği	2.2	GHz
E düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	6.45	Derece
H düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	95	Derece



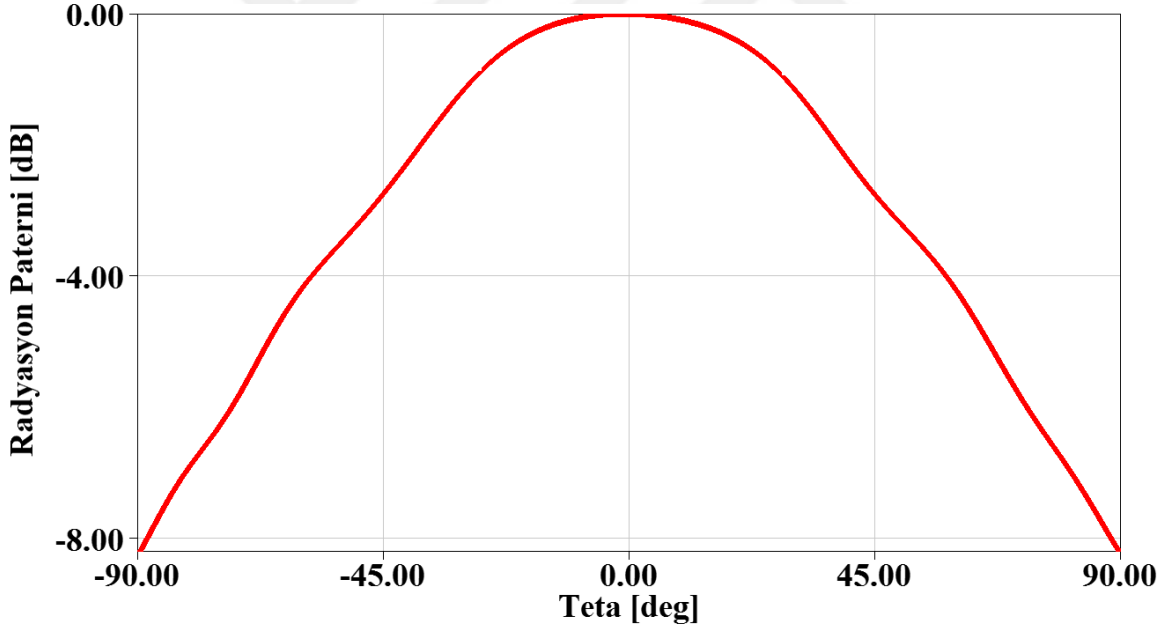
Şekil 54. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin 3D ışımada paterni



Şekil 55. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin geri dönüş kaybı S11



Şekil 56. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışıma paterni



Şekil 57. Mikroşerit yama antenin 1x16 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışıma paterni

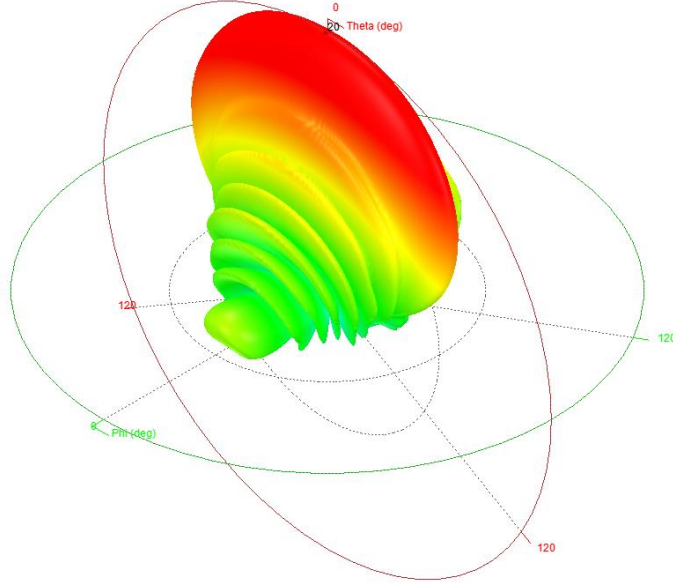
4.8. Mikroşerit Yama Antenin 2x16 Düz Dizisi

Antenin 1x16 düz dizi kazancın artırılması ve bant genişliğinin daha geniş olması için 2x16 düz dizi tasarlanmıştır. Anteninin üç boyutlu ışıması Şekil 58'de gösterdiği gibi kazancı artmaktadır. Şekil 59 incelenirse bant genişliği iki katına çıkmıştır. Böylelikle anten,

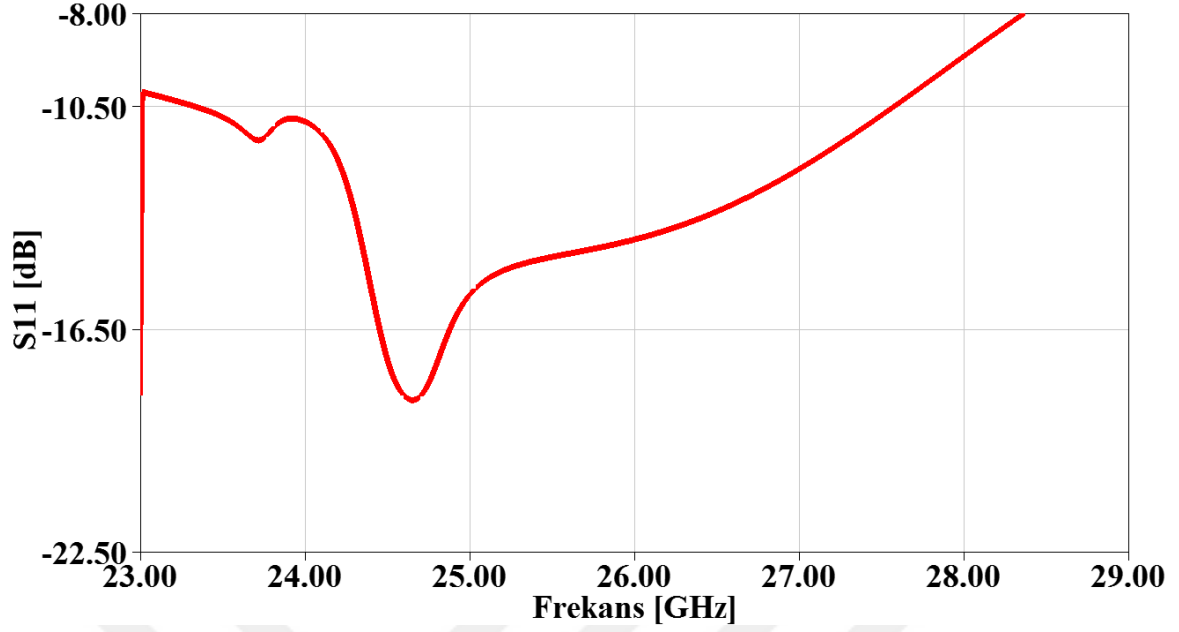
ultra geniş bant UWB gerektiren uygulamaları için kullanılabilir. Şekil 61 incelenirse H düzlemindeki hüzmeye genişliğinin daha dar olduğu görülür. Bununla birlikte, yüksek bir yan lob seviyesi sorunu hala vardır. 2x16 düz dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 16’da özetlenmiştir.

Tablo 16. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin sonuçları

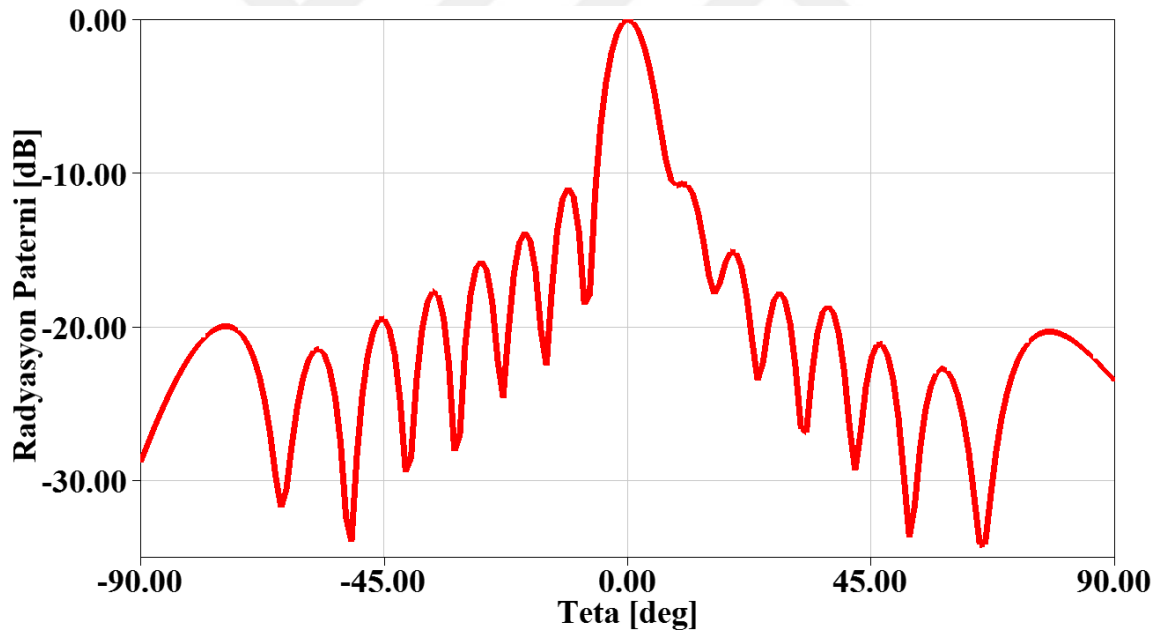
Parametre	Değer	Birim
S11	-11	dB
Kazanç	16.5	dB
Yöneltim	18.23	dB
Verimlilik	67	%
Yan lob seviyesi SLL	-10.5	dB
Bant genişliği	4.7	GHz
E düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	7.5	Derece
H düzlemindeki hüzmeye genişliği [HPBW]	55.5	Derece



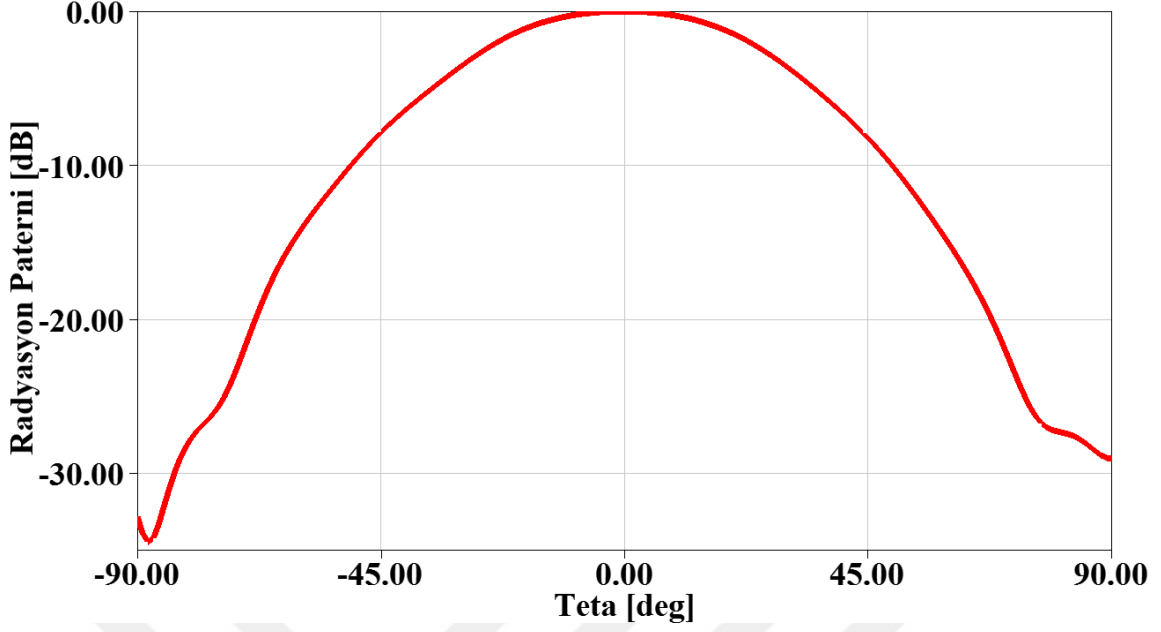
Şekil 58. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin 3D ışınma paterni



Şekil 59. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin geri dönüş kaybı S_{11}



Şekil 60. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışıma paterni



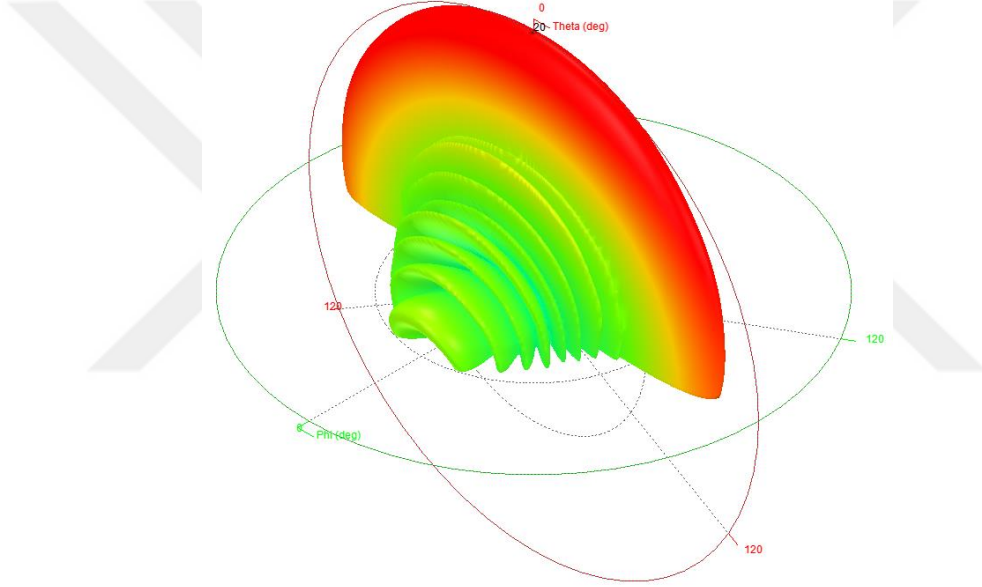
Şekil 61. Mikroşerit yama antenin 2x16 düz dizisinin $\phi=90$ 'deki 2D ışıma paterni

4.9. Mikroşerit Yama Antenin 1x16 Konik Dizisi

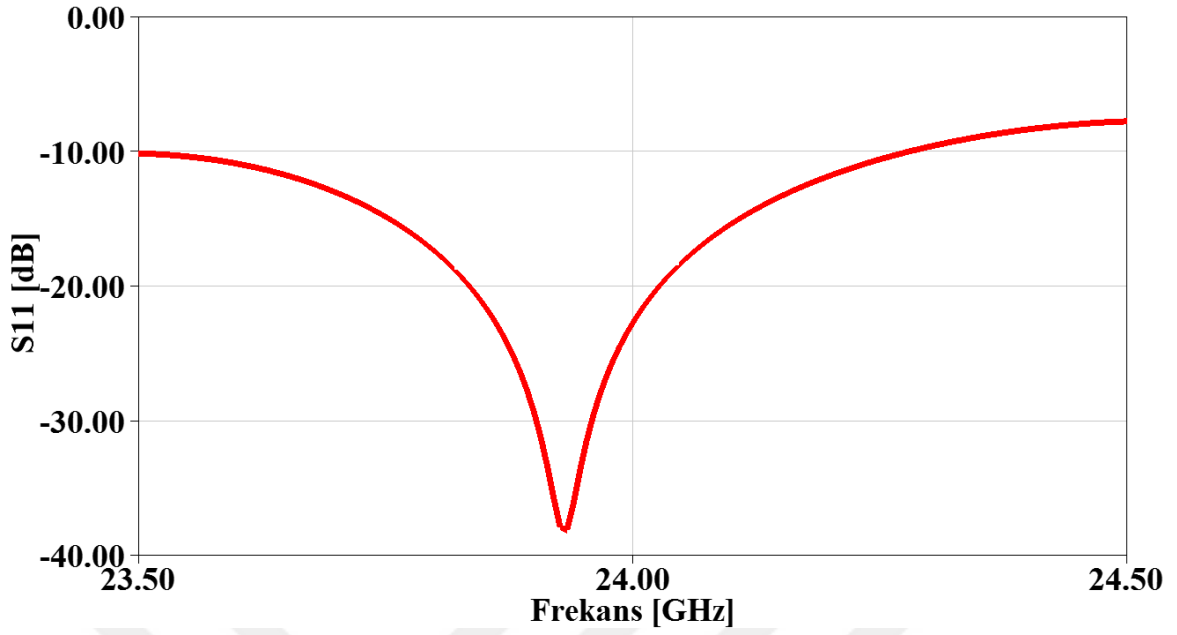
Bu kısımda 1x16 düz antenin yan lob seviyesini azaltmak için 1x16 konik anten dizisi tasarlanmıştır. Lineer dağıtımı kullanarak yamaların boyutları belirlenmiştir. Antenin üç boyutlu ışıması Şekil 62'de verilmektedir. Üç boyutlu şekil incelenirse antenin maksimum ışıması z yönünde olduğu görülmektedir. 1x16 düz dizi ile karşılaştırarak bu antenin kazancı, yöneltimi ve hüzme genişliği yaklaşık aynıdır. Sırasıyla Şekil 64'te ve 65 'de $\phi=0$ ve 90 için iki boyutlu ışıma paternleri verilmektedir. Paternler incelenirse yan loblar seviyesi 8 dB düşmüştür. Tasarlanan antenin S11 değişimi Şekil 63'te verilmiştir. Buna göre yaklaşık -22.7 dB seviyelerinde bir sonuç antenin bu frekansta çalışabileceğini göstermektedir. Ayrıca bant genişliğinin yaklaşık 1.3 GHz olduğu görülmektedir. 1x8 konik dikdörtgen mikroşerit anten dizisi için genel sonuçlar Tablo 17'da özetlenmiştir.

Table17. Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin sonuçları

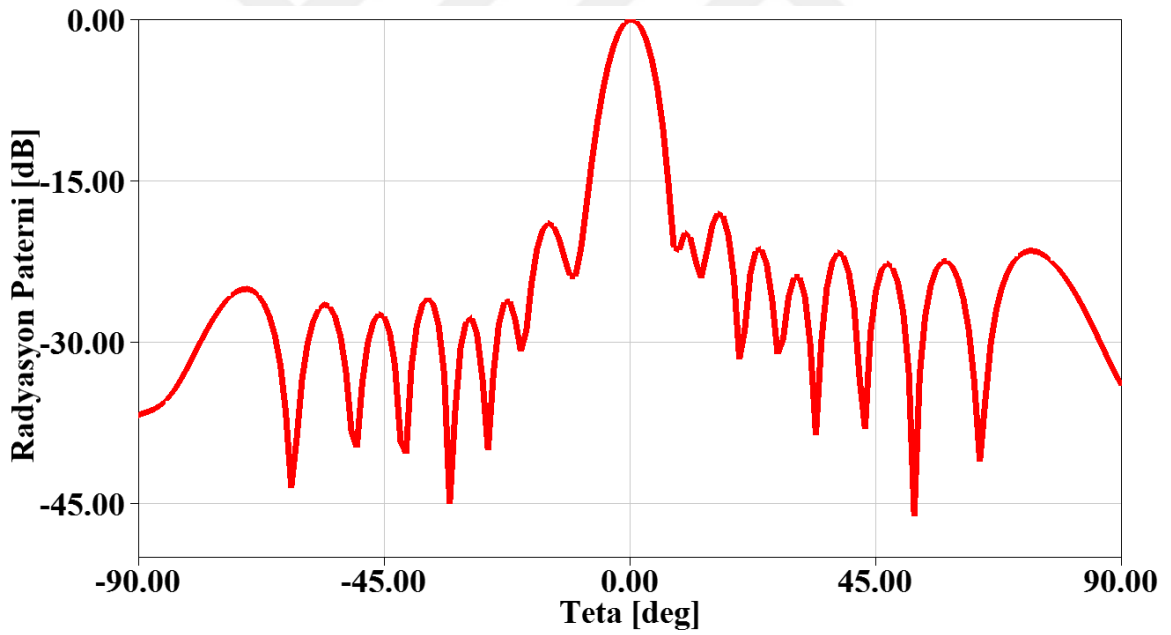
Parametre	Değer	Birim
S11	-22.7	dB
Kazanç	14.33	dB
Yöneltim	17	dB
Verimlilik	55	%
Yan lob seviyesi SLL	-18	dB
Bant genişliği	1.3	GHz
E düzlemindeki hüzme genişliği [HPBW]	6.5	Derece
H düzlemindeki hüzme genişliği [HPBW]	96	Derece



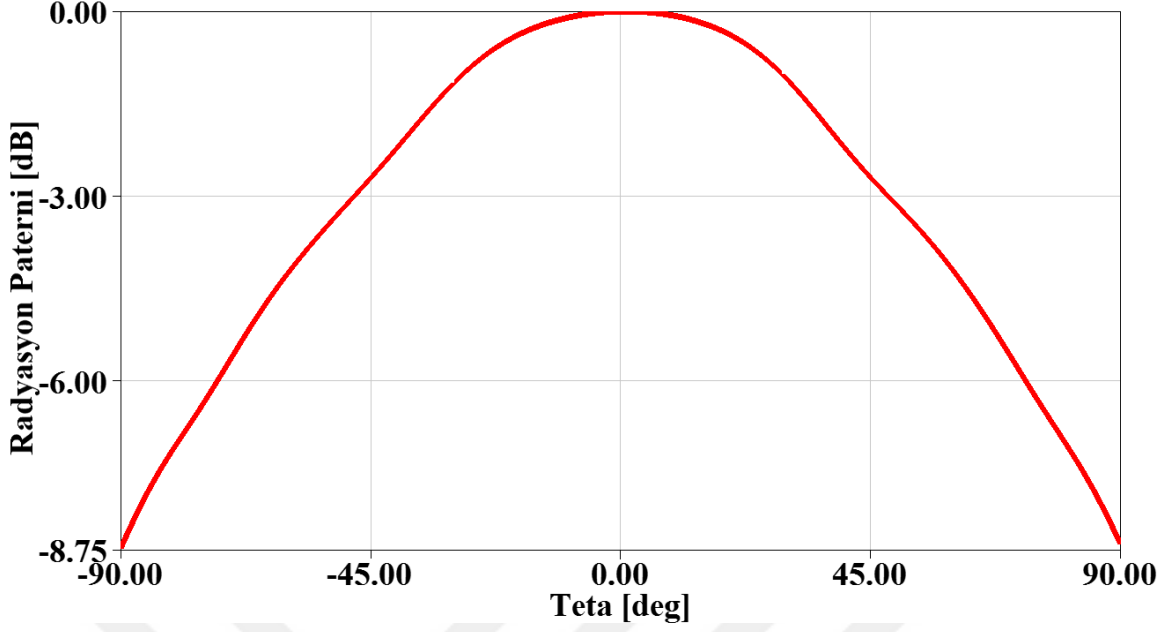
Şekil 62. Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin 3D ışıma paterni



Şekil 63. Mikroşerit yama anteninın 1x16 konik dizisinin geri dönüş kaybı S_{11}



Şekil 64. Mikroşerit yama anteninın 1x16 konik dizisinin $\phi=0$ 'deki 2D ışımada paterni



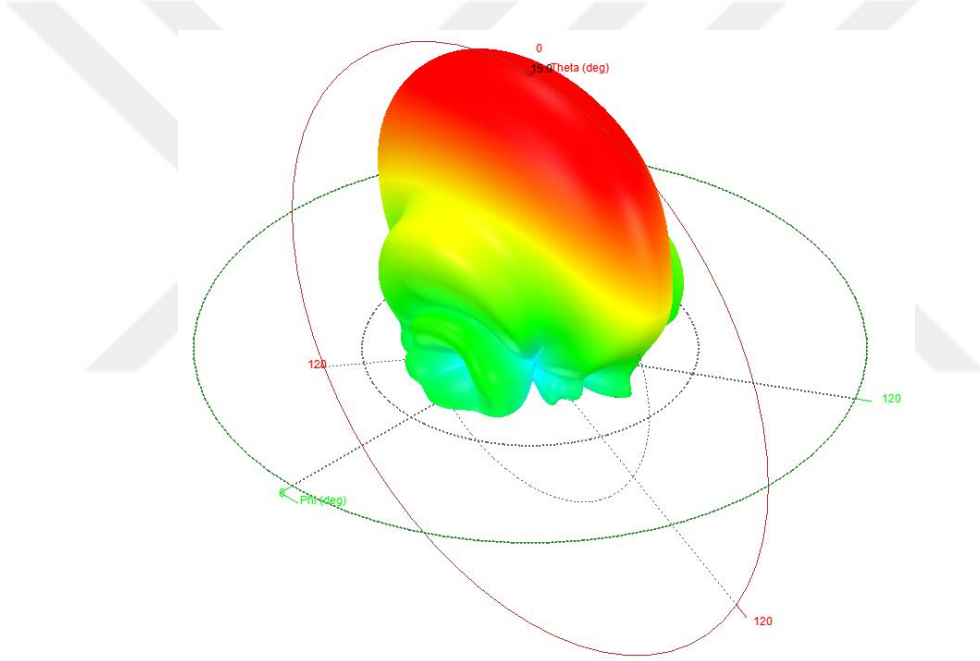
Şekil 65. Mikroşerit yama antenin 1x16 konik dizisinin $\phi=90^\circ$ 'deki 2D ışımada paterni

4.10. Işıma Paterni Yeniden Yapılandırılabilir Konik Anten Dizisi

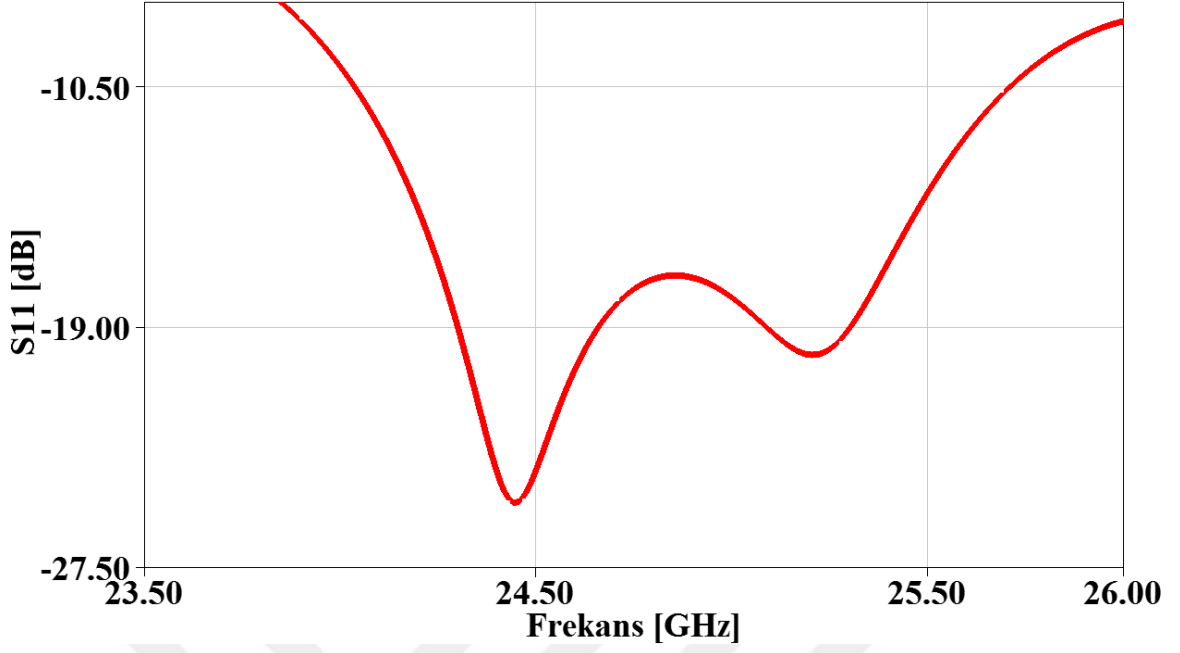
Bu kısımda yeniden yapılandırılabilir 2x8 anten dizisi 36 diyot anahtar ile tasarlanmıştır. Bu diyotların karakteristik özellikleri bölüm 2.12'de detaylarıyla bahsedilmiştir. Bu diyotlar iki gruba bölünmektedir. Birinci grup 24 diyotu kapsamaktadır ve faz kaydırıcıların hatlarını temsil etmektedir. İkinci grup yamalar arasında düz hat üzerine konumlandırılmış 12 diyotu kapsamaktadır. Birinci grup ON durumda, ikinci grup OFF durumda iken, anten paterninin ana lobu tamamen merkezde bulunmaktadır. İkinci grup ON ve birinci grup OFF durumda ise, anten paterninin ana lobu 10. derecede bulunmaktadır. Bu, 10 dereceden x eksenine doğru hareket etmektedir. Bu iki durum için genel sonuçlar Tablo 18'de gösterilmiştir. Anten teknik özelliklerinin iki durum için de fazla değişmediği sonucuna ulaşılmıştır. Yani antenin iki durum için de aynı performans ile çalıştığı anlamına gelmektedir. Şekil 68'den ve 69'ten, hem E hem de H düzlemlerindeki 0 derecelik durumda ışımada paterni z tam 0 derece yönündedir. 10 derecelik durumda, ışımada paterni, Şekil 72 ve 73 incelenirse x eksenine doğru on derece kaydırır. Anten ışımada paterninin hareket yönü, üç boyutlu radyasyon paterninin Şekil 66'da ve 70'te göstermiştir. Sonraki şekillerde her durum için anten parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 18. Işıma paterni yeniden yapılandırabilir konik anten dizisinin sonuçları

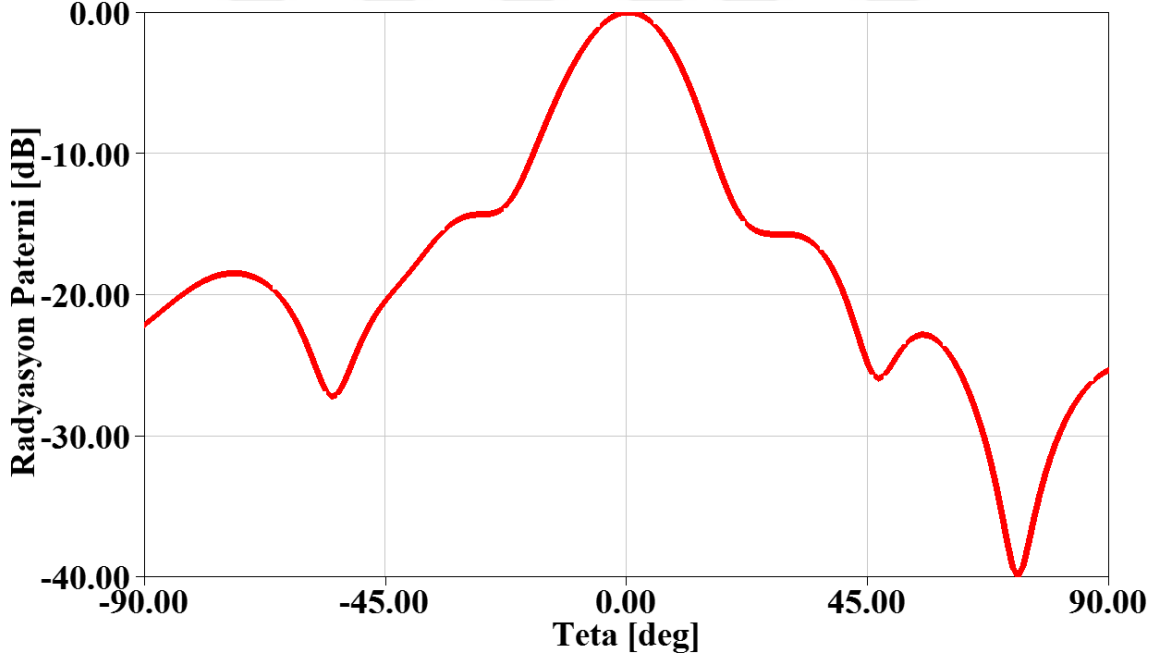
Parametre	0 Derecelik durumu	10 Derecelik durumu	Birim
S11	-10.1	-13	dB
Kazanç	13.99	13.57	dB
Yöneltim	15.3	15	dB
Verimlilik	75	72	%
Yan lob seviyesi SLL	-14.3	-15.6	dB
Bant genişliği	1.75	1.4	GHz
E düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	18	16	Derece
H düzlemindeki hüzm genişliği [HPBW]	53	50	Derece



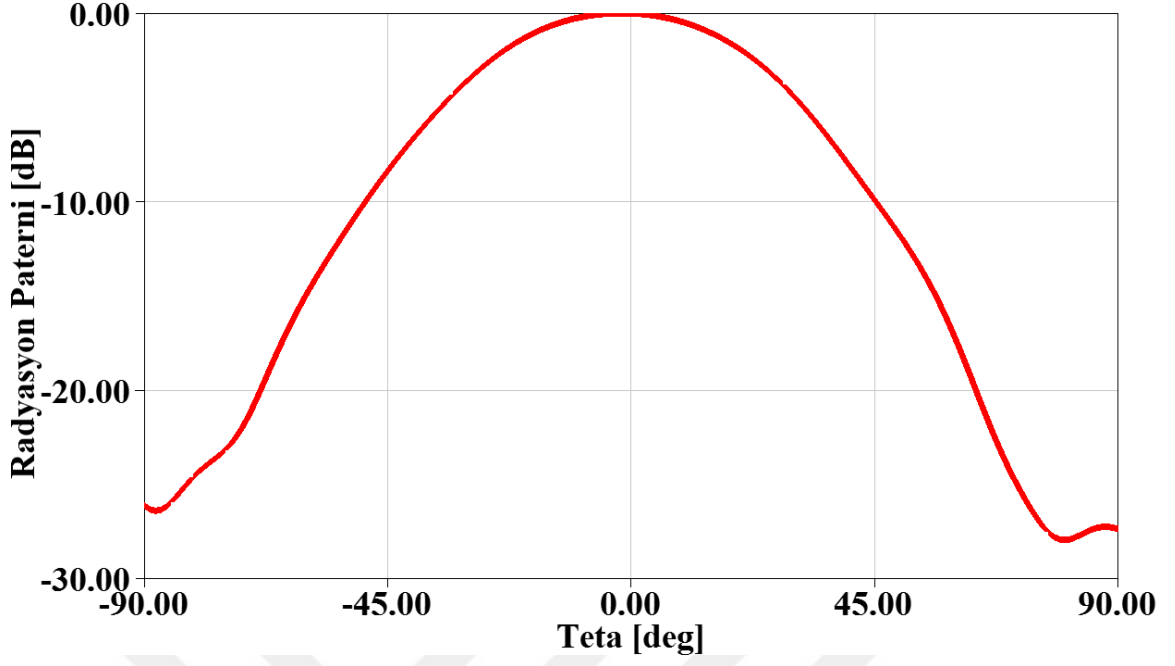
Şekil 66. Yeniden yapılandırabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, 3D ışıma paterni



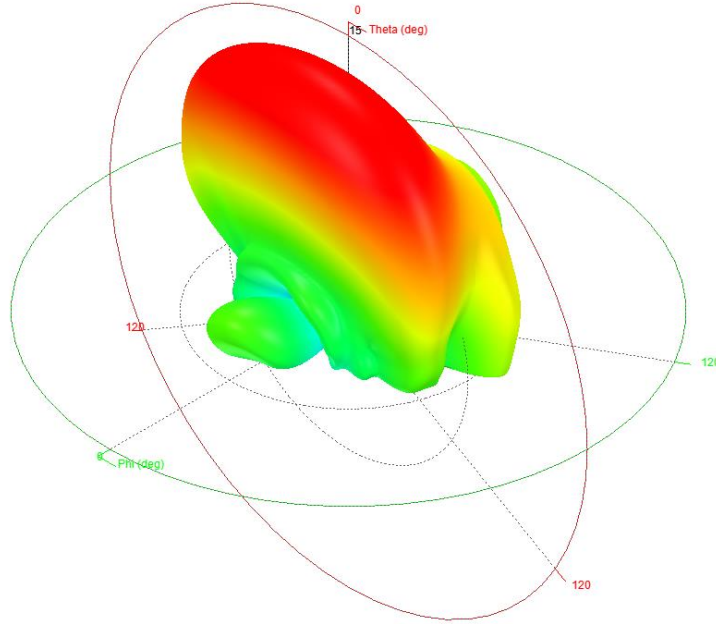
Şekil 67. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, geri dönüş kaybı S11



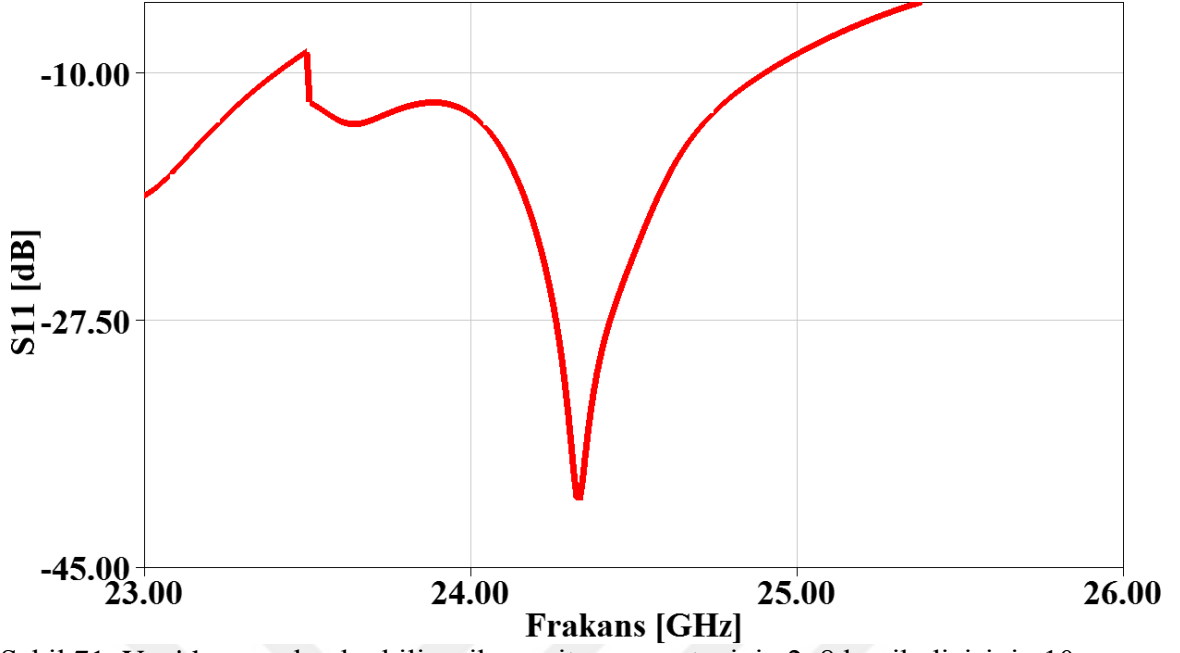
Şekil 68. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, phi=0 'deki 2D ışıma paterni



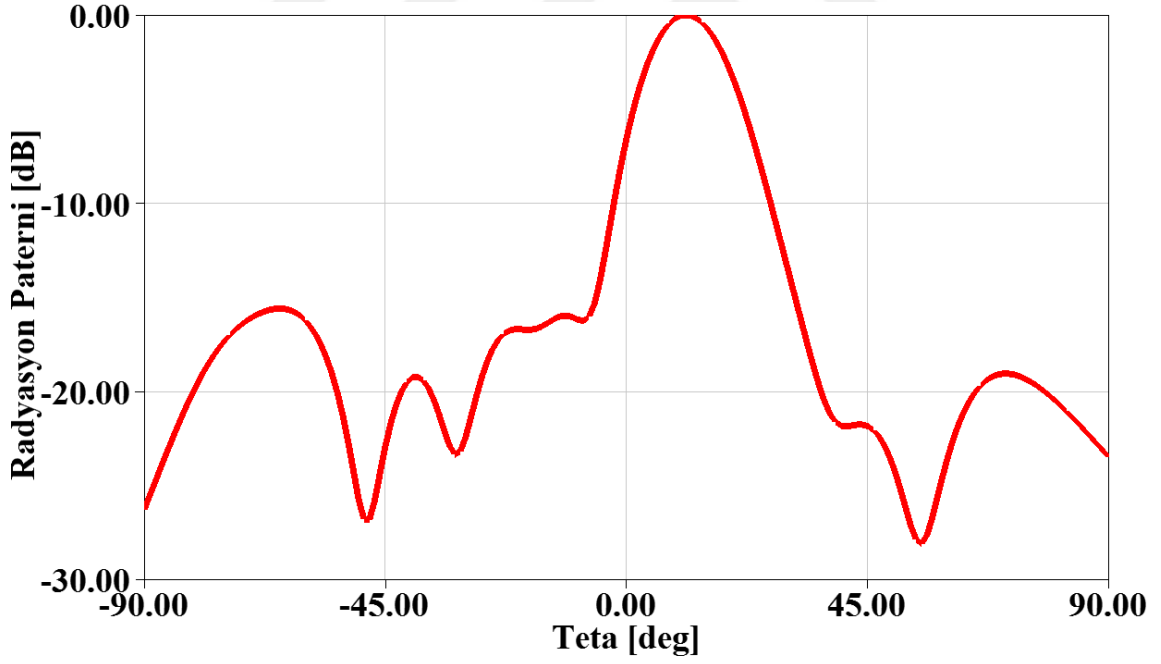
Şekil 69. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 0 derecede için, $\phi=90$ 'deki 2D ışıma paterni



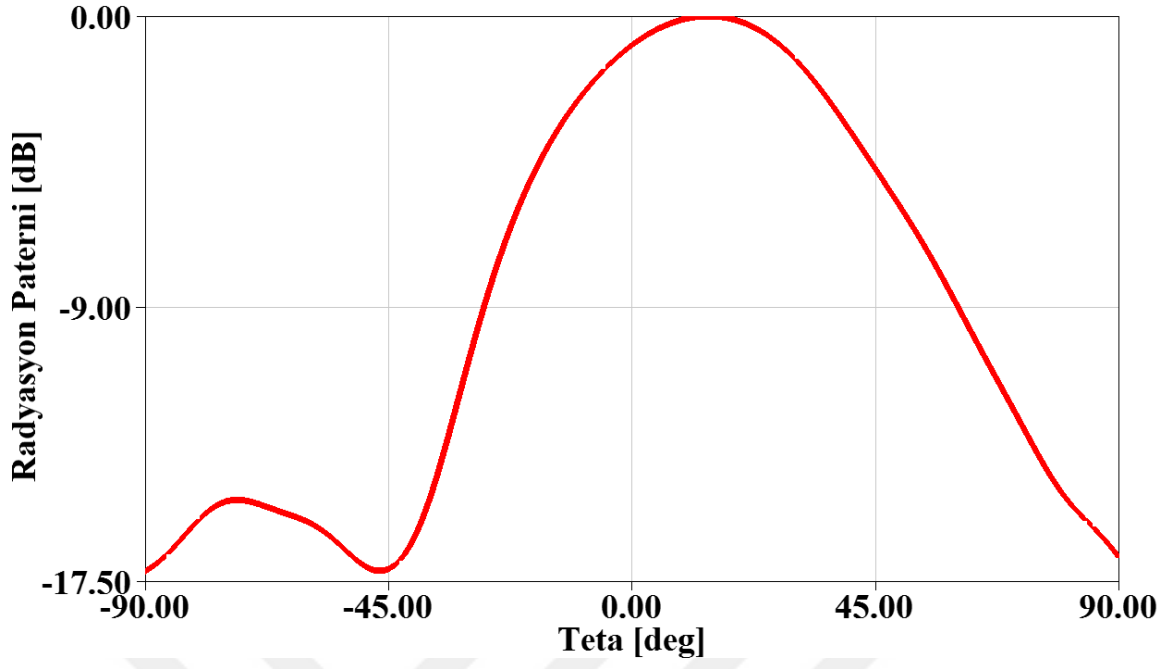
Şekil 70. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, 3D ışıma paterni



Şekil 71. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, geri dönüş kaybı S_{11}



Şekil 72. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, $\phi=0$ 'deki 2D ışıma paterni



Şekil 73. Yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin 2x8 konik dizisinin 10 derecede için, $\phi=90$ 'deki 2D ışınma paterni

5. ÖNERİLER

Anten dizilerinde 8, 16, 32 ve 64 elemanlı olanlar, en iyi kazancı ve mümkün olan en düşük yan lob seviyesini elde etmek için hibrit besleme ile tasarlanmıştır. Ayrıca, PIN diyotlar kullanarak 10 derecelik olan ışıma paterni yapılması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle SRR ve MRR sistemleri için büyük ölçüde tatmin edicidir. Ancak LRR sistemi için, gerekli kazancı elde etmek için, bu araştırmada tasarlanan diziye dayalı ve 256 elemanlı olan bir 16x16'lık anten dizisi önerilmektedir. Aynı şekilde, tasarlanan sistemin hassasiyeti 5 derece ya da ancak 1 derece hassasiyetle tasarlanırsa, radarın doğruluğu önemli ölçüde artacak ve LRR sistemi için gereken doğruluk sağlanmış olacaktır. Önerilebilecek bir başka konu ise tasarlanacak anten dizisinde ışıma paterni taramanın yanı sıra 24 ve 77 GHz olmak üzere iki farklı frekansta çalışabilecek düzeneğin kurulmasıdır. Burada frekans ve ışıma paterni yeniden yapılandırılabilir anten dizisinin tüm otomotiv radar uygulamaları için birlikte çalışabilmesi bir sonraki araştırmamızın konusu olacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. www.worldometers.info/cars/ Worldmeter, Car production. 29 Şubat 2020.
2. www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/ Statista, Number of cars sold worldwide from 1990 to 2020. 29 Şubat 2020.
3. World Health Organisation, WHO, Global Status Report On Road Safety 2018, France, 2018, ISBN 978-92-4-156568-4.
4. www.globenewswire.com/news-release/2019/11/28/1953550/0/en/Automotive-Radar-Market-Volume-to-Reach-43-6-Million-Units-by-2026-Rising-Demand-for-Safety-Features-in-Cars-to-Boost-Growth-Fortune-Business-Insights.html Automotive Radar Market Volume to Reach 43.6 Million Units by 2026. 09 Mart 2020.
5. Widmann, G.R., Daniels, M.K., Hamilton, L., Humm, L., Riley, B., Schiffmann, J.K., Schnelker, D.A. ve Wishon, W.H., Comparison of Lidar-Based and Radar-Based Adaptive Cruise Control Systems, SAE Transactions Journal, 109,7 (2000) 126-139.
6. Rasshofer, R. H. ve Gresser, K., Automotive Radar and Lidar Systems for Next Generation Driver Assistance Functions, Advances in Radio Science, 3 (2005) 205-209.
7. Suliman, F. ve Yazgan, A., 24 GHz Otomotive Radar Sistemi için Azaltılmış Yan Kulaklı Yama Anten dizi Tasarımı, 28. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2020, Gaziantep, Türkiye, Bildiriler Kitabı.
8. www.pathpartnertech.com/understanding-radar-for-automotive-adas-solutions Understanding Radar for automotive (ADAS) solutions. 09 Mart 2020.
9. Hülsmeier, C., Verfahren, Um Entfernte Metallische Gegenstände Mittels Elektrischer Wellen Einem Beobachter Zu Melden, German Patent DE165546, 1904.
10. Walden, M., Automotive Radar – From Early Developments to Self-Driving Cars, 2015.
11. Wu, D., 76-81 GHz Planar Antenna Development and Utilization for Automotive Radar Applications, Yüksek Lisans Tezi, Chalmers University of Technology, Department of Microtechnology and Nanoscience, Göteborg, İsveç, 2016.
12. Merlo, A. L., Automotive Radar for the Prevention of Collisions, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, 11,1 (1964) 1-6.
13. Dickmann, J. ve Meinel, H., Automotive Radar: From Its Origin to Future Directions, Microwave Journal, 56,9 (2013) 24-40.
14. Grgic, M., Generic Radar Model for Automotive Applications, Yüksek Lisans Tezi, Graz University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Graz, Avusturya, 2015.
15. Nazır, M., Automotive Radar Target Detection Using Ambiguity Function, Doktora Tezi, University of Birmingham, Department of Electronic, Electrical and Systems, Birmingham, İngiltere, 2016.

16. Uttamchandani, D., Handbook of MEMS for wireless and mobile applications, First Edition, Woodhead, Sawston, 2013.
17. Mende, R. ve Rohling, H., New Automotive Applications for Smart Radar Systems, 2002.
18. Kissinger, D., Millimeter-Wave Receiver Concepts for 77 GHz Automotive Radar in Silicon-Germanium Technology, Springer, Erlangen, 2012.
19. Hamieh, I.A., A 77 GHz Reconfigurable Micromachined Microstrip Antenna Array, Yüksek Lisans Tezi, University of Windsor, Ontario, Kanada, 2012.
20. ITU-R M.2057-1, Systems characteristics of automotive radars operating in the frequency band 76-81 GHz for intelligent transport systems applications, International Telecommunication Union Report, Geneva, 2018.
21. Balanis, C. A., Antenna Theory Analysis and Design, Third Edition, A John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.
22. Shin, H. S. ve Kim, N., Wideband and high-gain one-patch microstrip antenna coupled with H-shaped aperture, Electronics Letters Journal, 38,19 (2002) 1072-1073.
23. Ozenc, K., Aydemir, M. E. ve Öncü, A. O., Design of a 1.26 GHz high gain microstrip patch antenna using double layer with air gap for satellite reconnaissance, 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), 2013, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 499-504.
24. Felita, C., Suryanegara, M., 5G key technologies: Identifying innovation opportunity, International Conference on QiR, 2013, Yogyakarta, Endonezya, Bildiriler Kitabı, 235-238.
25. Rappaport, T.S., Shu Sun, Mayzus, R., Hang Zhao; Azar, Y., Wang, K., Wong, G.N., Schulz, J.K., Samimi, M. ve Gutierrez, F., Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!, IEEE Access, 1 (2013) 335-349.
26. Dolph, C.L., A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationship between Beam Width and Side-Lobe Level, Proceedings of the IRE, 34,6 (1946) 335-348.
27. Doerry, A.W., Catalog of Window Taper Functions for Sidelobe Control, SANDIA Report, California, 2017.
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Side_lobe Wikipedia, Side lobe, 1 February 2020.
29. The Toan, T., Minh Tran, N. ve Vu Bang Giang, T., A Novel Chebyshev Series Fed Linear Array with High Gain and Low Sidelobe Level for WLAN Outdoor Systems, Applied Computational Electromagnetics Society Journal, 38,8 (2019) 1143-1151.
30. Bernhard, T.J., Reconfigurable Antennas, Morgan & Claypool, Champaign, 2007.
31. National Instruments (NI), mmWave Automotive Radar and Antenna System Development, 2018.
32. Kouemou, G., Radar Technology, InTechOpen, Rijeka, 2009.

33. Schneider, M., Automotive Radar – Status and Trends, Robert Bosch GmbH, Germany, 2005.
34. Stateczny, A., Kazimierski, W., Gronska-Sledz, D. ve Motyl, W., The Empirical Application of Automotive 3D Radar Sensor for Target Detection for an Autonomous Surface Vehicle's Navigation, MDPI Remote Sensors, 11,10 (2019) 1-18.
35. Chipengo, U., Krenz, P. M. ve Carpenter, S., From Antenna Design to High Fidelity, Full Physics Automotive Radar Sensor Corner Case Simulation, Modelling and Simulation in Engineering, 2018,3 (2018) 1-19.
36. Klotz, M. ve Rohling, H., 24 GHz radar sensors for automotive applications, 13th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, 2000, Wroclaw, Polonya., Bildiriler Kitabı, 11-14.
37. Tristant, P., Automotive 24 GHz UWB Short-Range Radars, ITU/WMO Seminar on use of radio spectrum for meteorology: Weather, Water and Climate monitoring and prediction, 2009.
38. Peixeiro, C., Microstrip patch antennas: An historical perspective of the development, 2011 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011), 2012, Natal, Brezilya, Bildiriler Kitabı, 684-688.
39. Deschamps, G. A. ve Sichak, G., Microstrip Microwave Antennas, Third USAF Symposium on Antennas, 1953, Illinois, Amerika Birleşik Devletleri, Bildiriler Kitabı.
40. Gutton, H. ve Baissinot, G., Flat Aerial for Ultra High Frequencies, French Patent No. 703 113, 1955.
41. Munson, R., Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 22,1 (1974) 74-78.
42. Bahl, I. J. ve Bhartia, P., Microstrip Antennas, Artech House, Dedham, 1980.
43. Mishra1, R., An Overview of Microstrip Antenna, HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR), 21,2 (2016) 1-17.
44. Jackson, D. R., Introduction to Microstrip Antennas, 2013 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI National Radio Science Meeting, 2013, Florida, Amerika Birleşik Devletleri, Bildiriler Kitabı.
45. Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. ve Ittipiboon, A., Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Norwood, 2001.
46. Mahamine, S. D., Parbat, R. S., Bodake, S. H. ve Aher, M. P., Effects of different substrates on Rectangular Microstrip patch Antenna for S-band, 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), 2016, Pune, Hindistan, Bildiriler Kitabı, 1142-1145.
47. Hanumante, V., Bhattacharjee, P., Roy, S., Chakraborty, P. ve Maity, S., Performance Analysis of Rectangular Patch Antenna for Different Substrate Heights, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, 2,1 (2014) 515-518.

48. Paul, L. C., Hosain, M. S., Sarker, S., Prio, M. H., Morshed, M. ve Sarkar, A. K., The Effect of Changing Substrate Material and Thickness on the Performance of Inset Feed Microstrip Patch Antenna, American Journal of Networks and Communications, 4,3 (2015) 54-58.
49. Gupta, N. ve Raman, R., Selection of Microstrip Patch Antenna Substrate for WLAN Application Using Multiple Attribute Decision Making Approach, International Journal of Microwave Science and Technology, 2014,4 (2014) 1-5.
50. Pranathi, G.V.P., Rani, N. D., Satyanarayana, M. ve Rao, G.T., Patch Antenna Parameters Variation with Ground Plane Dimensions, International Journal of Advanced Research in Electrical Electronics and Instrumentation Engineering, 4,8 (2015) 7344-7350.
51. Khatib, B., Modeling of Array Antenna Using Artificial Neural Networks, Yüksek Lisans Tezi, University of Aleppo, Faculty of Electrical & Electronic Engineering, Department of Communication Engineering, Halep, Suriye, 2017.
52. Amman, M., Design of rectangular microstrip patch antennas for the 2.4 GHz band, Applied Microwave & Wireless Journal, 9,6 (1997) 24-34.
53. Ali, M., Kachouri, A. ve Samet, M., Novel method for planar microstrip antenna matching impedance, Journal of Telecommunication, 2,2 (2010) 131-138.
54. Singh, J., Inset Feed Microstrip Patch Antenna, International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 5,2 (2016) 324-329.
55. Matin, M.A. ve Sayeed, A. I., A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna, Wseas Transactions on Communications, 1,9 (2010) 63-72.
56. Yazgan, A., RoF Tabanlı Çok Bandlı Bilişsel Radyo İçin Yeniden Yapılandırılabilir Sierpinski Fraktal Anten Sistemi Tasarımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce, Trabzon, Türkiye, 2015.
57. Raithatha, U. ve Kashyap, S. S., Microstrip Patch Antenna Parameters, Feeding Techniques & Shapes of the Patch – A Survey, International Journal of Scientific & Engineering Research, 6,4 (2015) 981-984.
58. Jangi Golezani, J., Novel Techniques of Array Antenna Design for Satellite Communication, Doktora Tezi, istanbul teknik üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
59. Kim, T., Lee, Y., Kang, B. ve Ślęzak, D., Future Generation Information Technology, Third Edition, Springer, Güney Kore, 2011.
60. Harty, D. D., Novel Design of a Wideband Ribcage-dipole Array and ITS Feeding Network, Yüksek Lisans Tezi, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, İngiltere, 2010.
61. Singh, H., Sneha, H. L. ve Jha, R. M., Mutual Coupling in Phased Arrays: A Review, International Journal of Antennas and Propagation, 2013 (2013) 1-23.
62. Tector, I., Mutual coupling effects and optimum architecture of a sparse antenna array, Yüksek Lisans Tezi, KTH School of Information and Communications Technology (ICT), Stokholm, İsveç, 2013.

63. Bayat, N., Hassani, H.R. ve Nezhad, S. M. A., Sidelobe level reduction in microstrip patch antenna array, 2011 Loughborough Antennas & Propagation Conference, 2011, Loughborough, Birleşik Krallık, Bildiriler Kitabı.
64. Yin, J., Wu, Q., Yu, C., Wang, H. ve Hong, W., Low-Sidelobe-Level Series-Fed Microstrip Antenna Array of Unequal Interelement Spacing, IEEE Antennas and Propagation Letters, 16 (2017) 1695-1698.
65. Pandey, A., Practical Microstrip and Printed Antenna Design, Artech House, Londra, 2019.
66. Pozar, D. M. ve Kaufman, B., Design Considerations for Low Sidelobe Microstrip Arrays, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 38,8 (1990) 1176-1185.
67. Yang, H., Li, T., Xu, L., Cao, X., Gao, J., Tian, J., Yang, H. ve Sun, D., A New Strategy to Design Microstrip Antenna Array with Low Side-Lobe Level and High Gain, IEEE Access, 7 (2019) 152715-152721.
68. Abdulhameed, M. K., Mohamad Isa, M. S., Ibrahim, I. M., Zakaria, Z., Mohsen, M. K., Attiah, M. L. ve Dinar, A. M., Side lobe reduction in array antenna by using novel design of EBG, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 10,1 (2020) 308-315.
69. Yook, J. G. ve Katehi, L. P. B., Micromachined Microstrip Patch Antenna with Controlled Mutual Coupling and Surface Waves, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 49,9 (2001) 1282-1289.
70. Mahmood, A.S. ve Ibrahim, D.A., Study of the Binomial Excitation of a Linear Broadside 10-Element Dipole Antenna Array, International Journal of Electronics Communication and Computer Engineering, 7,3 (2016) 147-155.
71. Aziz, H., Moubadir, M., Touhami, N.A., Farkhsi, A. ve Tazon, A., Reducing Side Lobes of Antenna Array by The Binomial Method, International Journal of Microwave and Optical Technology, 11,1 (2016) 40-44.
72. Zhang, Y., Wang, W., Wang, R., Deng, Y., Jin, G. ve Long, Y., A Novel NLFM Waveform with Low Sidelobes Based on Modified Chebyshev Window, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 17,5 (2020) 814-818.
73. Fadlallah, N., Gargouri, L., Hammami, A., Ghayoula, R., Gharsallah, A. ve Granada, B., Antenna Array Synthesis with Dolph-Chebyshev Method, 11th Mediterranean Microwave Symposium, 2011, Yasmine Hammamet, Tunus, Bildiriler Kitabı.
74. Taylor, T. T., Design of Line-Source Antennas for Narrow Beamwidth and Low Side Lobes, Transactions of the IRE Professional Group on Antennas and Propagation, 3, 1 (1955) 16-28.
75. Villeneuve, A. T., Taylor Patterns for Discrete Arrays, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 32,10 (1984) 1089-1093.
76. Hassan, M. ve Karmakar, N., Comparative Study of Different Power Distribution Methods for Array Antenna Beamforming for Soil Moisture Radiometer, 2017 Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST), 2017, Sydney, Avustralya, Bildiriler Kitabı.

77. Mailloux, R. J., *Phased Array Antenna Handbook*, Second Edition, Artech House, Norwood, 2005.
78. Skobelev, S. P., *Phased Array Antennas with Optimized Element Patterns*, Artech House, Norwood, 2011.
79. Hong, W., Jiang, Z. H., Yu, C., Zhou, J., Chen, P., Yu, Z., Zhang, H., Yang, B., Pang, X., Jiang, M., Cheng, Y., Al-Nuaimi, M. K. T., Zhang, Y., Chen, J. ve He, S., *Multibeam Antenna Technologies for 5G Wireless Communications*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65,12 (2017) 6231-6249.
80. Bernhard, J. T., *Reconfigurable Antennas*, Morgan & Claypool, Illinois, 2006.
81. Volakis, J. L., Johnson, R. C. ve Jasik, H., *Antenna Engineering Handbook*, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, 2007.
82. Yashchyshyn, Y., *Reconfigurable antennas by RF switches technology*, 2009 5th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, 2009, Zakarpatya, Ukrayna, Bildiriler Kitabı.
83. Guo, Y. J., Qin, P. Y. ve Bird, T. S., *Advances in Reconfigurable Antennas for Wireless Communications*, 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2015, Lizbon, Portekiz, Bildiriler Kitabı.
84. Parchin, N. O., Basherlou, H. J., Al-Yasir, Y. I. A., Abdulkhaleq, A. M. ve Abd-Alhameed, R. A., *Reconfigurable Antennas: Switching Techniques-A Survey*, Electronics, 9,336 (2020).
85. Mohanta, H. C., Kouzani, A. Z. ve Mandal, S. K., *Reconfigurable Antennas and Their Applications*, Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering, 6,4 (2019) 239-258.
86. Pagire T. G., *Design and Implementation of Reconfigurable Antenna*, International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology, 3,1 (2017) 964-965.
87. Al-Tamimi, H. M. ve Mahdi, S., *A Study of Reconfigurable Multiband Antenna for Wireless Application*, International Journal of New Technology and Research (IJNTR), 2,5 (2016) 125-134.
88. Padmanathan, S., Al-Hadi, A. A., Soh, P. J. ve Jamlos, M. F., *Reconfigurable Antennas for MIMO Applications: An Overview*, 2015 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED), 2015, Kuala Lumpur, Malezya, Bildiriler Kitabı.
89. Ding, C., Guo, Y. J., Qin, P. Y., Bird, T. S. ve Yang, Y., *A Defected Microstrip Structure (DMS)-Based Phase Shifter and Its Application to Beamforming Antennas*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 62,2 (2014) 641-651.
90. Lai, M. I., Wu, T. Y., Hsieh, J. C., Wang, C. H. ve Jeng, S. K., *Compact Switched-Beam Antenna Employing a Four-Element Slot Antenna Array for Digital Home Applications*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 56,9 (2008) 2929-2936.
91. Nair, S. V. S. ve Ammann, M. J., *Reconfigurable Antenna with Elevation and Azimuth Beam Switching*, IEEE Antennas and Propagation Letters, 9 (2010) 367-370.

92. Guo, Y. J., Qin, P. Y. ve Bird, T. S., Reconfigurable Antennas for Wireless Communications, 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2013, Göteborg, İsveç, Bildiriler Kitabı.
93. Genovesi, S., Di Candia, A. ve Monorchio, A., Compact and Low Profile Frequency Agile Antenna for Multistandard Wireless Communication Systems, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 62,3 (2014) 1019-1026.
94. Li, L., Wu, Z., Li, K., Yu, S., Wang, X., Li, T., Li, G., Chen, X. ve Zhai, H., Frequency-Reconfigurable Quasi-Sierpinski Antenna Integrating with Dual-Band High-Impedance Surface, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 62,9 (2014) 4459-4467.
95. Qin, P. Y., Weily, A. R., Guo, Y. J. ve Liang, C. H., Polarization Reconfigurable U-Slot Patch Antenna, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 58,10 (2010) 3383-3388.
96. Qin, P. Y., Guo, Y. J., Cai, Y., Dutkiewicz, E. ve Liang, C. H., A Reconfigurable Antenna with Frequency and Polarization Agility, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 10 (2011) 1373-1376.
97. Huff, G. H., Pan, H., Hartl, D. J., Frank, G. J., Bradford, R. L. ve Baur, J. W., A Physically Reconfigurable Structurally Embedded Vascular Antenna, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65,5 (2017) 2282-2288.
98. Tawk, Y., Costantine, J. ve Christodoulou, C. G., A Frequency Reconfigurable Rotatable Microstrip Antenna Design, 2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2010, Toronto, Kanada, Bildiriler Kitabı.
99. ROGERS Corporation, RO4000® Series High Frequency Circuit Materials, USA, 2018.
100. Huque, T. I., Hosain, K., Islam, S. ve Chowdhury, A., Design and performance analysis of microstrip array antennas with optimum parameters for X band applications, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2,4 (2011) 81-87.
101. MACOM, MA4AGBL912 PIN Diode Datasheet, Rev v5.
102. Khan, R. ve Dubkariya, D.C., Design of Series Feed Microstrip Antenna Array for Low Side Lobe Level, Journal of Electronics and Communication Technology, 6,3 (2015) 45-47.
103. Hill, T.A. ve Kelly, J.R., 28 GHz Taylor Feed Network for Sidelobe Level Reduction in 5G Phased Array Antennas, Microwave and Optical Technology Letters, 61,1 (2018) 37-43.
104. Wei, W. ve Wang, X., A 77 GHz Series Fed Weighted Antenna Arrays with Suppressed Side-Lobes in E- and H-Planes, Progress In Electromagnetics Research Letters, 72 (2018) 23-28.
105. Kumar, L.V.N., Satyanarayana, M. ve Singh, S.P., A Novel Technique for Sidelobe and Backlobe Reduction in Rectangular Microstrip Antenna Array Using Defected Ground Structures, International Journal of Applied Engineering Research, 13,22 (2018) 15961-15966.

106. Chae, S.C., Kim, G., Jo, H.W., Hwang, I.J., Cho, Y.J. ve Yu, J.W., Array Antenna with Suppressed Side Lobe Level for Millimeter-Wave Applications, International Symposium on Antennas and Propagation, 2018, Busan, Güney Kore, Bildiriler Kitabı.



ÖZGEÇMİŞ

05.02.1991 tarihinde Suriye Arap Cumhuriyeti, Halep'te doğdu. Lise öğrenimini 2009'da Bassam ALÖMER Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Halep Üniversitesi'nden Elektrik Elektronik Fakültesi Haberleşme Bölümü'nden mezun oldu. 1 yıl Halep Üniversite'deki Diller yüksek Enstitüsü (Higher Institute of Languages HIL)'de İngilizce dili eğitimi aldı. 1 yıl Kilis'te özel bir firmada Elektronik Mühendisi olarak iş hayatına başladı. 2017 yılında Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı (YTB) tarafından burs kazanıp 1 yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Türkçe Öğretim Uygulama ve Araştırma Merkezi (TÖMER)'de Türkçe dili öğrendi ve C1 sertifikası kazandı. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Kabul edilen Bildiriler:

Sulıman, F. ve Yazgan, A., 24 GHz Otomotive Radar Sistemi için Azaltılmış Yan Kulaklı Yama Anten dizi Tasarımı, 28. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2020, Gaziantep, Türkiye.

Ödüller ve destekler

1. Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı Burs, 2017