



MİKROŞERİT YAMA DİZİ ANTEN TASARIMI VE UYGULAMASI

Mehmet AKTAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Mehmet AKTAR tarafından hazırlanan “MİKROŞERİT YAMA DİZİ ANTEN TASARIMI VE UYGULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Nursel AKÇAM

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Erkan AFACAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Murat Hüsnü SAZLI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 10/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet AKTAR

10/05/2019

MİKROŞERİT YAMA DİZİ ANTEN TASARIMI VE UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet AKTAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2019

ÖZET

Otomobillerde çarpışma önleyici sistemler kısa menzilli ve uzun menzilli radarları barındırır. Genel olarak otomobil radarları 10 GHz, 16 GHz, 24 GHz, 35 GHz, 60 GHz, 79 GHz ve 94 GHz frekanslarında çalışırlar. Ancak çarpışma önleyici sistemlerde yaygın olarak kullanılan iki frekans bandı vardır. Bunlar 24 GHz ve 79 GHz frekanslarıdır. Bu çalışmada, otomobillerde çarpışma önleyici sistemlerde kullanılmak üzere farklı bantlarda çalışan mikroşerit yama antenler tasarlanmıştır. İlk olarak anten boyutları teorik olarak hesaplanmış, hesaplanan anten boyutu CST(Computer Simulation Technology) programı ile modellenmiş ve simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonucu anten parametrelerinin iyileştirilmesi amacı ile anten boyutlarında optimizasyon yapılmıştır. İlk tasarım yama anten elde edilmiştir. Sonrasında 24 GHz ve 79 GHz frekanslarında iyileştirme yapmak için anten içerisine daha küçük bir yama anten yerleştirilerek ikinci tasarım anten elde edilmiştir. Kazanç parametresini iyileştirmek için tasarlanan iki farklı tip anten kullanılarak 1x2 ve 2x2 dizi antenler elde edilmiştir. Tasarlanan tüm antenler üretilmiş, antenlerin S_{11} ve bant genişliği parametreleri ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda üç farklı frekans bandında çalışan antenler elde edilmiştir. Böylelikle farklı frekans bantlarında çalışan otomobil radarında kullanılacak antenler elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 90516
Anahtar Kelimeler : Yama anten, mikroşerit yama anten, otomobil radarı, otonom arabalar, K bant anten
Sayfa Adedi : 103
Danışman : Doç. Dr. Nursel AKÇAM

DESIGN AND APPLICATION OF MICROSTRIP PATCH ARRAY ANTENNA

(M. Sc. Thesis)

Mehmet AKTAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

Collision avoidance systems in automobiles include “Short Range Radar (SRR)” and “Long Range Radar (LRR)”. In general, car radars operate at 10 GHz, 16 GHz, 24 GHz, 35 GHz, 60 GHz, 79 GHz and 94 GHz frequencies. However, collision avoidance systems have two commonly used frequency bands. These are 24 GHz and 79 GHz frequencies. In this study, microstrip patch antennas operating in different bands are designed for use in collision avoidance systems in automobiles. Firstly, the antenna dimensions are calculated theoretically and the calculated antenna size is modeled and simulated by the CST program. In order to improve the antenna parameters, the optimization was made in the dimensions of the antenna and the first single patch antenna was obtained. Then a smaller patch antenna was placed in the antenna to make improvements in the 24 GHz and 79 GHz frequencies and the second antenna was obtained. Then, by using two designed single patch antennas to improve the gain parameter, 1x2 and 2x2 array antennas were designed. All designed antennas are produced. S_{11} and bandwidth parameters were measured. As a result of the study, antennas which work in three different frequency bands were obtained. Thus, antennas that can be used in car radar operating in different frequency bands is presented.

Science Code : 90516

Key Words : Patch antenna, microstrip patch antenna, automobile radar, autonomous automobile, K band antenna

Page Number : 103

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Nursel AKÇAM

TEŞEKKÜR

Öncelikle, lisans hayatımdan başlamak üzere tez çalışması süresince cesaretlendirmesi, yönlendirmesi ve desteğinden dolayı danışmanım Doç. Dr. Nursel AKÇAM'a çok teşekkür ederim. Tezimin ölçüm aşamasında laboratuvarlarını kullanmama izin verdikleri için Atılım Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölüm başkanı Doç. Dr. Efe ESELLER'e ve bölüm araştırma görevlilerine de teşekkür ederim. Çok kıymetli müstakbel eşim Karden BÜYÜKTANIR'a sonsuz maddi manevi desteği ve sabrından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Son olarak da benim bu günlere gelmemde sayısız desteği olan annem Semra ve babam Kasım'a teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ANTENLER	3
2.1. Anten Çeşitleri	3
2.1.1. Tel antenler	3
2.1.2. Açıklık antenler.....	3
2.1.3. Mikroşerit antenler.....	3
2.1.4. Dizi antenler	4
2.1.5. Yansıtıcı antenler	4
2.1.6. Lens antenler	5
2.2. Anten Parametreleri	5
2.2.1. Işıma örüntüsü.....	5
2.2.2. Yöneltilik.....	6
2.2.3. Anten verimi	7
2.2.4. Kazanç.....	7
2.2.5. Bant genişliği	8
2.2.6. Duran dalga oranı.....	9
2.2.7. Saçılım parametreleri	10

3. MİKROŞERİT YAMA ANTEN	13
3.1. Kare Mikroşerit Yama Anten Tasarım Parametreleri	15
3.2. Mikroşerit Hat Tasarımı	18
3.2.1. Çeyrek dalga dönüştürücü	20
3.3. Mikroşerit Güç Bölücüler	21
3.3.1. T-Eklem güç bölücü	22
3.3.2. Wilkinson güç bölücü	25
3.4. Mikroşerit Dizi Antenler	30
3.4.1. İki elemanlı dizi	31
3.4.2. Dizi elemanları besleme yöntemleri	35
4. RADARLAR	41
4.1. Otomobil Radarları	43
5. OTOMOBİL RADARLARI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARLAMA	49
5.1. Tek Yama Anten Tasarımı ve Simülasyonu	49
5.2. Tek Anten Ölçüm Sonuçları	61
5.3. Dizi Yama Anten Tasarımı ve Simülasyonu	67
5.3.1. Birinci konfigürasyon (1x2) dizi anten simülasyon sonuçları	67
5.3.2. İkinci konfigürasyon (2x2) dizi anten simülasyon sonuçları	73
5.4. Dizi Yama Anten Ölçüm Sonuçları	79
5.4.1. Birinci konfigürasyon (1x2) dizi anten ölçüm sonuçları	79
5.4.2. İkinci konfigürasyon (2x2) dizi anten ölçüm sonuçları	84
5.5. Tasarlanan Antenlerin Sonuçlarının Karşılaştırması	88
6. SONUÇ	95
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. IEEE standart radar frekansı harf-bant isimlendirme	43
Çizelge 5.1. Teorik Hesaplanan Yama Anten Boyutları.....	50
Çizelge 5.2. Optimize Edilen Yama Anten Boyutları.....	54
Çizelge 5.3. Birinci ve ikinci anten simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu.....	89
Çizelge 5.4. Birinci ve ikinci anten ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu.....	89
Çizelge 5.5. Dizi 1 ve dizi 2 anten simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu	89
Çizelge 5.6. Birinci anten ve dizi 1 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu.....	90
Çizelge 5.7. İkinci anten ve dizi 2 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu	91
Çizelge 5.8. Dizi 1 ve dizi 2 ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu.....	91
Çizelge 5.9. Dizi 3 ve dizi 4 anten simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu	91
Çizelge 5.10. Birinci anten, dizi 1 ve dizi 3 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu.....	92
Çizelge 5.11. İkinci anten, dizi 2 ve dizi 4 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu.....	93
Çizelge 5.12. Dizi 3 ve dizi 4 ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu.....	93

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Mikroşerit dizi anten.....	4
Şekil 2.2. Derin uzay haberleşmesi için kullanılan yansıtıcı anten	5
Şekil 2.3. Anten ışınma örüntüsü yayılım kulakları	6
Şekil 2.4. İki portlu şebeke	10
Şekil 3.1. Farklı şekillerdeki mikroşerit yamaları	13
Şekil 3.2. Mikroşerit anten besleme çeşitleri (a) mikroşerit hat, (b) elektromanyetik bağlaşım, (c) açıklık bağlaşım, (d) eş yönlü dalga kılavuzu	14
Şekil 3.3. Mikroşerit yama anten içe doğru gömülü besleme	17
Şekil 3.4. Mikroşerit hat geometrisi	18
Şekil 3.5. Mikroşerit hattın elektrik (E) ve manyetik (H) alanı	18
Şekil 3.6. (a) Asıl geometri (b) Eşdeğer geometri	19
Şekil 3.7. Çeyrek dalga dönüştürücü	21
Şekil 3.8. (a) Güç bölücü (b) Güç bağlaştırmacı	22
Şekil 3.9. Mikroşerit hat T-eklem güç bölücü	22
Şekil 3.10. Kayıpsız T-eklem bölücü iletim hattı modeli	23
Şekil 3.11. Üç kapılı eşit bölünmüş dirençli güç bölücü	24
Şekil 3.12. Mikroşerit eşit bölünmüş Wilkinson bölücü	26
Şekil 3.13. Eşdeğer iletim hattı devresi	26
Şekil 3.14. Normalize ve simetrik Wilkinson güç bölücü	27
Şekil 3.15. Çift mod uyarımı	28
Şekil 3.16. Tek mod uyarımı	29
Şekil 3.17. Wilkinson güç bölücü S_{11} parametresi analizi (a) Sonlandırılmış Wilkinson güç bölücü (b) bölünmüş (a) devresi	30
Şekil 3.18. Z ekseninde yerleştirilmiş iki sonsuz küçük dipol	31
Şekil 3.19. Uzak alan gösterimi	32

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. Z eksenini boyunca yer alan izotropik kaynakların geometrik gösterimi	34
Şekil 3.21. Z eksenini boyunca yer alan izotropik kaynakların fazör gösterimi.....	35
Şekil 3.22. Basit tek taraflı paralel besleme hattı	36
Şekil 3.23. Çift taraflı paralel besleme hattı	37
Şekil 3.24. Mikroşerit ortak beslemeli dört yamalı anten dizisi	38
Şekil 3.25. Seri beslemeli mikroşerit dizi	39
Şekil 3.26. (a) Seri mikroşerit dizinin iletim hattı gösterimi (b) Mikroşerit elemanların mikroşerit iletim hattının yarım dalga boyu bölümleri arasında toplu direnç yükü gösterimi	39
Şekil 4.1. Farklı uygulamalar için anten konumları	44
Şekil 4.2. Farklı uygulamalar için anten konumları	45
Şekil 4.3. Otomobil radarları kullanım alanları	47
Şekil 5.1. Teorik olarak boyutları belirlenen anten	50
Şekil 5.2. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin S_{11} parametresi 9-12 GHz bandı simülasyon sonucu.....	51
Şekil 5.3. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 10 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü.....	51
Şekil 5.4. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin S_{11} parametresi 20-24 GHz bandı simülasyon sonucu.....	52
Şekil 5.5. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 24 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü.....	52
Şekil 5.6. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz bandı simülasyon sonucu.....	53
Şekil 5.7. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü.....	53
Şekil 5.8. Optimize edilmiş anten (birinci anten)	54
Şekil 5.9. Birinci antenin S_{11} parametresi 9-12 GHz bandı simülasyon sonucu	55
Şekil 5.10. Birinci antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	55
Şekil 5.11. Birinci antenin S_{11} parametresi 22-24 GHz bandı simülasyon sonucu.....	56
Şekil 5.12. Birinci antenin 24 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	56

Şekil	Sayfa
Şekil 5.13. Birinci antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz bandı simülasyon sonucu.....	57
Şekil 5.14. Birinci antenin 79 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü	57
Şekil 5.15. İçerisine küçük yama eklenmiş anten (ikinci anten).....	58
Şekil 5.16. İkinci antenin S_{11} parametresi 9-12 GHz bandı simülasyon sonucu	59
Şekil 5.17. İkinci antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü	59
Şekil 5.18. İkinci antenin S_{11} parametresi 22-26 GHz bandı simülasyon sonucu	60
Şekil 5.19. İkinci antenin 24 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü	60
Şekil 5.20. İkinci antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz bandı simülasyon sonucu	61
Şekil 5.21. İkinci antenin 79 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü.....	61
Şekil 5.22. Antenlerin üretim dosyaları	62
Şekil 5.23. Üretilen antenler	62
Şekil 5.24. E8363A network analizör [41]	63
Şekil 5.25. Test düzeneği.....	63
Şekil 5.26. Birinci anten 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.27. Birinci anten 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.28. İkinci anten 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.29. İkinci anten 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.30. Birinci ve ikinci anten 9-12 GHz karşılaştırması	66
Şekil 5.31. Birinci ve ikinci anten 22-24 GHz karşılaştırması	67
Şekil 5.32. Dizi 1 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	68
Şekil 5.33. Dizi 1 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü	68
Şekil 5.34. Dizi 1 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	69
Şekil 5.35. Dizi 1 antenin 24 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü	69
Şekil 5.36. Dizi 1 anteni 75-81 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	70

Şekil	Sayfa
Şekil 5.37. Dizi 1 antenin 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	70
Şekil 5.38. Dizi 2 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	71
Şekil 5.39. Dizi 2 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	71
Şekil 5.40. Dizi 2 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	72
Şekil 5.41. Dizi 2 anteni 24 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	72
Şekil 5.42. Dizi 2 anteni 75-81 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	73
Şekil 5.43. Dizi 2 anteni 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	73
Şekil 5.44. Dizi 3 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	74
Şekil 5.45. Dizi 3 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	74
Şekil 5.46. Dizi 3 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	75
Şekil 5.47. Dizi 3 antenin 24 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	75
Şekil 5.48. Dizi 3 anteni 75-81 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	76
Şekil 5.49. Dizi 3 antenin 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	76
Şekil 5.50. Dizi 4 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	77
Şekil 5.51. Dizi 4 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	77
Şekil 5.52. Dizi 4 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	78
Şekil 5.53. Dizi 4 antenin 24 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	78
Şekil 5.54. Dizi 4 anteni 75-81 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu.....	79
Şekil 5.55. Dizi 4 antenin 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü	79
Şekil 5.56. 1x2 Dizi antenlerin üretim dosyaları	80
Şekil 5.57. Üretilen 1x2 dizi antenler	80
Şekil 5.58. Dizi 1 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	81
Şekil 5.59. Dizi 1 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	81
Şekil 5.60. Dizi 2 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	82

Şekil	Sayfa
Şekil 5.61. Dizi 2 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	83
Şekil 5.62. Dizi 1 ve dizi 2 antenleri 9-12 GHz karşılaştırması	83
Şekil 5.63. Dizi 1 ve dizi 2 antenleri 22-24 GHz karşılaştırması	84
Şekil 5.64. 2x2 Dizi antenlerin üretim dosyaları	84
Şekil 5.65. Üretilen 2x2 dizi antenler	85
Şekil 5.66. Dizi 3 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	85
Şekil 5.67. Dizi 3 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.68. Dizi 4 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.69. Dizi 4 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması.....	87
Şekil 5.70. Dizi 3 ve dizi 4 antenleri 9-12 GHz karşılaştırması	88
Şekil 5.71. Dizi 3 ve dizi 4 antenleri 22-26 GHz karşılaştırması	88

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

AM	Amplitude modulation - Genlik modülasyonu
dB	Desibel
FM	Frequency modulation - Frekans modülasyonu
Hz	Hertz
mm	Milimetre
Ω	Ohm
Λ	Lambda
3D	3 dimensions - 3 boyutlu

Kısaltmalar

Açıklamalar

GPS	Global Positioning System
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
LRR	Long range radar
MMIC	Monolithic microwave integrated circuit
MIMO	Multiple input and multiple output
SDARS	Satellite Digital Audio Radio System
SRR	Short range radar
SWR	Standing wave ratio
VSWR	The voltage standing wave ratio

1. GİRİŞ

Anten, “Anten Terimlerinin IEEE Standart Tanımları” dokümanına göre “Verici veya alıcı birimlerin elektromanyetik dalgaları yayması veya alması için tasarlanan kısmı” olarak tanımlanmıştır [1]. Başka bir deyişle antenler kablosuz haberleşme sistemlerinin en kritik parçalarıdır [2].

1886 yılında Professor Heinrich Rudolph Hertz laboratuvarında kurduğu deney düzeneğinde, verici dipol üzerindeki $\lambda/2$ boşluğunda oluşturulan kıvılcım ile yakınında bulunan bir halka boşluğunda kıvılcım oluşturarak ilk kablosuz elektromanyetik sistemi sunmuştur [2]. Guglielmo Marconi'nin 1901 yılında yaptığı deneye kadar ise uzun mesafelerde sinyal gönderimi gerçekleştirilememiştir. Marconi'nin 152,4 metre anten kullanarak gönderdiği sinyal Poldhu, Cornwall İngiltere'den yaklaşık 3500 kilometre uzaklıktaki Hill, St. Hohn's, Newfoundland'dan alınmıştır [3].

1920'lerin başlarında yaygın olarak tel antenler kullanılmakta idi. Japonya'da Yagi ve Uda bir bakıma dizi antenin “doğuşu” sayılabilecek Yagi-Uda anten tasarımı sunmuşlardır. 1940'larda UHF (Ultra High Frequency) ve mikrodalga kaynakların geliştirilmesi ile birlikte mikrodalga anten teknolojisi doğmuştur. Bu gelişme horn anten (boynuz anten), yansıtıcı anten vb. tipte antenlerin temelini oluşturmuştur. Geniş bant ve frekans bağımsız antenlerin gelişimi ise 1950'lerdedir. 1970'lerde mikroşerit/yama anten tasarımı ortaya çıkmıştır. Tekil eleman kullanımının yanı sıra dizi kullanımı birçok alana uygulanmıştır. Yüksek fiyatlı üretimi sebebiyle ilk olarak askeri alanda kullanılmıştır. 1990'larda ise anten teknolojisi yayılım elemanlarının performansının optimizasyonu için malzeme birleştirmeleri üzerine odaklanmıştır. Bu dönemde çoklu giriş-çoklu çıkış (MIMO-Multiple Input Multiple Output) antenler, yeniden ayarlanabilir antenler, fraktal antenler, çok bant antenler çalışılan konular olmuşlardır. Günümüzde kablosuz haberleşme için çok bantlı antenler geliştirilmekte ve antenlerin performansları iyileştirilirken boyutlarının küçültülmesi üzerine odaklanılmaktadır [3].

Bu tez çalışmasında, otomobiller için çarpışma önleyici sistemlerde kullanılması amacı ile mikroşerit yama anten tasarımı sunulmuştur. Çarpışma önleyici sistemler kısa menzilli radar (SRR-Short Range Radar) ve uzun menzilli radarları (LRR-Long Range Radar) barındırır. Otomobil radarlarında kullanılan frekanslar 10GHz, 16GHz, 24GHz, 35GHz, 60 GHz, 79

GHz ve 94 GHz olarak sıralanabilir [4]. Tüm bu frekanslar içerisinde yaygın olarak 24 GHz ve 79 GHz frekansları kullanılmaktadır. Bu çalışmada sunulan anten tasarımı 10 GHz, 24 GHz ve 79 GHz bantlarında çalışan bir çokbantlı antendir. Burada tek bir antenin yaygın olarak kullanılan otomobil radarı uygulamalarında kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın 2. bölümünde anten çeşitleri ve anten parametreleri anlatılmıştır. 3. bölümde mikroşerit antenlerin tasarım parametrelerinden, mikroşerit hat tasarımından, mikroşerit güç bölücülerden ve mikroşerit dizilerden bahsedilmiştir. Çalışmanın 4. bölümünde radarların tarihsel gelişimi, radar çeşitleri ve otomobil radarları anlatılmıştır. 5. bölümde ise otomobil radarları için tasarlanan mikroşerit tek ve dizi yama antenlerin tasarım parametreleri, simülasyon sonuçları ve ölçüm sonuçları paylaşılmıştır.



2. ANTENLER

2.1. Anten Çeşitleri

Antenler fiziksel yapıları ve işlevlerine göre sınıflandırılırlar. Aşağıda yaygın olarak kullanılan anten tipleri anlatılmıştır.

2.1.1. Tel antenler

Tel antenler otomobiller, binalar, gemiler, hava araçları, uzay araçları gibi birçok yerde kullanıldığı için birçok kişi tarafından bilinir. Tel antenlerin dipol anten, halka anten, helis anten gibi birçok farklı çeşidi vardır. Bunların içerisinde halka anten, dairesel halka anten, kare halka anten, elips halka anten gibi alt çeşitlere ayrılır [5].

2.1.2. Açıklık antenleri

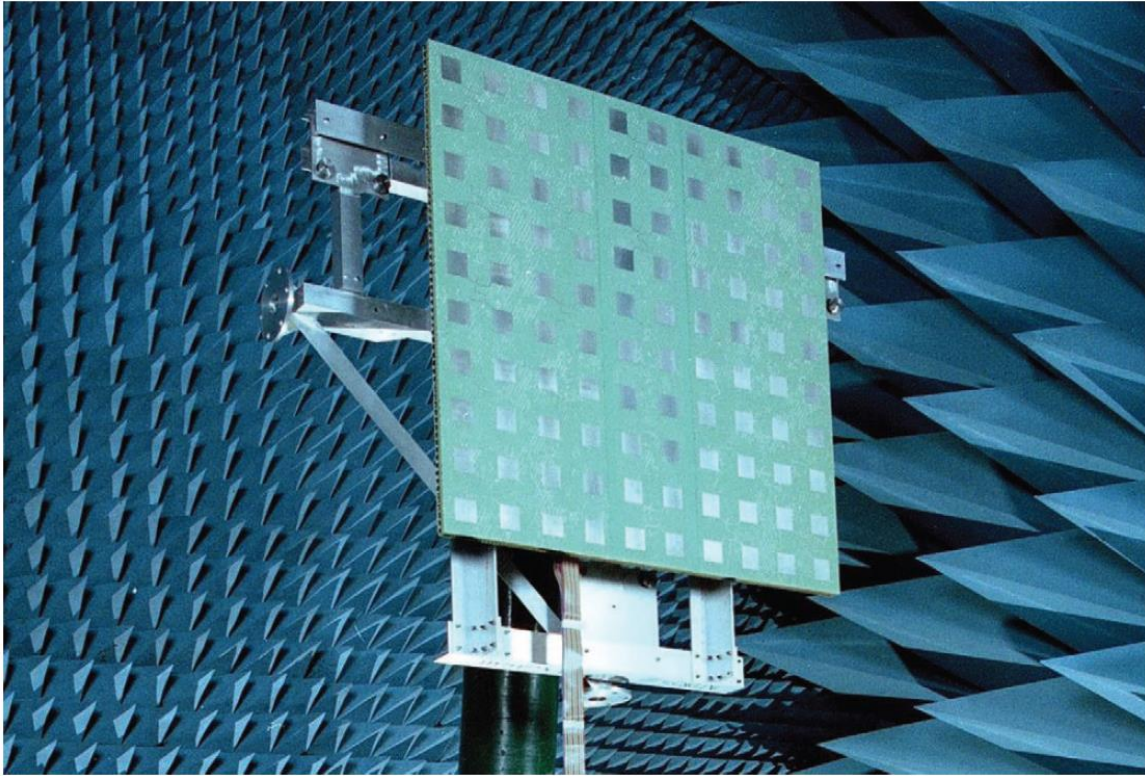
Açıklık antenleri, günümüzde yüksek frekansların kullanımının ve daha karmaşık anten formlarına talebin artması sebebiyle geçmişe göre daha fazla kullanılmaktadırlar. Piramit horn, konik horn, dikdörtgen dalga kılavuzu bazı açıklık anteni çeşitleridir. Açıklık anteni çeşitleri hava araçları ve uzay araçları uygulamaları için çok kullanışlıdır, çünkü bu araçların yüzeylerine rahatlıkla gömülü şekilde monte edilebilmektedirler. Ayrıca dielektrik malzeme ile kaplanarak çevrenin zararlı etkilerinden korunurlar [5].

2.1.3. Mikroşerit antenler

Mikroşerit antenler 1970'lerde uzay uygulamaları kullanımında oldukça popülerdi. Günümüzde de devlet ve sivil uygulamalarda kullanılmaktadır. Anten üzerindeki metal yama dikdörtgen, dairesel gibi farklı konfigürasyonlarda olabilmektedir. Dikdörtgen mikroşerit yama anten kolay analizi ve üretimi, yayılım karakteristiği ve özellikle düşük çapraz kutuplanma yayılımı özelliklerinden dolayı en yaygın kullanılan türdür. Mikroşerit antenler, düşük profilli, düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere uygun, modern baskı devre teknolojisi ile ucuz ve kolay üretilebilir, sert yüzeylere montajında dayanıklı ve MMIC (Monolithic microwave integrated circuit) tasarım ile uyumludur. Mikroşerit antenler yüksek performanslı hava araçlarının, uzay araçlarının, uyduların, füzelerin, arabaların ve mobil cihazların yüzeylerine takılabilmektedirler [5].

2.1.4. Dizi antenler

Birçok uygulama tek bir eleman tarafından elde edilemeyecek ışınma özelliklerine ihtiyaç duyar. Bununla birlikte, yayılım elemanlarının elektriksel ve geometrik olarak bir arada bulunması, dizi oluşturması, ihtiyaç duyulan yayılım karakteristiğini oluşturabilir. Dizi anten oluşturularak, dizi elemanlarının yayılımını toplayarak maksimum yayılımın bir yönde veya yönlerde olmasını ve diğer yönlerde minimum yayılım olmasını sağlayabilir [5].



Şekil 2.1. Mikroşerit dizi anten [5]

2.1.5. Yansıtıcı antenler

Dış uzay araştırmalarında başarılar elde edilmesi, anten teorisinin ilerlemesini sağlamıştır. Çünkü haberleşme sinyallerinin milyonlarca mil boyunca iletilmesi için karmaşık antenlerin kullanımına ihtiyaç vardı. Bu amaçla yansıtıcı antenler kullanılmıştır. En yaygın yansıtıcı anten formları ön uçlu parabolik yansıtıcı ve Cassegrain beslemeli parabolik yansıtıcıdır. Bu tipte antenler 305m veya daha büyük çapta üretilmişlerdir. Antenin böyle büyük boyutta üretilmesinin sebebi uzak mesafe haberleşmesi için yüksek kazanç ihtiyacıdır [5].



Şekil 2.2. Derin uzay haberleşmesi için kullanılan yansıtıcı anten [6]

2.1.6. Lens antenler

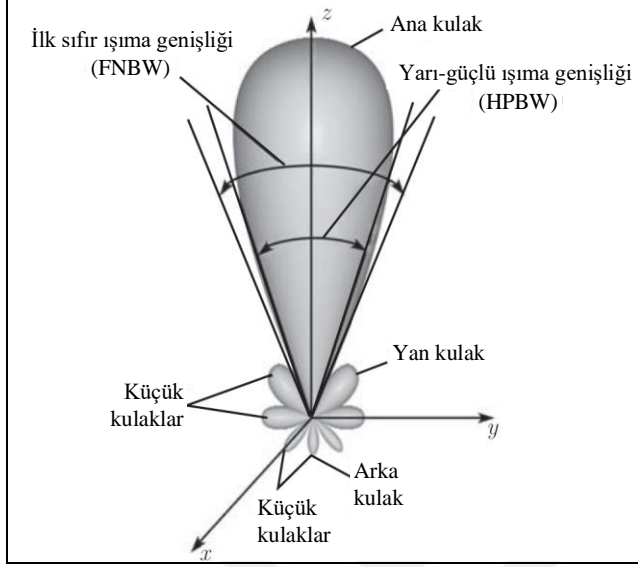
Lensler, öncelikli olarak birbirinden ayrı gelen enerjinin istenmeyen yönlerde yayılımına engel olmayı ayarlamak için kullanılır. Doğru şekilde geometrik konfigürasyon ve uygun lens materyali ile lensler farklı formdaki enerjileri düzlemsel dalgaya dönüştürebilmektedirler. Bu tip antenler parabolik yansıtıcılar ile aynı uygulamalarda daha yüksek frekanslarda kullanılırlar. Lens antenlerin düşük frekanslarda boyutları ve ağırlıkları oldukça yüksektir. Lens antenler yapıldıkları malzemeye göre veya geometrik şekillerine göre sınıflandırılırlar [5].

2.2. Anten Parametreleri

2.2.1. Işıma örüntüsü

Bir antenin ışımaya örüntüsü, antenin uzak alan yayılımının grafik olarak gösterilmesidir [7]. Işıma örüntüsünün farklı parçaları kulak olarak adlandırılır. Bunlar ana kulaklar, yan

kulaklar ve arka kulaklar olarak alt sınıflara ayrılabilir [8]. Şekil 2.3’de anten ışıma örüntüsü yayılım kulakları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Anten ışıma örüntüsü yayılım kulakları [9]

Ana kulak, maksimum yayılım yönünü içeren yayılım kulağı şeklinde tanımlanır. Ana kulak dışındaki kulaklar küçük kulaklar olarak tanımlanır. Bunlar yan kulaklar ve arka kulaktır. Yan kulaklar istenilen yön dışındaki yayılımları tanımlayan kulaklardır. Genellikle yan kulaklar ana kulak ile birleşiklerdir. Arka kulak ana kulağın yaklaşık 180° zıtında yer alan yayılım kulağıdır. Küçük kulaklar genellikle istenmeyen yöndeki yayılımları temsil eder ve küçültülmelidirler [8].

2.2.2. Yöneltilik

Yöneltilik belirli bir yöndeki ışıma şiddetinin ortalama ışıma şiddetine oranı şeklinde tanımlanır [7]. Ortalama ışıma şiddeti toplam ışıma gücünün 4π ile bölümüne eşittir [5]. Matematiksel olarak yöneltilik Eş. 2.1’deki gibi gösterilmektedir.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.1)$$

Burada

U = Işıma şiddeti

U_0 = Ortalama ışıma şiddeti

P_{rad} = Toplam ışıyan güçtür.

2.2.3. Anten verimi

Antendeki malzeme kaybı veya kötü empedans uyumundan kaynaklı gücün yansınması ışıyan gücü düşürür. Eş.2.2'de gösterildiği gibi ışıyan gücün giriş gücü P_{in} 'e oranı ile anten verimi hesaplanır [10].

$$e_0 = \frac{P_{rad}}{P_{in}} \quad (2.2)$$

P_{in} = Giriş gücü

Genel olarak toplam verim:

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.3)$$

biçiminde yazılır. Burada e_0 toplam verim (yönsüz), e_r yansıma verimi (yönsüz), e_c iletkenlik verimi ve e_d dielektrik verimidir [5].

Genellikle e_c ve e_d hesaplaması zor parametrelerdir, ancak deneysel olarak kolayca belirlenebilir. $e_{cd} = e_c e_d$ eşitliği kazanç yönelticilik ilişkisinde kullanılır [5].

2.2.4. Kazanç

Anten kazancı (G), belirli bir yöndeki ışıma şiddetinin toplam giriş gücüne oranı olarak tanımlanır.

$$Kazanç = 4\pi \frac{\text{ışıma şiddeti}}{\text{toplam giriş gücü}} = 4\pi \frac{U}{P_{in}} \quad (2.4)$$

Eş. 2.3'te tanımlanan anten verimine göre ışıyan güç giriş gücünü anten verimi ile çarpımına eşittir. O halde giriş gücü:

$$P_{in} = \frac{P_{rad}}{e_{cd}} \quad (2.5)$$

olarak yazılır.

Eş. 2.4 eşitliği Eş. 2.5 eşitliği içerisinde yerine koyulursa kazanç ve yönelticilik arasındaki ilişkiyi tanımlayan eşitlik elde edilir [5]:

$$G = e_{cd}D \quad (2.6)$$

2.2.5. Bant genişliği

Anten bant genişliği, bir merkez frekansının her iki yanında giriş empedansı, örüntü, demet genişliği, polarizasyon, yan kulak seviyesi, kazanç, demet yönü, ışınım verimi gibi anten özelliklerinin kabul edilebilir değerlerde olduğu frekans aralığı olarak düşünülebilir [11].

Geniş bant antenler için bant genişliği, genellikle kabul edilebilir çalışma frekans aralığının üst sınırının alt sınıra olan oranı şeklinde ifade edilir. Örneğin, 10:1 bant genişliği çalışma frekans aralığının üst frekans değerinin alt frekans değerinden 10 kat daha büyük olduğunu gösterir [11].

Bant genişliği dar bant antenler için, bant genişliğinin merkez frekansı üzerinden üst frekans limiti ile alt frekans limiti arasındaki farkın yüzdesi şeklinde ifade edilir. Örneğin, 5% bant genişliği kabul edilen çalışma frekans aralığının merkez frekansın 5% genişliği kadar olduğunu ifade eder [11].

Bant genişliğinin, antenin giriş empedansı, örüntüsü, kazancı, kutuplanması vb. parametrelerinin değişimleri aynı oranda olmadığı için veya frekanstan kritik olarak etkilendikleri için tek bir karakteristiği yoktur. Anten parametreleri farklı uygulamalar için ayrı ayrı belirlenir. Genellikle örüntü ve giriş empedansı arasında bir ayırım vardır. Örüntü bant genişliği ve empedans bant genişliğine göre bu ayırım yapılır. Örüntü bant genişliği kazanç, yan kulak seviyesi, demet genişliği, kutuplanma ve demet yönü ile ilişkili iken giriş empedansı ve ışınım verimi empedans bant genişliği ile alakalıdır. Örneğin, toplam uzunluğu yarım dalga boyundan daha az olan doğrusal bir dipol ($l < \lambda/2$) modeli temel olarak frekansa duyarsızdır. Bu anten için sınırlayıcı etken empedanstır ve bu bant genişliği Q terimi ile

formüle edilebilir. Büyük boyutlu antenlerin veya dizilerin Q terimleri ile dalga boyu karşılaştırıldığında birbirlerine yakın olduğu görülür. Bu nedenle bant genişliği genelde demet yönü, yan kulak seviyesi ve örüntü özellikleri ile formüle edilir. Orta boydaki antenler için bant genişliği, uygulamaya bağlı olarak, örüntü ve empedans değişimleri tarafından sınırlanabilir. Bu tip antenler için 2:1 bant genişliği iyi bir tasarımdır. Diğer tipte antenler geniş bant genişliğine ihtiyaç duyarlar. Büyük bant genişliğine sahip antenler (40:1 veya daha büyük bant genişliği olan antenler) frekans bağımsız antenler olarak adlandırılır [11].

2.2.6. Duran dalga oranı

Gerilim duran dalga oranı (VSWR-Voltage Standing Wave Ratio), hattaki maksimum gerilimin genliğinin hattaki minimum gerilim genliğine olan oranı şeklinde tanımlanır. Duran dalga oranı matematiksel olarak:

$$VSWR(l) = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{|V_+|+|V_-|}{|V_+|-|V_-|} = \frac{1+|\Gamma(l)|}{1-|\Gamma(l)|} \quad (2.7)$$

biçiminde ifade edilir [12].

VSWR iletim hattı ile yükün ne kadar uyumlu olduğunu gösteren bir parametredir. Yansımaya katsayısına göre VSWR yönsüzdür ve faz bilgisi yoktur. Mükemmel olmayan bir iletim hattı için VSWR yük empedansı ve hattın karakteristik empedansı ile birlikte hattın uzunluğunun (l) bir fonksiyonudur. Buna karşın kayıpsız bir iletim hattı için VSWR hattın herhangi bir referans noktasında aynıdır [12].

Eşitlik (2.7)'den yansımaya katsayısı Γ 'nın genliği:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (2.8)$$

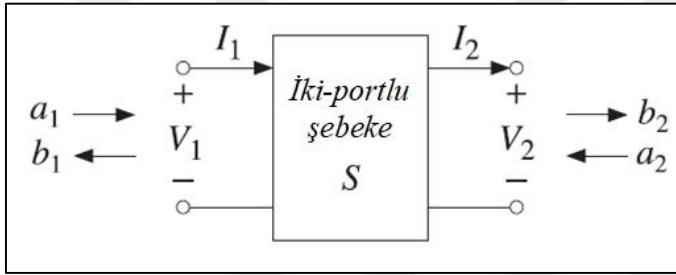
olarak elde edilir [12].

Bu durumda VSWR, 1 ve sonsuzluk arasındadır ($1 \leq VSWR \leq \infty$). Çoğu uygulamada, iletim hattının ve yükün uyumunun iyi olması için VSWR değerinin 2'den küçük olması gerekmektedir. Ancak cep telefonu endüstrisi için insan vücudunun cep telefonu performansı üzerindeki fazla etkisinden dolayı VSWR değerinin 3'ten küçük olması kabul edilebilir [12].

2.2.7. Saçılım parametreleri

Kayıpsız şebekeler/devreler mikrodalga mühendisliğinde önemlidir. Şebekeye giren tüm enerji saçılır veya yansır. Kayıpsız şebekelerin en önemli özelliği enerji tasarrufudur [13]. S kısaltması, saçılma kelimesinden türetilmiştir ve S-parametreleri bir sistemin girişi ve çıkışı arasındaki enerji aktarımını anlatan ifadedir.

Doğrusal iki portlu (ve çok portlu) şebekeler, transfer matrisi, empedans matrisi, admitans matrisi ve saçılma matrisi gibi bir dizi eşdeğer devre parametresi ile karakterize edilir [14]. Şekil 2.4’de tipik bir iki portlu şebeke gösterilmiştir.



Şekil 2.4. İki portlu şebeke [14]

ABCD matrisi olarak da bilinen transfer matrisi, port 1’deki gerilim ve akımı port 2’dekilerle ilişkilendirir. Empedans matrisi ise gerilimler (V_1 , V_2) ile akımları (I_1 , I_2) ilişkilendirir. Transfer matrisi ve empedans matrisi eşitlikleri aşağıda gösterilmiştir [14].

Transfer matrisi

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

ve empedans matrisi

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

olmak üzere 2x2 matris olarak düzenlenirler. Burada:

$$T = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

[T] ve [Z] matrisleri olarak elde edilirler [14].

Admitans matrisi, empedans matrisinin tersi olarak ifade edilir, $Y=Z^{-1}$. Saçılım matrisi porttan dışarı çıkan dalgalar (b_1, b_2), porta gelen dalgalar (a_1, a_2) olmak üzere:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

biçiminde yazılır [14].

Matriste bulunan S_{11} , S_{12} , S_{21} ve S_{22} elemanları saçılım parametreleri veya S-parametreleri olarak adlandırılır. Burada S_{11} ve S_{22} yansıma katsayıları, S_{12} ve S_{21} iletim katsayılarıdır [14].

Port 1'deki a_1, b_1 port 2'deki a_2, b_2 yürüyen dalga değişkenleri, V_1, I_1 ve V_2, I_2 terimleri ve referans empedans Z_0 cinsinden aşağıdaki gibi tanımlanır [14]:

$$a_1 = \frac{V_1 + Z_0 I_1}{2\sqrt{Z_0}} \quad a_2 = \frac{V_2 - Z_0 I_2}{2\sqrt{Z_0}} \quad (\text{yürüyen dalga}) \quad (2.13)$$

$$b_1 = \frac{V_1 - Z_0 I_1}{2\sqrt{Z_0}} \quad b_2 = \frac{V_2 + Z_0 I_2}{2\sqrt{Z_0}}$$

Yürüyen dalga değişkenleri ile gerilim ve akım aşağıdaki gibi tanımlanır:

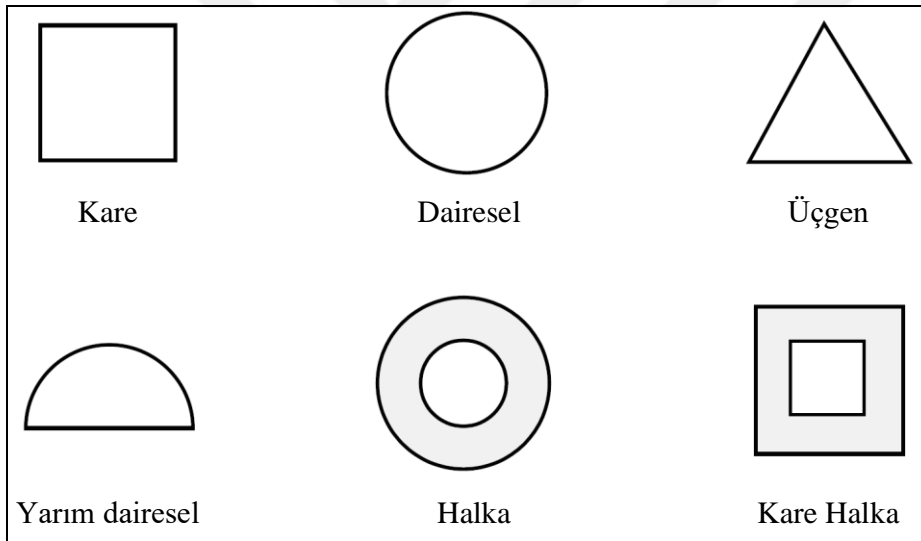
$$\begin{aligned} V_1 &= \sqrt{Z_0}(a_1 + b_1) & V_2 &= \sqrt{Z_0}(a_2 + b_2) \\ I_1 &= \frac{1}{\sqrt{Z_0}}(a_1 - b_1) & I_2 &= \frac{1}{\sqrt{Z_0}}(b_2 - a_2) \end{aligned} \quad (2.14)$$



3. MİKROŞERİT YAMA ANTEN

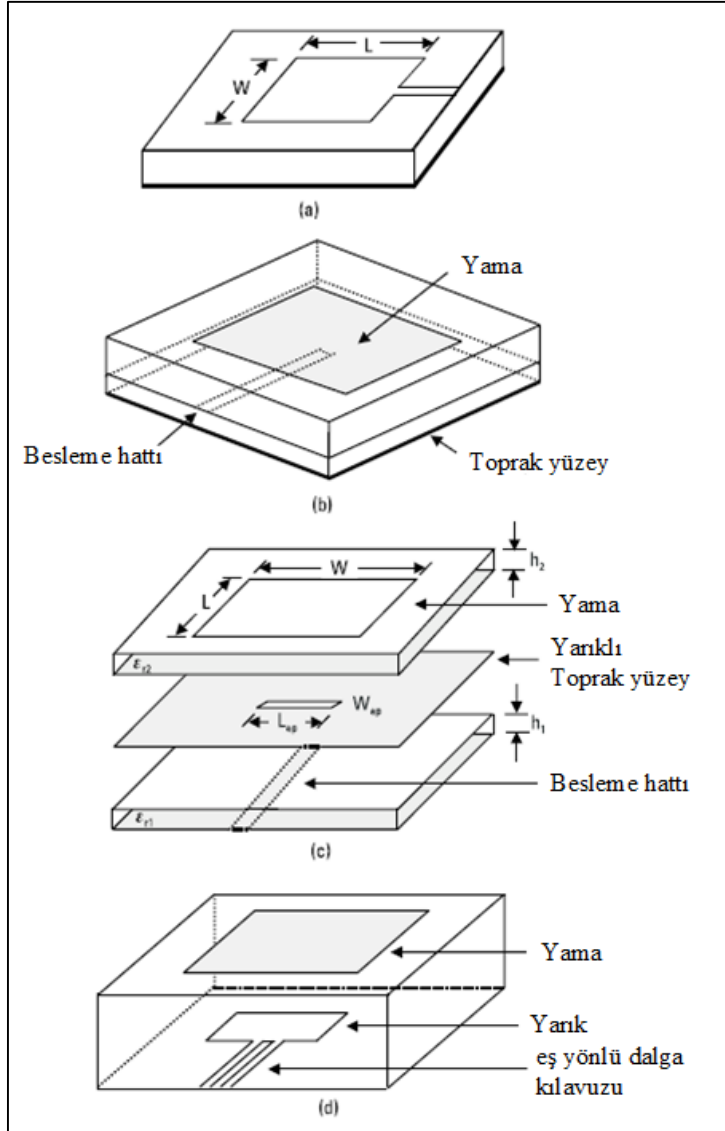
Yüksek performans hava araçları, uzay araçları, uydu ve füze uygulamalarında boyut, ağırlık, maliyet, performans, kolay kurulum ve aerodinamik profil özellikler antenler için kısıtlayıcıdır ve bu sebeple düşük profil antenler ihtiyaçtır. Günümüzde mobil radyo ve kablosuz haberleşme gibi uygulamalarda da benzer gereksinimler vardır. Bu gereksinimleri karşılamak için mikroşerit antenler kullanılabilir [15].

Mikroşerit antenlerin en basit formu dielektrik alttaşın bir yüzünde ışına yaması ve diğer tarafında toprak yüzeyinden oluşur. Mikroşerit yama antenler kare, daire, üçgen, yarım daire, dairesel halka, kare halka vb. şekillerde olabilirler [16]. Şekil 3.1’de farklı şekillerdeki mikroşerit yamalar gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Farklı şekillerdeki mikroşerit yamaları [16]

Mikroşerit antenler doğrudan eşeksenli prop ile veya mikroşerit hat ile beslenebilirler (Şekil 3.2). Aynı zamanda elektromanyetik bağlaşım veya açıklık bağlaşım ve eş düzlem dalga kılavuzu besleme kullanılarak besleme hattı ve yama arasında doğrudan temas olmadan da beslenebilirler. Besleme tekniği giriş empedansını ve anten özelliklerini etkileyen önemli bir tasarım değişkenidir [16].



Şekil 3.2. Mikroşerit anten besleme çeşitleri (a) mikroşerit hat, (b) elektromanyetik bağlaşım, (c) açıklık bağlaşım, (d) eş yönlü dalga kılavuzu [16]

Mikroşerit antenlerin diğer anten çeşitlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır.

Mikroşerit antenlerin avantajları:

- Hafif ağırlık ve küçük boyut,
- Baskı devre teknolojisi ile kolay üretim,
- Havacılık uygulamaları için uygun aerodinamik özellikler,
- Elektronik bileşenler ile kolay bütünleşme,
- Eğimli yüzeylere uyumlu anten üretme,
- Kolaylıkla dizi yapabilme [17],
- Dairesel kutuplanmaya ve doğrusal kutuplanmaya göre tasarıma uygun olması,

- İkili frekans, üçlü frekans çalışmasına uygun olması [16].

Mikroşerit antenlerin dezavantajları:

- Genellikle dar bant genişliğine sahip olmaları (Karmaşık geometrik yapıda olanları hariç),
- Düşük verimlilik, dielektrik kayıpları, eş yönlü besleme kayıpları ve dielektrik-hava yüzeyinde yüzey dalgaları oluşması,
- Yüksek kutuplanma elde etme zorluğu [17],
- Düşük kazanç,
- Düşük güç kapasitesinde olması [16].

Mikroşerit yama antenler sahip olduğu avantajlardan dolayı birçok alanda kullanılır. Füzeler üzerinde yer alan telemetri ve haberleşme sistemlerinde, yükseklikölçer radarlarda, havacılık uygulamalarında telefon ve uydu haberleşmeleri için, uydu görüntüleme sistemlerinde, gemi veya şamandıraların uydu haberleşmesinde, akıllı silah sistemlerinde, küresel mobil haberleşme sisteminde (GSM) ve küresel konumlandırma sisteminde (GPS) mikroşerit yama antenler kullanılır [16]. Ayrıca bazı otomotiv uygulamalarında da mikroşerit yama antenler tercih edilir [18].

3.1. Kare Mikroşerit Yama Anten Tasarım Parametreleri

Mikroşerit antenlerin birçok analiz yöntemleri vardır. Bu yöntemlerin en yaygın olanları iletim hattı, kavite ve tam dalga modelleridir. İletim hattı modeli en kolay olan ama daha az kesinlik içeren ve bağlaşım modellemesi zor olan bir modeldir [5]. Bu tez çalışmasında, tasarım, simülasyon ve üretim kolaylıklarından dolayı dikdörtgen mikroşerit anten tasarımında iletim hattı modeli kullanılmıştır.

Tipik bir dikdörtgen mikroşerit yama antenin genişliği W 'yu hesaplamak için, ϵ_r alttaşın dielektrik sabiti ve f_r rezonans frekansı kullanılan parametrelerdir. Ayrıca serbest uzayın dielektrik sabiti ϵ_0 , manyetik geçirgenliği μ_0 , ışık hızı v_0 , W 'nin hesabı için gereklidir [19].

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

Burada, $v_0=3 \times 10^8$ m/sn, $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$ H/m, $\epsilon_0=8,85 \times 10^{-12}$ F/m'dir.

Homojen ortamın dielektrik sabiti mikroşerit hattın hava ve dielektrik bölgelerinde eşit bir şekilde yerini alır ve etkin dielektrik sabiti (ϵ_{reff}) olarak tanımlanabilir [19-20].

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

Mikroşerit anten uygulamalarında elektrik alan yama ile sınırlı değildir. Elektrik alan kısımları, yamanın uzunluğu L ile genişliği W'nun çarpımı (L x W) olan fiziksel alanın dışına uzanır. Bu uzanma, saçaklanma (fringing) alanı olarak adlandırılır [21]. Yama anteninin kenarındaki elektrik saçılmasına bağlı olarak ΔL hat uzantısı ortaya çıkar. ΔL hat uzantısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır [19]:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{reff}+0,3)\left(\frac{W}{h}+0,264\right)}{(\epsilon_{reff}-0,258)\left(\frac{W}{h}+0,8\right)} \quad (3.3)$$

Yamanın gerçek uzunluğu:

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_r} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (3.4)$$

olarak elde edilir [19].

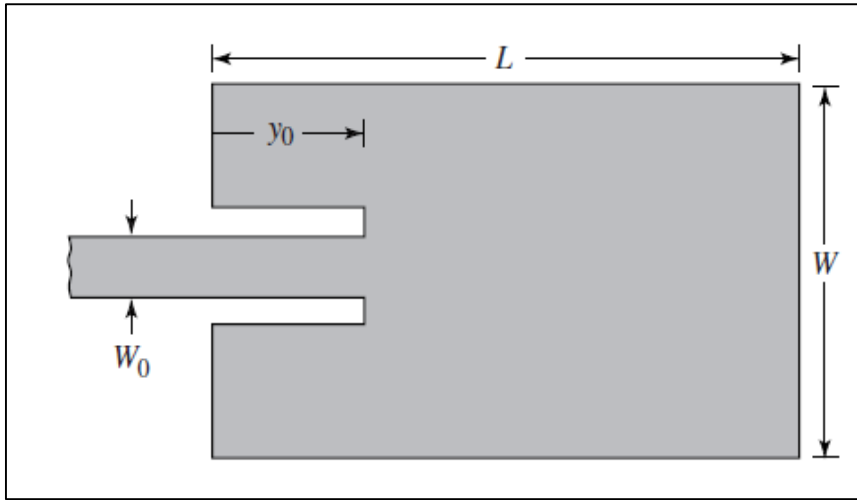
Rezonans yapan yamanın giriş direnci, içe doğru y_0 kadar gömülü besleme kullanılarak değiştirilebilir. Bu teknik yama anteni mikroşerit besleme kullanılarak etkin olarak uyumlandırmak için kullanılabilir. İçe doğru gömülü şekilde besleme örneği Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Mikroşerit besleme hattının giriş empedansı Z_c :

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right], \quad \text{eğer } \frac{W_0}{h} \leq 1 \quad (3.5)$$

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff} \left[\frac{W_0}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1,444 \right) \right]}}, \quad \text{eğer } \frac{W_0}{h} > 1 \quad (3.6)$$

W_0 = Mikroşerit hattın genişliği

olarak hesaplanır [19].



Şekil 3.3. Mikroşerit yama anten içe doğru gömülü besleme [19]

Besleme noktasının belirlenmesi için Eş. (3.7) kullanılır. Bu eşitlikte $R_{in}(y = 0)$ rezonans yapan yamanın giriş noktasındaki empedans ve $R_{in}(y = y_0)$ besleme noktasındaki empedanstır [19].

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (3.7)$$

Dielektrik alttaş üzerinde bulunana yamanın giriş noktasındaki empedansı yaklaşık:

$$R_{in} = 90 \frac{(\epsilon_r)^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W}\right) \quad (3.8)$$

biçiminde elde edilir [19].

Antenin dielektrik alttaşının minimum genişliği:

$$W_g = 6h + W \quad (3.9)$$

eşitliği ile hesaplanır ve uzunluğu

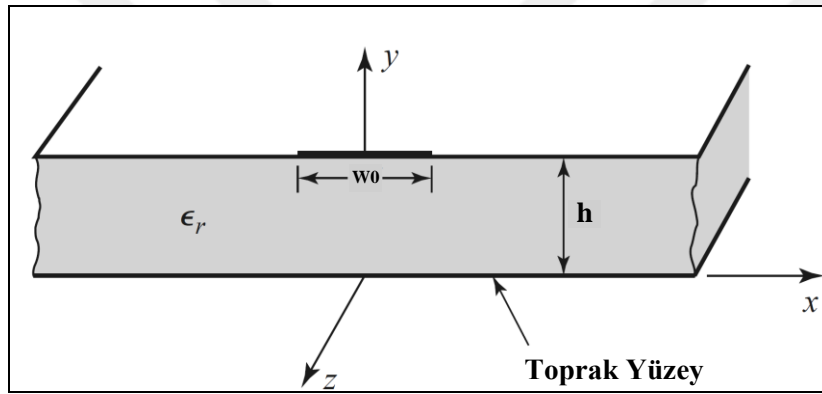
$$L_g = 6h + L \quad (3.10)$$

eşitlikleri ile bulunur [22].

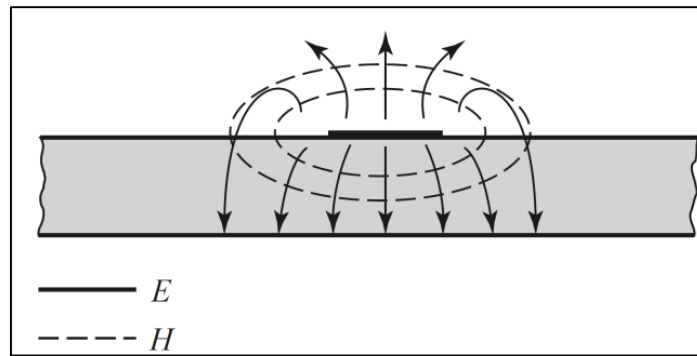
Mikroşerit yama anten boyutunun tüm hesaplamaları tamamlandıktan sonra simülasyon programı kullanılarak anten parametreleri hesaplanır ve değerlendirilir. Tatmin edici sonuçlar için teorik hesaplama sonuçları temel alınarak anten parametreleri optimize edilir ve uygun tasarım ortaya çıkartılır.

3.2. Mikroşerit Hat Tasarımı

Mikroşerit hat, popüler olarak kullanılan bir düzlemsel iletim hattıdır. Mikroşerit hat ilk olarak Grieg ve Englemann tarafından 1952 yılında önerilmiştir [23]. Örnek bir mikroşerit hat Şekil 3.4’te, mikroşerit hattın elektrik ve manyetik alanı ise Şekil 3.5’te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Mikroşerit hat geometrisi [20]



Şekil 3.5. Mikroşerit hattın elektrik (E) ve manyetik (H) alanı [20]

Bir elektromanyetik dalganın faz hızı V_p ,

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (3.11)$$

ve yayılım sabiti β ,

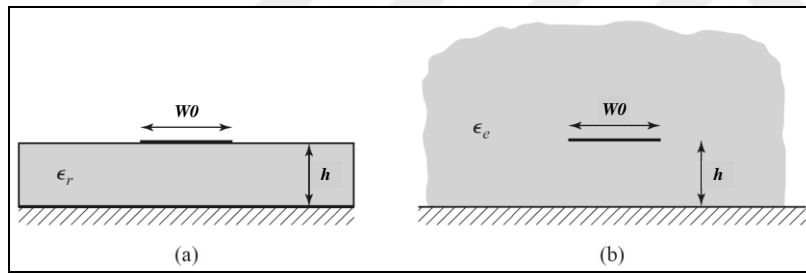
$$\beta = \frac{k_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.12)$$

eşitlikleri ile verilir. Bir mikroşerit hatta bazı alanlar dielektrik bölgede ve bazı alanlar havada oluşur. Bu durumda etkin dielektrik sabiti,

$$1 < \epsilon_{reff} < \epsilon_r \quad (3.13)$$

eşitsizliğini sağlar [20].

Bazı alanların havada da oluşmasından dolayı asıl mikroşerit geometri yerine eşdeğer geometri kullanılır (Şekil 3.6). Bu eşdeğer geometride alttaşın ϵ_r dielektrik sabiti, ϵ_{reff} etkin dielektrik sabiti ile yer değiştirir [20].



Şekil 3.6. (a) Asıl geometri (b) Eşdeğer geometri [20]

Hat kalınlığı belli olan bir mikroşerit hattın, Z_0 karakteristik empedansı,

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right) \text{ eğer } \frac{W_0}{h} \leq 1 \quad (3.14)$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \left[\frac{W}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{W}{h} + 1,444 \right) \right]} \text{ eğer } \frac{W_0}{h} \leq 1 \quad (3.15)$$

eşitlikleri ile hesaplanır [20].

Verilen bir karakteristik empedans ve dielektrik sabiti için hat genişliği ve alttaş yüksekliği oranı,

$$\frac{W_0}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \text{ eğer } \frac{W_0}{h} < 2 \quad (3.16)$$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\} \right] \text{ eğer } \frac{W}{h} > 2 \quad (3.17)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (3.18)$$

ve

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.19)$$

biçimindedir [20].

3.2.1. Çeyrek dalga dönüştürücü

Çeyrek dalga dönüştürücü empedans uyumlandırma için kullanılan kullanışlı bir devredir (Şekil 3.7). Yük direnci (R_L) ve besleme hattı karakteristik empedansı (Z_0) gerçektir ve bilindiği kabul edilir. Bu iki eleman karakteristik empedansı Z_1 ve uzunluğu $\lambda/4$ olan kayıpsız bir iletim hattı parçası ile birbirine bağlıdır. Yük ile Z_0 hattı $\lambda/4$ bölümü kullanılarak uyumlandırılır ve bu bölümde yansıma katsayısı sıfırdır ($\Gamma=0$). Z_{in} giriş empedansı,

$$Z_{in} = Z_1 \frac{R_L + jZ_1 \tan \beta\ell}{Z_1 + jR_L \tan \beta\ell} \quad (3.20)$$

eşitliği ile elde edilir [20].

$\beta\ell = (2\pi/\lambda)(\lambda/4) = \pi/2$ olarak yazılması için, pay ve payda $\tan \beta\ell$ ile bölünür ve limit $\beta\ell \rightarrow \pi/2$ olarak alınır ve giriş empedansı:

$$Z_{in} = \frac{Z_1^2}{R_L} \quad (3.21)$$

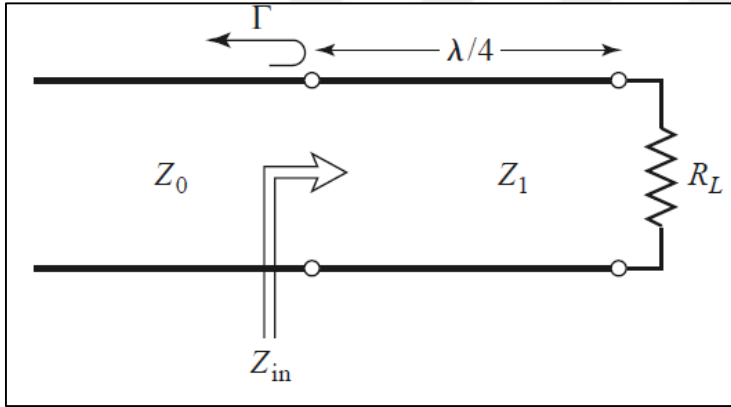
olarak elde edilir[20].

$\Gamma=0$ için, $Z_{in} = Z_0$ olmalıdır ve Z_1 bu durumda,

$$Z_1 = \sqrt{Z_0 R_L} \quad (3.22)$$

olur [20].

Bu yük ve kaynak empedansının geometrik ortalamasıdır. Bu durumda $\lambda/4$ uyumlandırma bölümünde yürüyen dalga olacak olmasına rağmen besleme hattı üzerinde yürüyen dalga olmaz (SWR=1). Buna ek olarak, yukarıdaki koşul sadece uyumlandırma bölümünün uzunluğu $\lambda/4$ veya $\lambda/4$ 'ün tek sayılı bir katı uzunluğunda olduğunda olur, böylece tek bir frekansta mükemmel bir uyum elde edilebilir, ancak diğer frekanslarda empedans uyumsuzluğu meydana gelebilir [20].

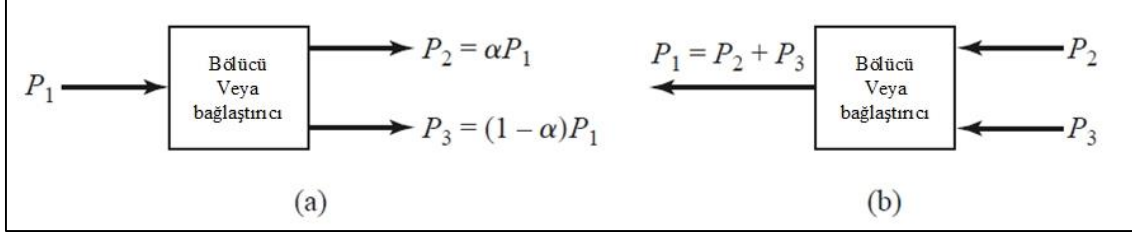


Şekil 3.7. Çeyrek dalga dönüştürücü [20]

3.3. Mikroşerit Güç Bölücüler

Güç bölücüler ve yönlü bağlaştırmalar güç bölme veya birleştirme için kullanılan pasif mikrodalga elemanlardır. Güç bölücülerde, giriş sinyali iki veya daha fazla daha küçük çıkış sinyaline bölünürken güç bağlaştırmalar iki veya daha fazla giriş sinyalini çıkış kapısında birleştirir (Şekil 3.8). Bağlaştırmacı veya bölücüler üç, dört veya daha fazla kapıya idealde kayıpsız olarak sahip olabilirler. Üç kapılı devreler T-eklem (T-junction) veya diğer güç bölücüler formunda olabilirken dört kapılı devreler yönlü bağlaştırmacı ve hibrit formundadır. Güç bölücüler genellikle eş fazlı eşit güçte bölünmüş çıkış sinyali sunabileceği gibi eşit

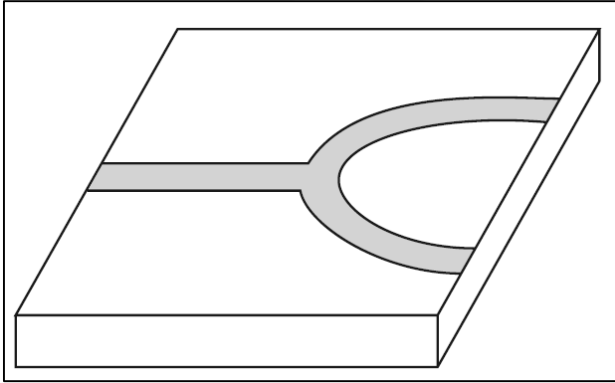
olmayan güçte bölünmüş çıkış sinyali de sağlar. Yönlü bağlaştırmalar isteğe bağlı güç bölümü sağlarken hibrit eklemeler genellikle eşit güç bölümü sağlarlar [20].



Şekil 3.8. (a) Güç bölücü (b) Güç bağlaştırmacı [20]

3.3.1. T-Eklem güç bölücü

T-eklem (T-Junction) güç bölücü, güç birleştirmek veya bölmek için kullanılan basit üç kapılı bir devredir ve hemen hemen tüm iletim hattı ortamlarında uygulanabilir. Şekil 3.9’da örnek bir T-eklem mikroşerit güç bölücü gösterilmektedir [20].



Şekil 3.9. Mikroşerit hat T-eklem güç bölücü [20]

Şekil 3.9’da gösterilen T-eklem güç bölücü üç iletim hattı ile Şekil 3.10’da gösterildiği gibi modellenebilir. Genellikle, eklemlerde süreksizlik ile ilişkili saçaklanma alanları ve daha yüksek derece modlar, duygunluk (B) aracılığı ile enerji depolanmasına neden olabilir. Güç bölücünün karakteristik empedansının Z_0 giriş hattına uyumlu olması için,

$$Y_{in} = jB + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_0} \quad (3.23)$$

olmalıdır [20].

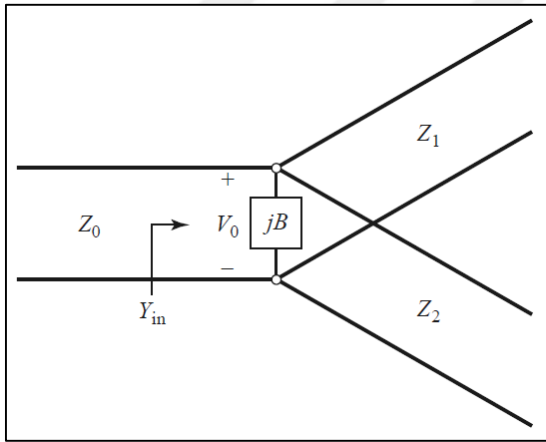
Eğer iletim hattının kayıpsız veya çok az kayıplı olduğu kabul edilirse, karakteristik empedans gerçektir. Eğer $B=0$ olduğunu da kabul edersek Eş. (3.23),

$$\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_0} \quad (3.24)$$

biçiminde yazılır [20].

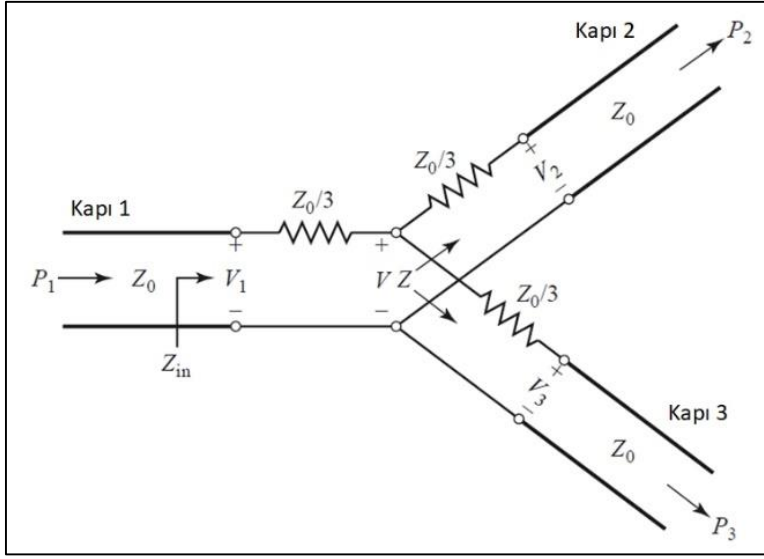
Uygulamada, eğer B ihmal edilebilir değilse, bu uygunluğu iptal etmek için, dar bir frekans aralığında, bir çeşit süreksizlik kompanzasyonu (discontinuity compensation) veya reaktif ayar (reactive tuning) elemanları kullanılabilir [20].

Güçlerin farklı oranda bölünmesini sağlamak için çıkış hattı empedansları, Z_1 ve Z_2 , farklı değerlerde seçilebilir. Gerekirse, çıkış hattı empedansını istenilen şekilde ayarlamak için çeyrek dalga dönüştürücü kullanılabilir. Eğer çıkış hatları uyumluysa, giriş hattı uyumlu olur. İki çıkış kapısı arasında bir izolasyon yoksa, çıkış kapılarında bir uyumsuzluk olur [20].



Şekil 3.10. Kayıpsız T-elem bölücü iletim hattı modeli [20]

Eğer bir üç kapılı bölücü kayıplı elemanlar içeriyorsa, çıkış kapıları izole olmasa bile, tüm kapıları uyumlu olabilir. Dirençler kullanılarak oluşturulmuş bir güç bölücü devresi Şekil 3.11'de gösterilmiştir [20].



Şekil 3.11. Üç kapılı eşit bölünmüş dirençli güç bölücü [20]

Şekil 3.11’de gösterilen dirençli güç bölücü, devre teorisi kullanılarak analiz edilebilir. Her kapının karakteristik empedans Z_0 ile sonlandırıldığı kabul edilirse, $Z_0/3$ direnci ve sonlandırılan çıkış hattı empedansı Z ,

$$Z = \frac{Z_0}{3} + Z_0 = \frac{4Z_0}{3} \quad (3.25)$$

şeklinde ve bölücünün giriş empedansı,

$$Z_{in} = \frac{Z_0}{3} + \frac{2Z_0}{3} = Z_0 \quad (3.26)$$

olarak elde edilir [20].

Burada görüldüğü üzere giriş empedansı besleme hattına uyumludur. Çünkü devre tüm kapılarda simetriktir ve çıkış kapıları da uyumludur. Dolayısıyla $S_{11}=S_{22}=S_{33}=0$ olur. Eğer kapı 1’deki gerilim V_1 ise, gerilim bölümü sonrasında eklemnin merkezindeki V gerilimi,

$$V = V_0 \frac{2Z_0/3}{\frac{Z_0}{3} + 2Z_0/3} = \frac{2}{3} V_1 \quad (3.27)$$

biçiminde elde edilir. Gerilim bölümü sonrasında çıkış gerilimleri,

$$V_2 = V_3 = V \frac{Z_0}{Z_0 + Z_0/3} = \frac{3}{4}V_0 = \frac{1}{2}V_1 \quad (3.28)$$

olarak elde edilir [20].

Böylece, $S_{21} = S_{31} = S_{23} = 1/2$ olur, bu sebepten çıkış gücü, giriş gücü seviyesinin 6 dB altındadır. Devre iki taraflıdır ve dolayısıyla saçılım matrisi simetriktir [20]:

$$[S] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Bölücünün girişine verilen güç [20]:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \frac{V_1^2}{Z_0} \quad (3.30)$$

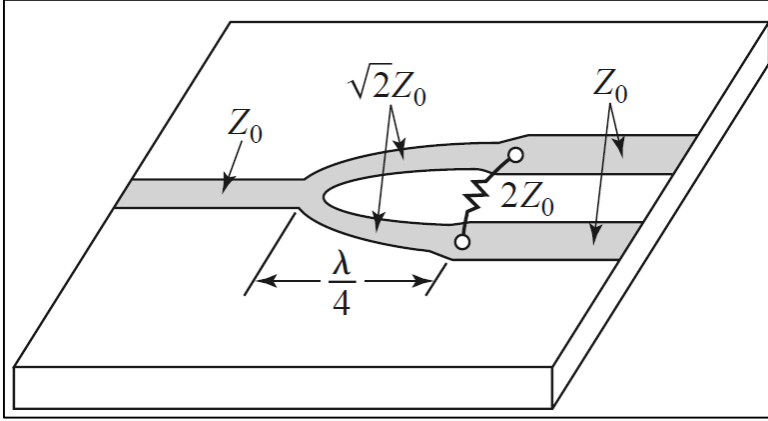
olur ve bölücünün çıkışlarındaki güç ise,

$$P_2 = P_3 = \frac{1}{2} \frac{(1/2 V_1)^2}{Z_0} = \frac{1}{8} \frac{V_1^2}{Z_0} = \frac{1}{2} P_{in} \quad (3.31)$$

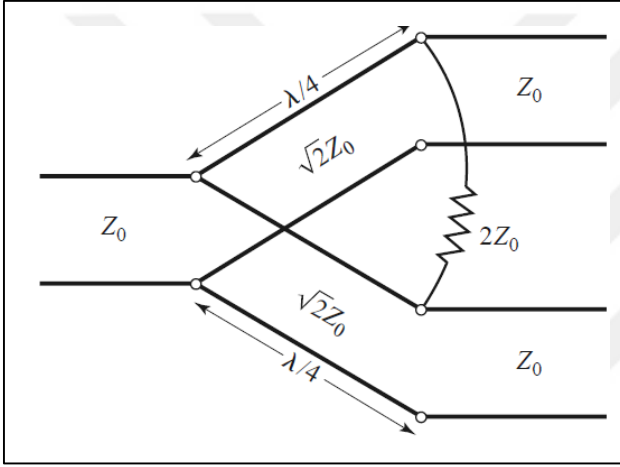
olarak elde edilir. Eş. (3.31), giriş güçlerinin yarısının dirençlerde harcandığını gösterir [20].

3.3.2. Wilkinson güç bölücü

Kayıpsız T-eklem bölücülerde tüm kapıların uyumlu olmaması ve çıkış kapılarında izolasyon olmaması dezavantajı vardır. Dirençli bölücü tüm kapılarda uyumludur, ancak kayıpsız değildir ve çıkış kapılarında izolasyon yoktur. Wilkinson güç bölücüsünde çıkış kapıları uyumlu olduğunda sadece çıkıştan yansıyan güç kaybolur. Wilkinson güç bölücü genellikle mikroşerit hat ile oluşturulur (Şekil 3.12) ve eşdeğer devresi Şekil 3.13'te gösterilmektedir [20].



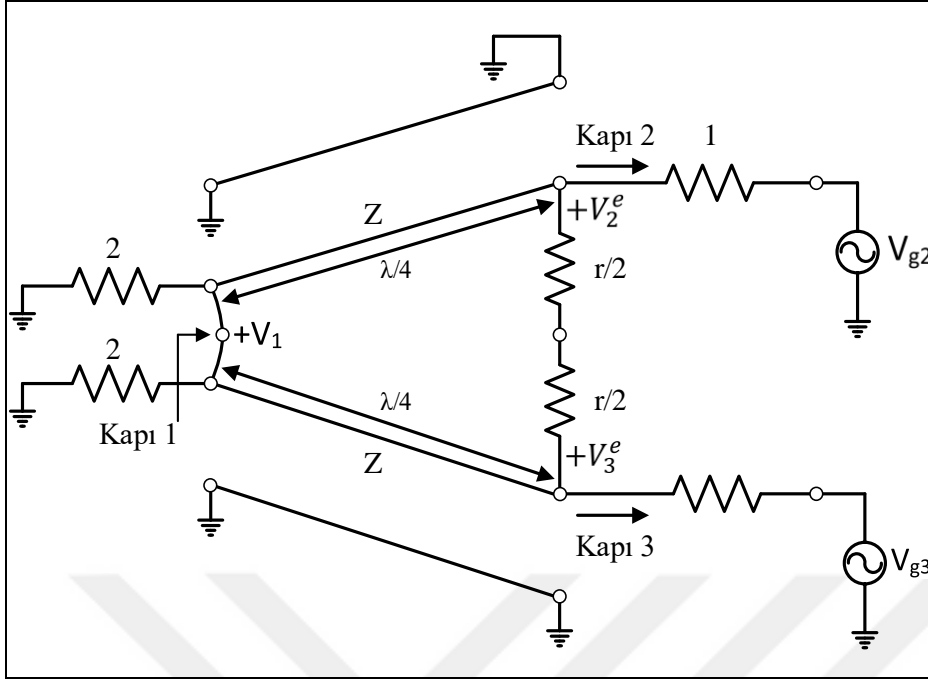
Şekil 3.12. Mikroşerit eşit bölünmüş Wilkinson bölücü [20]



Şekil 3.13. Eşdeğer iletim hattı devresi [20]

Tüm empedanslar karakteristik empedansa normalize edilirse ve Şekil 3.13'te gösterilen devrede çıkış kapıları gerilim üreteçleri ile yeniden çizilirse Şekil 3.14 elde edilir. Yeniden çizilen devre simetriktir ve normalize 2 değerinin iki kaynak direnci, bir eşleştirilmiş kaynağın empedansını temsil eden normalize 1 değerini vermek üzere paralel olarak birleştirilir. Çeyrek dalga dönüştürücü Z normalize empedansına ve şönt direnci normalize r değerine sahiptir.

Şekil 3.14'den görüldüğü üzere eşit güç bölücülerde $Z = \sqrt{2}$ ve $r=2$ olmalıdır [20].



Şekil 3.14. Normalize ve simetrik Wilkinson güç bölücü [20]

Çift mod (even mode) uyarımı için, $V_{g2}=V_{g3}=2V_0$ alınır, $V_2^e = V_3^e$ olur ve bu nedenle $r/2$ direnci üzerinden veya kapı 1'deki iki iletim hattının girişleri arasındaki kısa devre boyunca akım akmaz. Şekil 3.14'deki devreyi eşit olarak ikiye ayırırsak ve açık devre ile tamamlarsak Şekil 3.15'deki devreyi elde ederiz. İletim hattı çeyrek dalga transformatörüne benzediği için kapı 2'den bakıldığında görülen empedans,

$$Z_{in}^e = \frac{Z^2}{2} \quad (3.22)$$

olur [20].

Eğer $Z = \sqrt{2}$ olursa, kapı 2 çift mod uyarımı için uyumlu olur ve $Z_{in}^e = 1$ olduğu için $V_2^e = V_0$ olur. Bir taraf açık devre olduğu için $r/2$ direnci bu durumda gereksizdir. Daha sonra iletim hattı denkleminde V_1^e bulunur. Eğer kapı 1'de $x=0$ ve kapı 2'de $x=-\lambda/4$ olarak kabul edilirse, iletim hattı üzerindeki gerilim,

$$V(x) = V^+(e^{-j\beta x} + \Gamma e^{j\beta x}) \quad (3.23)$$

biçiminde yazılır. Böylece,

$$V_2^e = V(-\lambda/4) = jV^+(1 - \Gamma) = V_0 \quad (3.24a)$$

$$V_1^e = V(0) = V^+(1 + \Gamma) = jV_0 \frac{\Gamma + 1}{\Gamma - 1} \quad (3.24b)$$

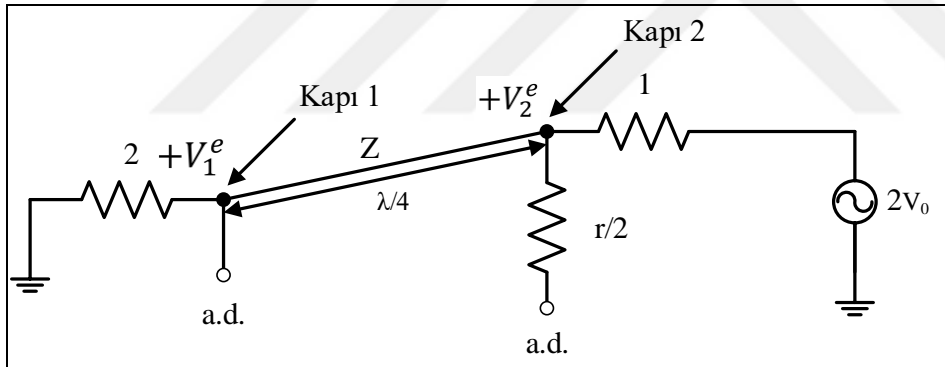
gerilimleri elde edilir [20].

Yansımaya katsayısı (Γ), kapı 1'de ve normalize 2 değerinin direncine doğru bakıldığında,

$$\Gamma = \frac{2 - \sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}} \quad (3.25)$$

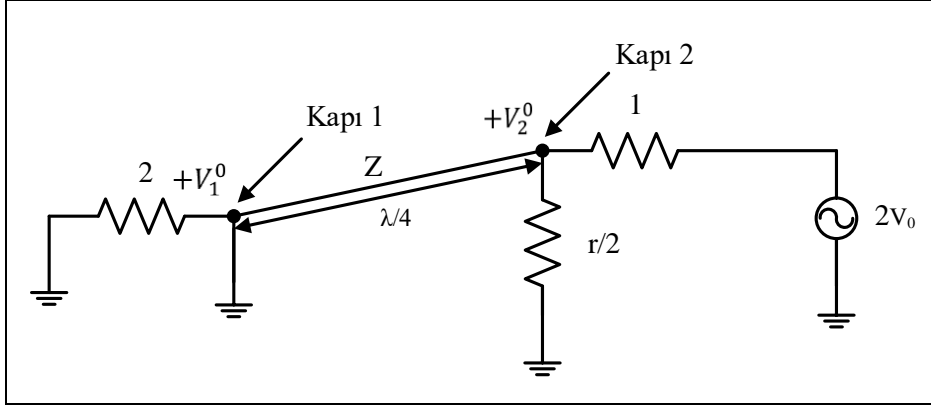
olarak görülür [20].

$$V_1^e = -jV_0\sqrt{2} \quad (3.26)$$



Şekil 3.15. Çift mod uyarımı [20]

Tek mod uyarımı için, $V_{g2} = -V_{g3} = 2V_0$, böylece $V_2^0 = -V_3^0$, ve Şekil 3.14 devresinin ortadaki gerilimi sıfırdır. Şekil 3.14'deki devreyi eşit olarak ikiye ayırırsak ve toprak ile tamamlarsak Şekil 3.16'daki devreyi elde ederiz. Kapı 2'ye bakıldığında paralel bağlanan iletim hattının $\lambda/4$ uzunluğunda olması ve kapı 1'de kısa devre olması nedeniyle $r/2$ 'nin empedansı görülür ve bu yüzden kapı 2 açık devre gibi görülür. Bu nedenle $r=2$ olarak seçilirse kapı 2 tek mod uyarımı için uyumlu olur. Sonrasında $V_2^0 = V_0$ ve $V_1^0 = 0$ uyarma yöntemi için tüm güç $r/2$ direncine iletilir ve kapı 1'e güç akışı olmaz [20].



Şekil 3.16. Tek mod uyarımı [20]

Kapı 2 ve kapı 3 uyumlu yüklerle sonlandırılırsa kapı 1'in giriş empedansı bulunur. Sonuç devresi Şekil 3.17 (a)'da gösterilmiştir ve $V_2=V_3$ olduğu için çift mod uyarımına benzemektedir. Normalize 2 değerinin direnci üzerinden akım akmaz ve bu sebeple bu direnç kaldırılabilir (Şekil 3.17(b)). Böylece normalize yüklerle sonlandırılmış paralel iki çeyrek dalga dönüştürücü elde edilir. Giriş empedansı,

$$Z_{in} = \frac{1}{2} (\sqrt{2})^2 = 1 \quad (3.27)$$

olarak elde edilir [20].

O halde; Wilkinson bölücü için aşağıdaki saçılma parametreleri oluşturulabilir [20]:

$$S_{11} = 0 \quad (Z_{in}=1, \text{ kapı 1'de})$$

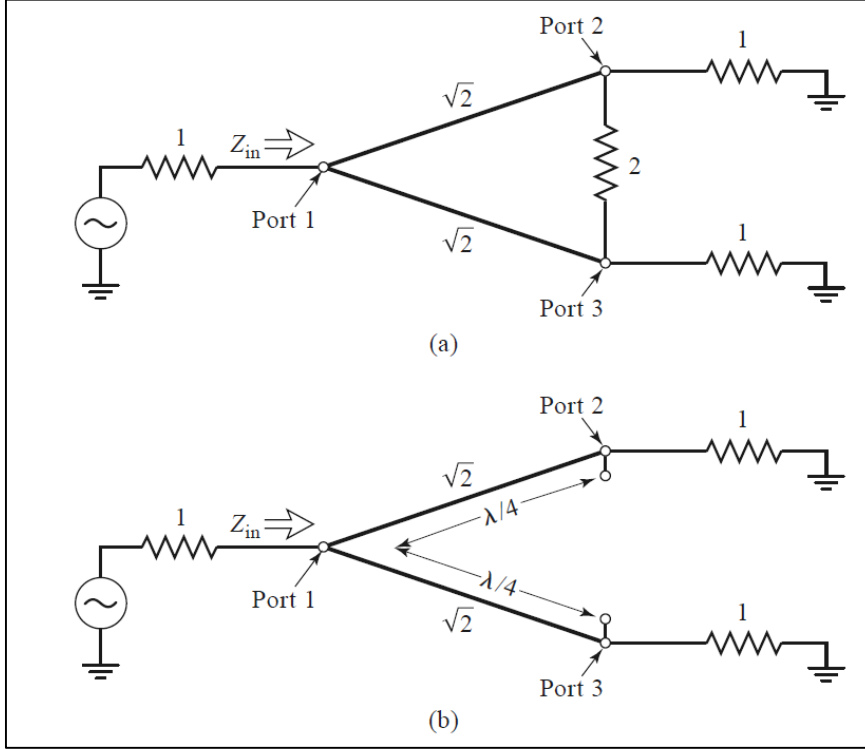
$$S_{22} = S_{33} = 0 \quad (\text{tek ve çift modlarda kapı 2 ve kapı 3 uyumludur})$$

$$S_{12} = S_{21} = \frac{V_1^e + V_1^0}{V_2^e + V_2^0} = -j/\sqrt{2} \quad (\text{karşılığa göre simetri})$$

$$S_{13} = S_{31} = -j/\sqrt{2} \quad (\text{kapı 2 ve kapı 3'ün simetrisi})$$

$$S_{23} = S_{32} = 0 \quad (\text{ikiye bölmede açık veya kısa devre olduğu için})$$

Bölücü girişi kapı 1 olduğunda ve çıkış kapıları uyumlu olduğunda direnç üzerinde güç kaybolmamaktadır. Bölücü çıkışları uyumlu olduğunda kapı 2 ve kapı 3'ten yansıyan güçler dışında bölücü kayıpsızdır [20].



Şekil 3.17. Wilkinson güç bölücü S₁₁ parametresi analizi (a) Sonlandırılmış Wilkinson güç bölücü (b) bölünmüş (a) devresi [20]

3.4. Mikroşerit Dizi Antenler

Bir hava dielektrik alttaşı ($\epsilon_r \sim 1$) kullanan tek bir mikroşerit anten, en fazla 10 dBi'lık bir kazanç sağlayabilir. Daha büyük kazançlar gerektiğinde birçok mikroşerit elemanı birbirine bağlanarak bir dizi anten oluşturulur. Bir dizi anten tek bir mikroşerit elemanına göre çok daha büyük etkin açıklık ve kazanç sağlar [24].

Dizinin toplam alanı, tek tek elemanlar tarafından yayılan alanların vektörel eklenmesi ile belirlenir. Burada, her elemandaki akımın izole elemaninkiyle aynı olduğu varsayılır (bağlaşım ihmal edilir). Ancak bu genellikle geçerli değildir ve elemanlar arasındaki dağılıma bağlıdır. Yüksek yönlülüğe sahip örüntüler için, dizinin elemanlarından yayılan alanlar yapısal olarak istenen yönde birleşmeli ve kalan boşluklarda girişim olmamalıdır.

İdeal olarak bu yapılabilir, ancak pratikte yaklaşık sonuç elde edilir. Dizi antenin toplam örüntü şeklinin belirlenmesinde,

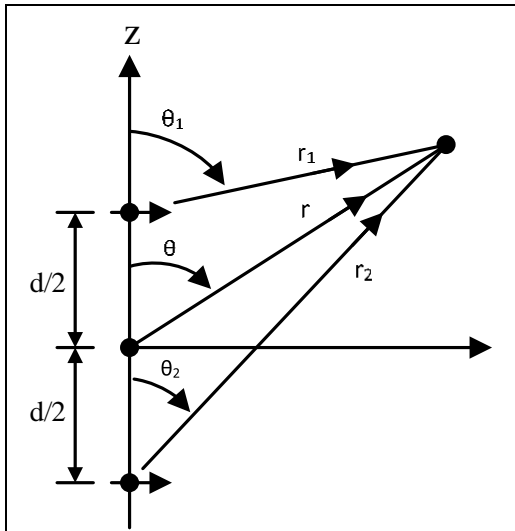
- Dizinin geometrik yapısı,
- Elemanlar arasındaki uzaklık,
- Her elemanın uyarım genliği,
- Her elemanın uyarım fazı,
- Her elemanın bağıl örüntüsü kullanılır [5].

3.4.1. İki elemanlı dizi

Z ekseninde yerleştirilmiş birbirini ile girişimi olmadığı kabul edilen iki sonsuz küçük yatay dipol tarafından yayılan toplam alan ikisinin toplamına eşittir (Şekil 3.18). Bu toplam alan y-z ekseninde,

$$E_t = E_1 + E_2 = \hat{a}_\theta j_\eta \frac{kI_0l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\frac{\beta}{2})]}}{r_1} \cos \theta_1 + \frac{e^{-j[kr_2 + (\frac{\beta}{2})]}}{r_2} \cos \theta_2 \right\} \quad (3.28)$$

eşitliği ile ifade edilir [5]. Burada β = elemanlar arasındaki faz uyarım farkıdır.



Şekil 3.18. Z ekseninde yerleştirilmiş iki sonsuz küçük dipol [5]

Elemanların uyarım büyüklükleri aynıdır. Şekil 3.19’da gösterilen uzak alan gösterimine göre,

açılar,

$$\theta_1 \cong \theta_2 \cong \theta \quad (3.29a)$$

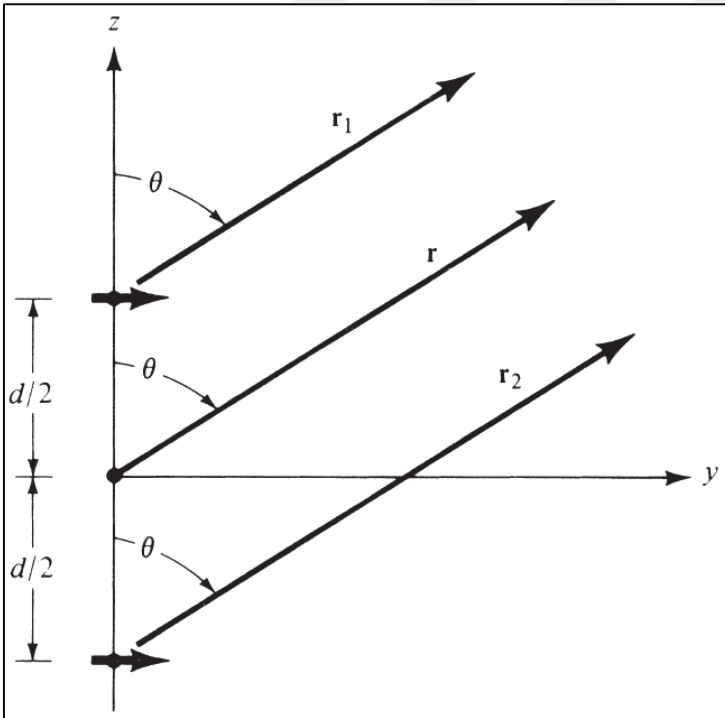
mesafeler,

$$r_1 \cong r - \frac{d}{2} \cos \theta \quad \text{faz değişimi için} \quad (3.29b)$$

$$r_1 \cong r + \frac{d}{2} \cos \theta$$

$$r_1 \cong r_2 \cong r \quad \text{genlik değişimi için} \quad (3.29c)$$

olarak alınabilir [5].



şekil 3.19. Uzak alan gösterimi [5]

Bu durumda Eř. (3.28),

$$E_t = \hat{a}_\theta j \eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left[e^{+j(kd \cos \theta + \beta)/2} + e^{-j(kd \cos \theta + \beta)/2} \right]$$

$$E_t = \hat{a}_\theta j_\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left\{ 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \right\} \quad (3.30)$$

olarak elde edilir [5].

Yukarıdaki eşitlikten görüldüğü üzere dizinin toplam alanı orijinde bulunan tek elemanın alanının dizi katsayısı olan katsayı ile çarpımına eşittir. Buna göre sabit genlikte iki elemanlı dizinin dizi faktörü,

$$AF = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (3.31)$$

biçimindedir. Dizi faktörü normalize edilirse,

$$(AF)_n = \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (3.32)$$

eşitliği elde edilir [5].

Dizi faktörü, dizi ve uyarım fazının geometrisinin fonksiyonudur. Elemanlar arasındaki mesafenin (d) ve/veya fazın (β) değişimi ile dizi faktörünün ve dizinin toplam alanının karakteristiği kontrol edilebilir [5].

Bu gösteriyor ki eşdeğer elemanlı iki elemanlı dizinin uzak alanı, referans noktada (genellikle orijinde) seçilen tek elemanın alanı ve dizinin dizi faktörünün çarpımına eşittir. Bu çarpım aşağıdaki gibi gösterilebilir [5].

$$E(\text{total}) = [E(\text{referansnoktadakeleman})]x[\text{dizi çarpanı}] \quad (3.33)$$

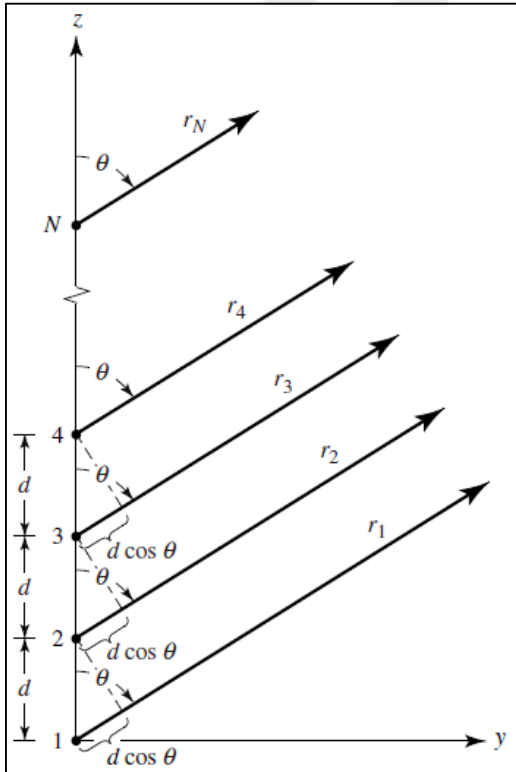
Eş. (3.33), örüntü çarpım kuralı olarak adlandırılır. Her dizi kendi dizi faktörüne sahiptir. Dizi faktörü genellikle elemanların sayısının, geometrik yerleşimlerinin, göreceli büyüklüklerinin, göreceli fazlarının ve aralarındaki boşlukların fonksiyonudur. Eğer elemanlar aynı genliklere, fazlara ve boşluklara sahipse dizi faktörü daha basit bir formda olur. Dizi faktörü elemanların yönlülük karakteristiklerine bağlı olmadığı için gerçek elemanlar izotropik (nokta) kaynaklar ile yer değiştirilerek formülize edilebilir. Dizi faktörü nokta-kaynak dizi kullanılarak türetilirse, gerçek dizinin toplam alanı Eş. (3.33) kullanılarak elde edilir [5].

Şekil 3.20’de, tüm dizi elemanlarının özdeş genliklere sahip olduğun varsayılır, ancak her bir elemanın öncesine göre β ilerlemeli faz ileri akımı uyarımı vardır (β , her elemandaki akımın önceki elemanın akımını yönlendirdiği fazı temsil eder). Her biri aynı büyüklükte ve her biri ileri bir faza sahip olan bir dizi özdeş eleman, tek tip bir dizi olarak adlandırılır. Her eleman noktasal kaynak olarak düşünülürse dizi faktörü elde edilebilir. Eğer gerçek elemanlar izotropik kaynaklar değilse, toplam alan, izotropik kaynakların dizi faktörünün tek bir elemanın alanı ile çarpılmasıyla oluşturulabilir. Bu örüntü çarpım kuralıdır ve sadece özdeş elemanların dizisine uygulanabilir. N elemanlı dizi için dizi faktörü,

$$AF = 1 + e^{+j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{+j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{+j(N-1)(kd \cos \theta + \beta)}$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (3.34)$$

biçiminde elde edilir [5].



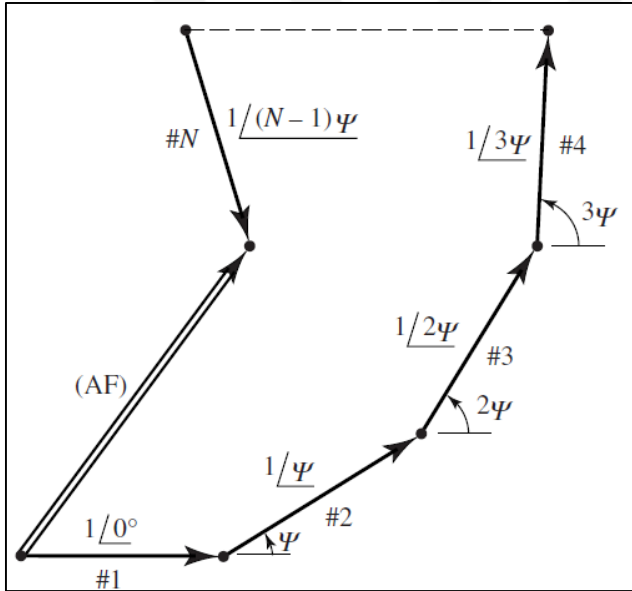
Şekil 3.20. Z eksenini boyunca yer alan izotropik kaynakların geometrik gösterimi [5]

Dizi faktörü,

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi}, \psi = kd \cos \theta + \beta \quad (3.35)$$

olarak yazılır [5].

Tek tipteki dizi için toplam dizi faktörü, üstellerin bir toplamı olduğundan, bir öncekine göre birim genlik ve fazın (ψ) her biri N fazörünün vektör toplamı ile temsil edilir. Bu durum Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Fazör gösterimden görüldüğü üzere dizi faktörünün genliği ve fazı, özdeş dizilerde elemanlar arasından seçilen göreceli faz (ψ) ile kontrol edilebilir. Özdeş olmayan dizilerde, toplam dizi faktörünün formülasyonu ve dağılımı için fazın yanı sıra genlikde kullanılabilir [5].



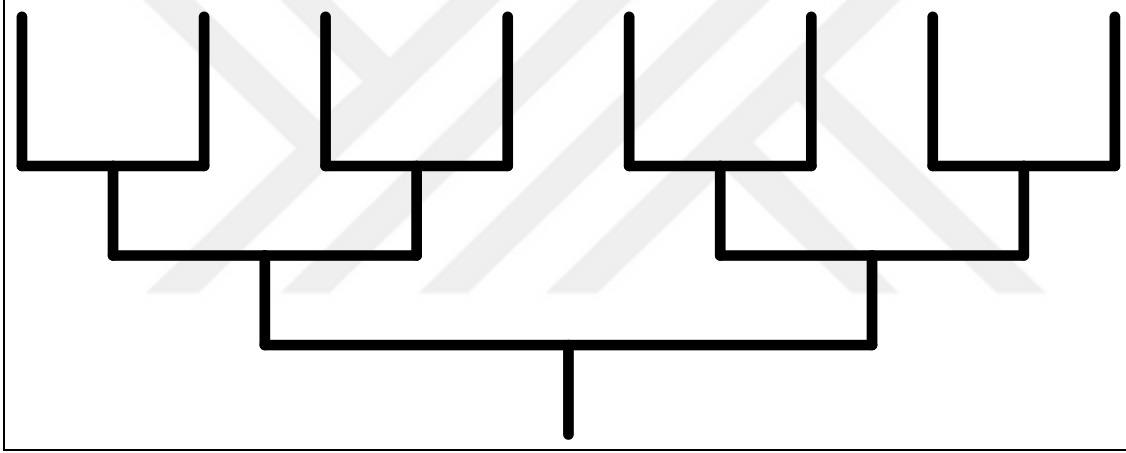
Şekil 3.21. Z ekseninde yer alan izotropik kaynakların fazör gösterimi [5]

3.4.2. Dizi elemanları besleme yöntemleri

Mikroşerit dizi elemanları besleme yöntemleri ortak/paralel besleme ve seri besleme olarak sınıflandırılabilir. Paralel besleme tek bir giriş kapısına ve çıkış portlarını oluşturan paralel besleme hatlarına sahiptir. Paralel beslemede her bir besleme hattı kendine ait bir yayılım elemanına sahiptir. İkinci besleme tipi olan seri besleme, genellikle, küçük oranlarda enerjinin, çeşitli yollar vasıtasıyla hat boyunca yerleştirilen bireysel yama elemanın içine kademeli olarak bağlandığı sürekli bir iletim hattından oluşur. Seri beslemede besleme hattı uyumlu yük ile sonlanıyorsa yürüyen dalga dizisi, açık devre veya kısa devre olarak

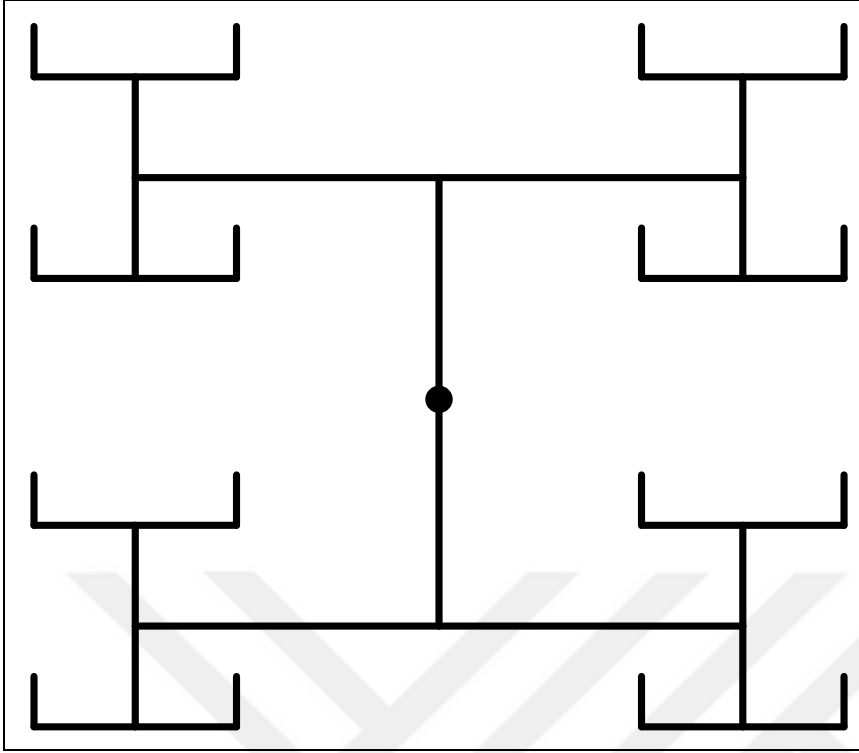
sonlanıyorsa rezonans dizi olarak adlandırılır. Her iki besleme türü de dizi elemanları ile aynı düzlemde veya farklı bir besleme katmanında oluşturulabilir [21].

Tek boyutlu paralel besleme, iki yönlü güç bölücü hatlarından oluşur (Şekil 3.22). Ortak besleme paralel besleme kategorisi içerisinde en çok kullanılan besleme çeşididir. Düzgün bir güç dağılımı için, güç her bir bağlantıda eşit olarak bölünür; bununla birlikte, dizi boyunca düzgün sönümlü dağılım için farklı güç bölücü oranları seçilebilir. Eğer giriş kapısından her bir elemana olan uzaklık özdeş ise demet durumu frekanstan bağımsızdır ve besleme geniş banttır. Giriş kapısı ile dizi elemanlar arasında uzun besleme hatlarına ihtiyaç duyması sebebiyle aradaki besleme hattının yerleşme kaybı (insertion loss) oldukça yüksek olabilir ve dolayısıyla dizinin toplam etkinliği düşebilir [21].



Şekil 3.22. Basit tek taraflı paralel besleme hattı [21]

Çift boyutlu paralel besleme, tek boyutlu paralel beslemelerin düzenlenmesi ile oluşturulur (Şekil 3.23). Basit alt dizi konfigürasyonları her iki tarafta da 2^n eleman bulunarak simetrik yapı korunacak şekilde daha büyük dizilere genişletilebilir. Farklı güç bölücü oranları ile düzgün güç dağılımı elde edilir. İki boyutlu paralel besleme yapısı ince alttaş üzerinde 35, 38, 60 GHz frekanslarında mikroşerit yama dizi tasarımlarında kullanılır [21].



Şekil 3.23. Çift taraflı paralel besleme hattı [21]

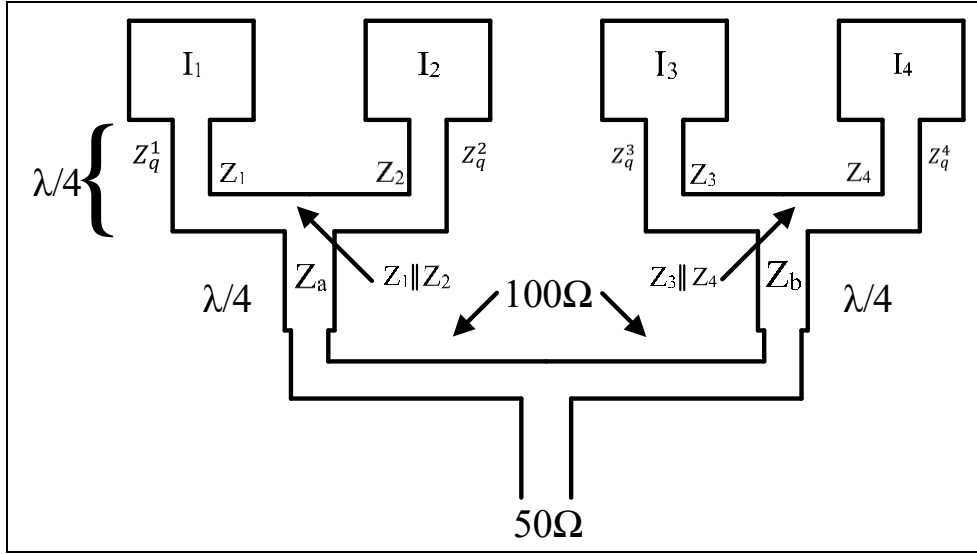
Şekil 3.24’de basit şekilde ortak beslemeli doğrusal dizi anten gösterilmiştir. Her özdeş kare yama elemanı R_{in} giriş direncine sahiptir. İstenilen güç dağılımının sağlanması için elemanların giriş dirençleri bağlı oldukları iletim hatlarının empedanslarına (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4) uyumlu olmalıdır. Bu uyum çeyrek dalga dönüşümü ile sağlanabilir [24].

Basitçe 50Ω Mikroşerit hat iki adet 100Ω hatta bölünür (Şekil 3.24). Böylece güç eşit olarak Z_a ve Z_b çeyrek dalga dönüşümü hatlarına bölünmüş olur. Birinci ve ikinci yamalara I_1 ve I_2 akımları ile güç sağlanır. Bu akımlar Z_1 ve Z_2 hatlarındaki gerilimlerden elde edilir. Her iletim hattında yayılan güç, istenen akım I_1 ve I_2 'yi üretmek için her yamadaki güce eşit olur [24]:

$$\frac{I_1^2 R_e}{I_2^2 R_e} = \frac{V_0^2 / Z_1}{V_0^2 / Z_2} \quad (3.36)$$

I_1 ve I_2 , Z_1 ve Z_2 'nin oranı ile kontrol edilir [24]:

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3.37)$$



Şekil 3.24. Mikroşerit ortak beslemeli dört yamalı anten dizisi [24]

İstenilen akım oranı seçildikten sonra iletim hatlarının empedans oranları seçilir [24].

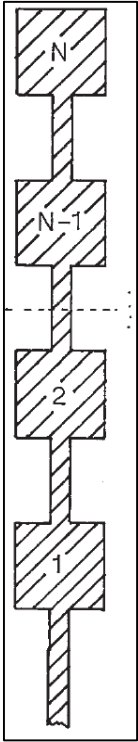
Seri besleme, mikroşerit yamaların mikroşerit hatlar ile seri bağlanmasıyla oluşturulur. Şekil 3.25'te görüldüğü üzere yamalar $\lambda/2$ kılavuz dalga boyuna sahip mikroşerit hat ile birbirlerinden ayrılmıştır. Teoride, iletim hattının karakteristik empedansı kritik değildir çünkü mikroşerit elemanın kenarında oluşturulan her yük bir buçuk dalga boyu aralıktadır (Şekil 3.26 (a)). Rezonansta, her çift dikdörtgen mikroşerit eleman, eşdeğer admitans ile birleştirilebilir. Her bir yamayı temsil eden bir yük, mikroşerit iletim hattının yarım dalga boyu bölümleri ile ayrılır (Şekil 3.26 (b)). Bu ayırma, rezonansta seri beslemeli dizinin giriş direncini hesaplamayı sağlar [24]:

$$R_{in} = \left(2 \sum_{n=1}^N G_n \right)^{-1} \quad (3.38)$$

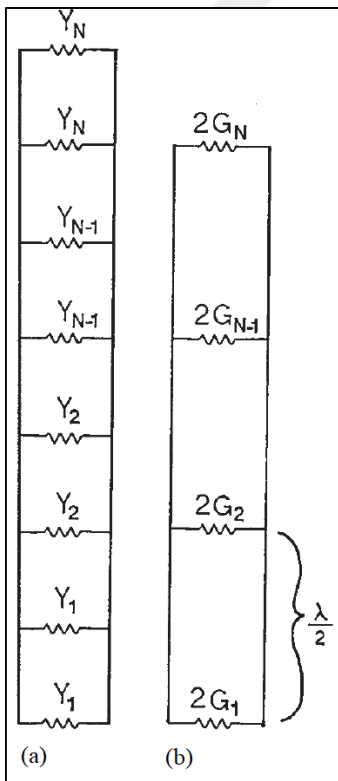
Burada G_n her yamanın iletkenliğidir. Eğer seri besleme dizisindeki her yama (N adet), aynı yarı iletkenliğine (G_e) sahipse giriş direnci,

$$R_{in} = \frac{1}{2NG_e} \quad (3.39)$$

biçiminde yazılır.



Şekil 3.25. Seri beslemeli mikroşerit dizi [24]



Şekil 3.26. (a) Seri mikroşerit dizinin iletim hattı gösterimi (b) Mikroşerit elemanların mikroşerit iletim hattının yarım dalga boyu bölümleri arasında toplu direnç yükü gösterimi [24]



4. RADARLAR

Radar kelimesi “Radio Detection and Ranging” kelimelerinden türetilmiş bir kısaltmadır. Türk dil kurumu sözlüğüne göre “Radyo dalgalarının yankısını alarak cisimlerin yerini ve uzaklığını bulabilme, genellikle uçak ve gemilerde kullanılan cihaz.” şeklinde tanımlanır. Radar, yansıyan radyo dalgaları vasıtasıyla görünmez veya uzak nesnelere algılayan ve onları doğru bir şekilde konumlandırabilen bir cihazdır. Radar, ister gökyüzünde ister denizde ister karada olsun, dalgalarını yansıtacak herhangi bir nesneyi ışık hızıyla algılayabilir [25]. Yüzyıllar önce denizlerde buzdağlarını algılamak için denizciler belli bir yöne bağırrır veya ıslık çalarlardı ve yansıyan sesleri dinleyerek o yönde buzdağı olup olmadığını anlardı. Ses buzdağına gider ve küçük bir parçası saniyeler içinde geri yansır. Ses saniyede yaklaşık 300m hareket eder ve yansımadan önce geçen her saniye hedef uzaklığı için 150m demektir. Bu yöntem civardaki buzdağlarını algılamak için başarılı bir yöntemdir. Radarlar da benzer yöntemle çalışırlar. Ancak radarlarda ses dalgaları yerine radyo dalgaları kullanılır. Elektromanyetik spektrumda radar, UHF (Ultra High Frequency) televizyon, UHF radyo, orta dalga radyo, uzun dalga radyo, mobil telefonlar ve radyo dalgaları olarak adlandırılır. Tüm bu dalgaların hızları aynıdır ve ışık hızına sahiplerdir. Işık saniyede yaklaşık 300.000.000 metre yol alır ve bu sesten yaklaşık 1 milyon kez daha hızlıdır [26].

Radar kavramı ilk defa Alman fizikçi Heinrich Hertz tarafından 1885’ten 1888’e kadar yapılan klasik deneylerle ortaya çıkmıştır. Hertz 1864 yılında, James Clerk Maxwell tarafından yayınlanan elektromanyetik alan teorisinin tahminlerini deneysel olarak doğrulamıştır. Hertz, 455 MHz değerine yakın frekanslarda darbe radarına benzer prensipte bir aparat kullanmıştır. Hertz bu deneyler ile radyo dalgalarının metalik nesnelere yansıyabildiğini ve bir dielektrik prizma ile kırıldığını göstermiştir. Hertz’in bu çalışmalarından sonra radar üzerinde çalışmalar artmıştır ve özellikle ikinci dünya savaşından sonra radar üzerine yapılan çalışmalar hızlı bir gelişim göstermiştir [27].

Radarlar yerdeki, denizdeki, havadaki, uzaydaki ve hatta yer altındaki hedefleri tespit etmek için birçok farklı alanda kullanılır.

- Askeri radarlar hava savunma sistemlerinde silahların önemli parçalarıdır. Askeri radarlar gözlem, hedef tespiti, hedef takibi ve silahlar için hedef tanımlama özelliklerine sahiptir.

Radar kullanımında ordu en büyük kullanıcı ve radar teknolojisinin gelişiminde başlıca araç olmuştur.

- Uzaktan algılama radarları ortamın algılanması için kullanılan sensörlerdir. Hava durumu gözlemi, gezegen gözlemi ve haritalaması, kısa menzil toprak altı haritalaması ve gemi rotalarındaki buzulların haritalanması kullanım alanlarıdır.
- Hava trafik kontrolü radarları, havalimanı ve çevrelerinde hava trafiğini güvenli bir şekilde kontrol etmek ve havalimanları arasındaki hareketlerin veya uçakların yerdeki hareketlerinin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için kullanılır. Aynı zamanda havalimanı çevresindeki hava durumunu gözlemlemek amacı için de radarlar kullanılır. Askeri uçaklarda da dost/düşman algılama amacı ile de radar kullanılır.
- Kanun uygulanması ve karayolu güvenliği radarları, Polisler tarafından hız ölçümü için kullanılır. Ayrıca otomobillerde hava yastıklarının açılması, engellerin algılanması, arkada veya kör noktada bulunan insanların algılanması gibi güvenlik artırıcı amaçlar için radarlar kullanılır.
- Uzay araçları buluşma, kenetlenme ve ayın yüzeyine iniş için radar kullanır. Daha öncede bahsedildiği üzere özellikle dünyanın gözlemlenmesi olmak üzere gezegen gözleminde radarlar kullanılır. Büyük yer radarları uyduların ve diğer uzay objelerinin algılanması ve takibi için kullanılır. Astronomi alanında kullanılan radarlar meteorların yapısını algılamada ve uzaydaki mesafelerin ölçümünde görev alırlar.
- Radarlar ayrıca endüstride hız ve mesafe ölçümü için kullanılır. Petrol, gaz araştırmalarında ve ayrıca entomologlar ile ornitologlar tarafından böceklerin ve kuşların hareketlerinin incelenmesinde radarlar kullanılır [27].

Radarlar genellikle mikrodalga bölgesinde çalışırlar. Geçmişteki operasyonel radarlar 100 MHz'den 36 GHz'e kadar değişen frekanslarda çalışmışlardır. Ancak bu bir sınır değildir. Ufuk ötesi HF (High Frequency) radarlar birkaç megahertz kadar düşük frekanslarda çalışır. Aynı zamanda deneysel milimetre radarları 240 GHz'den daha yüksek frekanslarda çalışırlar. Çizelge 4.1'de frekans bantları ve adlandırılmaları gösterilmiştir [27].

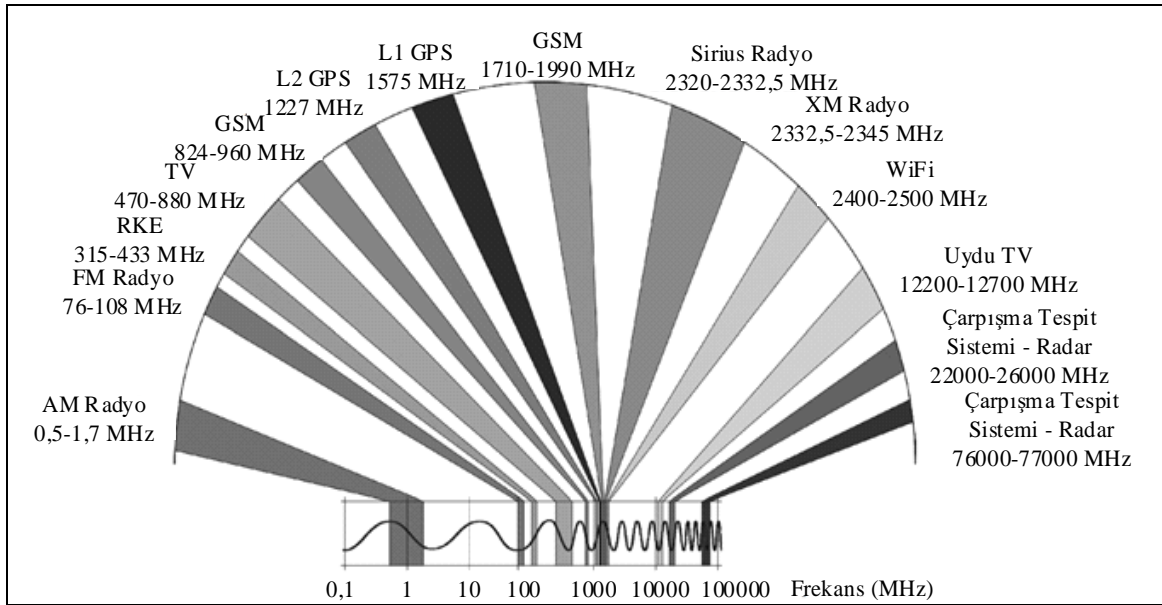
Çizelge 4.1. IEEE standart radar frekansı harf-bant isimlendirme [27]

Bant Gösterimi	Frekans Aralığı	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği Bölge 2'deki Radarlar İçin Belirlenmiş Özel Frekans Aralıkları
HF	3-30 MHz	
VHF	30-300 MHz	138-144 MHz 216-225 MHz
UHF	300-1000 MHz	420-450 MHz 850-942 MHz
L	1-2 GHz	1215-1400 MHz
s	2-4 GHz	2300-2500 MHz 2700-3700 MHz
c	4-8 GHz	5250-5925 MHz
X	8-12 GHz	8500-10,680 MHz
Ku	12-18 GHz	13.4-14,0 GHz 15.7-17,7 GHz
K	18-27 GHz	24.05-24.25 GHz
Ka	27-40 GHz	33.4-36 GHz
v	40-75 GHz	59-64 GHz
w	75-110 GHz	76-81 GHz 92-100 GHz
mm	110-300 GHz	126-142 GHz 144-149 GHz 231-235 GHz 238-248 GHz

4.1. Otomobil Radarları

Günümüzde otomobiller birçok elektronik sisteme sahiptirler. Bu elektronik sistemlerin bir kısmı eğlence ve konfor, bir diğer kısmı ise kullanıcıya yardımcı olacak “Gelişmiş Sürücü Yardımı” sağlayan sistemlerdir. Bu sistemlere örnek olarak küresel konumlandırma sistemi, araç içi görüntü/ses eğlence sistemleri, cep telefonu haberleşmesi, şerit takip, çarpışma önleyici sistemler, hız kontrol sistemleri verilebilir. Günümüzde halen geliştirilmekte olan otonom arabalar da bu sistemlerin bazılarını kullanarak çalışır [28]. Bu sistemlerde birçok farklı tipte teknoloji kullanılır. Lidar, ultrasonic sensör, yaklaşma sensörü, ivmeölçerler, kamera ile görüntü işleme ve radar bu teknolojilere örnek olarak sunulabilir [28-29].

Modern arabalarda farklı elektronik donanımlar için farklı antenler kullanılır. FM/AM yayımlar, uydu dijital sesli radyo servisi (SDARS- Satellite Digital Audio Radio Service), küresel konumlandırma sistemleri (GPS- The Global Positioning System), cep telefonu haberleşmesi, dijital ses yayınları, uzaktan kumandasız giriş ve uzaktan motor çalıştırma sistemleri, televizyon yayınları, elektronik cihaz bağlantısı ve otomobil radarları bu antenlerin kullanım alanlarıdır [18]. Otomobillerde kullanılan elektronik donanımların frekans spektrumu Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

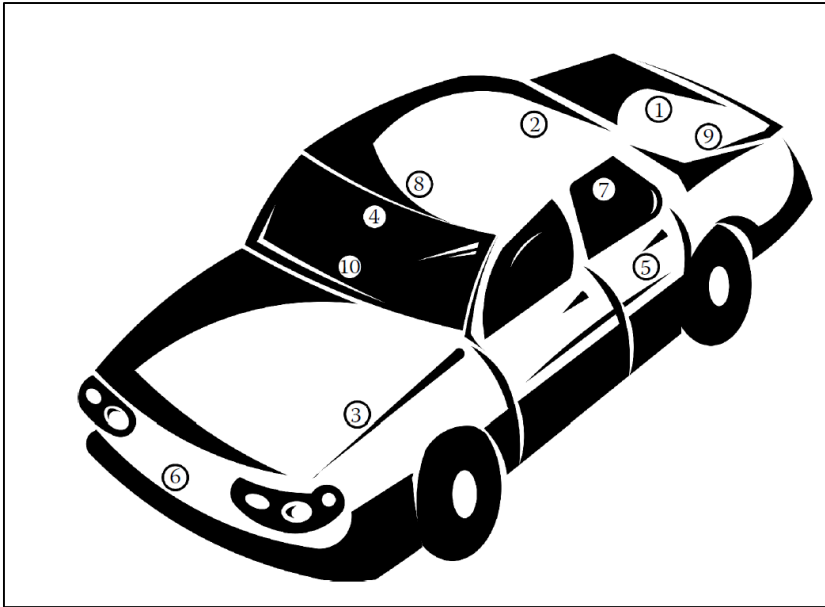


Şekil 4.1. Farklı uygulamalar için anten konumları [18]

Şekil 4.2’de farklı elektronik uygulamaları için otomobil üzerindeki anten konumları gösterilmiştir. 3 veya 9 konumunda AM/FM kamçı anten, 2 veya 8 konumunda AM/FM kısa sarmal anten, 7 veya 4 konumunda AM/FM cama baskı anten, yine 2 konumunda GPS, SDARS veya cep telefonu haberleşme antenleri, 5 veya 10 konumunda kısa menzil kablosuz haberleşme antenleri ve 6 konumunda veya arka kısımda ise çarpışma önleyici radar antenleri bulunur [18].

Çarpışma önleyici sistemlerde radarlar görüntü, lazer ve ses ötesi gibi alternatif sensörler ile karşılaştırıldığı zaman otomobil sürücü yardımı ve güvenlik gerektiren uygulamalarda hava durumundan bağımsız olma ve menzil kazancı avantajlarından dolayı önemli bir teknolojidir. Bununla beraber elektromanyetik geçirgen malzemelerin arkasına takılarak dışarıdan görünmemesi şeklinde ve halka açık haberleşme sistemleri ile girişim olmaması gibi ek avantajlara da sahiptir [30-31]. Otomobil radarı alanındaki ilk deneyler 50’lerin

sonlarına doğru yapılmıştır [32]. Radarların arabalarda çarpışma önleme amacı ile kullanımı ise 1964 yılında tartışılmaya başlanmıştır [33]. 1970'lerin başlarında boyutu büyük 10 GHz otomobil radar test sistemi VDO şirketi tarafından sunulmuştur [34]. Anten boyutunu küçültmek için radar frekansı 10 GHz'den başlayarak 70'lerin ortasında 34 ve 50 GHz'e ve 90'larda 60, 77 ve 94 GHz'e yükselmiştir [35]. Bu frekanslara ek olarak 16GHz, 24GHz ve 79GHz frekans değerlerinde araçlar üzerinde testler yapılmıştır [4]. 1992'den beri Eaton VORAD firması tarafından geliştirilen 24 GHz Doppler radar sistemi 1700 Greyhound otobüsüne kurulmuştur [33]. 1999 yılında Mercedes-Benz radar tabanlı otonom hız kontrol sistemini tanıtan ilk araba üreticisidir [36].



Şekil 4.2. Farklı uygulamalar için anten konumları [18]

Otomobillerde kullanılan radarlar “Kısa Mesafe Radar (Short Range Radar (SRR))” ve “Uzun Mesafe Radar (Long Range Radar (LRR))” olarak adlandırılır. Günümüzde otomobil radarlarında en çok kullanılanlar 24GHz (22-26GHz) ve 79GHz (77-81GHz) frekans değerleridir [37]. Aynı zamanda bu frekanslar Avrupa Komisyonu tarafından otomobil radarları için resmi olarak tahsis edilmiştir [38]. Günümüzde genellikle 24 GHz otomobil radarlarında kullanılan frekanstır. Ancak gelecek radar çalışmalarında radarın çalışma frekansının 22-24 GHz bandından 76-81 GHz bandına kaydırılması planlanmıştır. Bu kaydırma işleminin başlıca birkaç sebebi vardır. İlk olarak kullanıcıya yardımcı sistemler ve araç güvenlik sistemleri daha yüksek çözünürlükte ve kesinlikte olacaktır. İkinci olarak radar performansı artarken boyutları küçülecektir. Son olarak uzun menzilli radarlar aynı zamanda

orta ve kısa menzilli radarları da kapsayacak şekilde çalışacaktır. Tüm bu sebeplerden bu iki frekans arasından 24GHz kullanımı ise aşama aşama azaltılmaktadır [39]. 2013 yılından itibaren otomobil radarlarında 24GHz'den 79GHz'e geçilmesi planlanmaktaydı, ancak 79GHz teknolojisi henüz tam olarak olgunlaşmadığı için geçiş 2018 yılına ertelenmiştir [40]. Geçişin ancak 2022 yılında tam olarak tamamlanması öngörülmektedir [38].

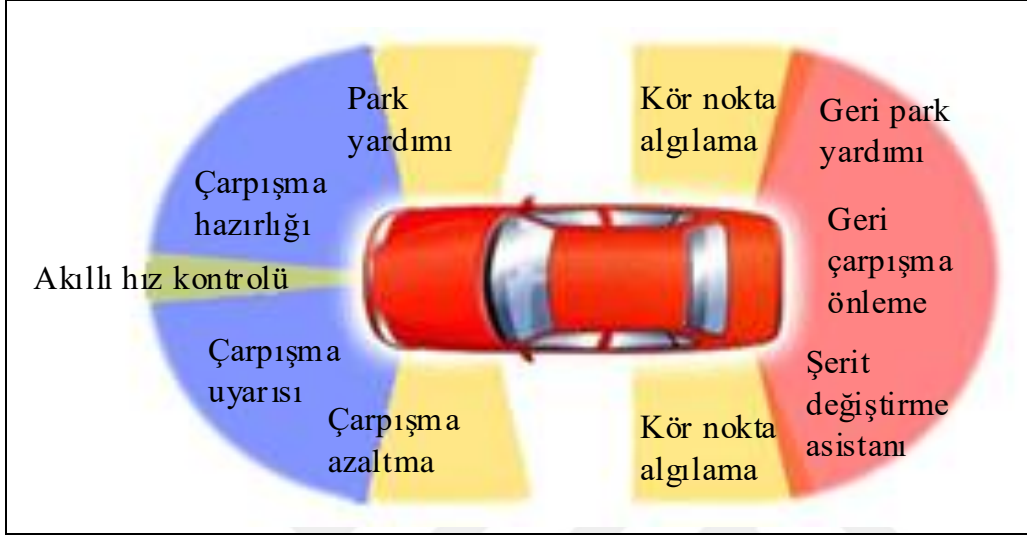
Otomobil radarının çalışma prensibi, bir elektromanyetik darbenin hareket yönünde iletilmesidir. Çalışma frekansı 10,525 GHz (X bandı) veya 24,125 GHz (K bandı) olabilir. X bandındaki dalga boyu 3 santimetredir ve bu dalga boyu toz, sis, vb. içinden geçecek kadar büyük ve büyük nesnelere tarafından yansıtılacak kadar kısadır. Radar sinyalinin gönderen verici çıkış gücü 10 ila 20 mW arasındadır. Daha büyük bir algılama mesafesi için, verici gücünü arttırmak gereklidir. Bir başka önemli şey mikrodalga alıcı verici sistemin anten tasarımıdır. Gönderilen darbe hareket yönünde dar bir hüzmeye uzak mesafeye iletilmelidir. Eğer gönderilen darbe bir nesneyle karşılaşır, darbenin bir kısmı kaynağa doğru geri yansır. Yansıyan enerji, algılanan nesnenin yapısına ve şekline bağlıdır. Metalik bir yüzey iletilen enerjinin daha büyük bir miktarını yansıtırken, plastik yüzey aynı enerjinin daha küçük bir miktarını yansıtır ve daha büyük bir yüzey daha küçük olandan daha fazla enerjiyi yansıtır. Ayrıca, yansıyan enerji algılanan nesneye olan mesafeye de bağlıdır. Dolayısıyla alınan güç birçok etkene bağlıdır; verici gücü, nesnenin yapısı, nesne yüzeyi, anten açıklığı, nesneye olan mesafe ve dalga boyu. Bu sebeplerden dolayı algılama mesafesini arttırmak için verici gücü artırılabilir. Ancak halkın maruz kalacağı elektromanyetik alanlar belirli düzenlemelerden dolayı sınırlandırıldığı için güç artırımı limitlidir. Bu noktada yapılması gereken antenin kazancının yükseltilmesidir [18].

Otomobil radarlarının arabalarda birçok kullanımı vardır. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Çarpışma tahmini,
- Öndeki araç ile aradaki mesafenin hesaplanması,
- Akıllı hız kontrolü,
- Engel uyarısı,
- Kör nokta takibi,
- Park yardımı,
- Şerit değiştirme asistanı,

- Arkadan çarpma uyarısı [36].

Şekil 4.3’de yukarıda bahsedilen kullanım alanlarının araba üzerindeki dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Otomobil radarları kullanım alanları [36]

Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada antenlerin 10-10,5GHz, 22-26GHz ve 75-81GHz frekans bantlarında çalışabilmesi göz önünde bulundurulmuştur. Düşük maliyetli, kolay üretilebilir ve kolay kullanılabilir olması amaçlandığından mikroşerit anten tipi seçilmiştir.



5. OTOMOBİL RADARLARI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARLAMA

Bu bölümde otomobil radarları için yapılan mikroşerit yama anten tasarımı anlatılmıştır. Anten boyutları önce teorik olarak hesaplanmıştır. Teorik olarak yapılan hesaplamalar CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio programında modellenmiştir. Modellenen antenin simülasyonu yapılmış ve simülasyon sonuçlarına göre anten boyutları optimize edilmiştir. Böylece tek eleman yama anten tasarlanmıştır. Daha sonrasında daha yüksek kazanç elde etmek için tasarlanan tek eleman yama anten ile dizi anten tasarımı yapılmıştır.

Tasarlanan tek eleman yama antenin üç farklı frekans bandında (9-12 GHz, 22-26 GHz, 75-81 GHz) simülasyonu yapılmıştır. Bu üç farklı frekans bantlarında yapılan simülasyon sonuçlarına göre günümüzde otomobil radarlarında en çok kullanılan 22-26 GHz ve 75-81 GHz frekans bantlarında iyileştirme yapmak için birinci tasarlanan anten üzerinde çalışma yapılmıştır ve ikinci tasarım anten elde edilmiştir. İkinci tasarlanan anten için de bu üç frekans bandında simülasyon yapılmış ve birinci antenin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Birinci ve ikinci yama antenler ile iki konfigürasyonda dizi anten tasarımı yapılmıştır. Birinci konfigürasyonda 1x2 doğrusal dizi anten tasarımı yapılmıştır. Birinci ve ikinci antenler kullanılarak bu konfigürasyonda iki farklı tip dizi anten elde edilmiştir. İkinci konfigürasyonda 2x2 düzlemsel dizi anten tasarımı yapılmıştır. Birinci ve ikinci antenler kullanılarak bu konfigürasyonda iki farklı tip dizi anten elde edilmiştir. Her iki konfigürasyondaki antenlerin üç farklı frekans bandında (7-12 GHz, 22-26 GHz, 75-81 GHz) simülasyonu yapılmıştır. Her iki konfigürasyondaki anten sonuçları da karşılaştırılmıştır.

Tasarlanan her iki tek anten ve her iki dizi konfigürasyonundaki antenler de üretilmiş ve S_{11} parametreleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Tek Yama Anten Tasarımı ve Simülasyonu

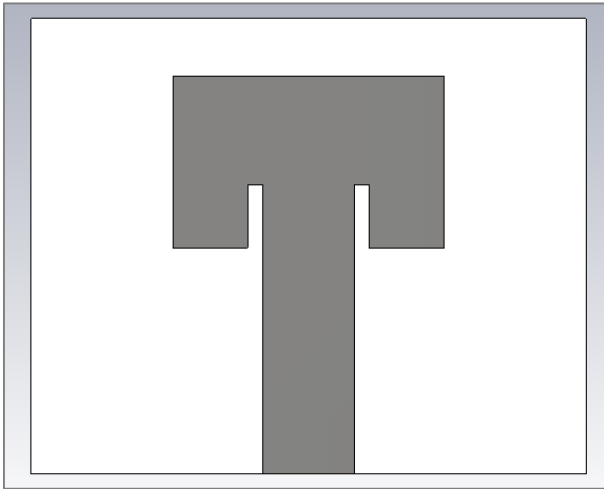
Anten tasarımına önce çalışma frekansı seçilerek başlanmıştır. Tasarım başlangıcı olarak X bant seçilmiştir ve rezonans frekansı (f_r) 10 GHz kabul edilmiştir. Altaş malzemesi olarak dielektrik sabiti (ϵ_r) 4,3 olan FR-4 malzemesi seçilmiştir. Altaş yüksekliği 1,6 mm olarak

belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere göre hesaplanan yama anten boyutları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Teorik Hesaplanan Yama Anten Boyutları

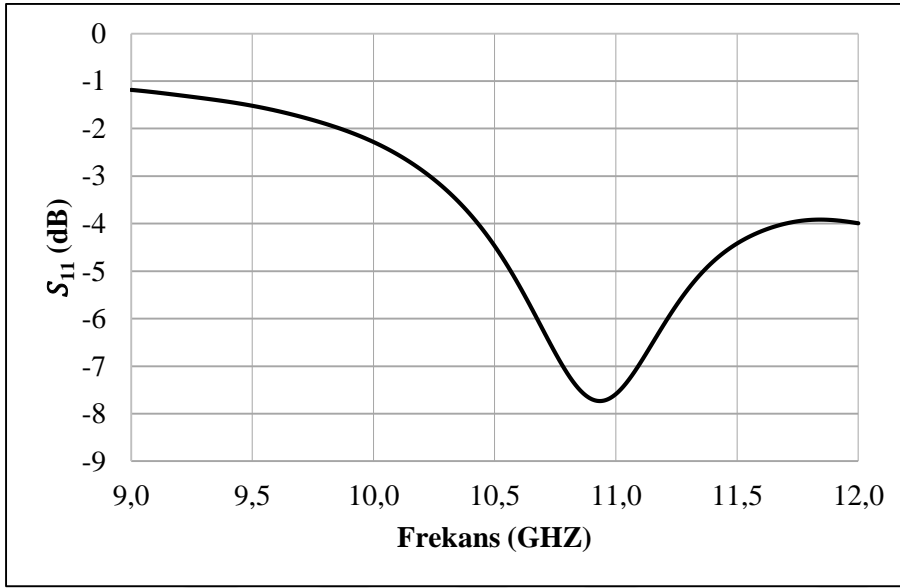
f_r	10 GHz
Alttaş Malzemesi	FR-4
ϵ_r	4,3
h (alttaş yüksekliği)	1,6 mm
W (yama genişliği)	9,21 mm
L (yama uzunluğu)	5,82 mm
Wg (alttaş genişliği)	18,81 mm
Lg (alttaş uzunluğu)	15,43 mm
y_0	2,15 mm
t (bakır kalınlığı)	0,035 mm
Wf (mikroşerit hat kalınlığı)	3,11 mm

Boyutları teorik olarak tasarlanan yama anten CST programında modellenmiş ve 9-12 GHz, 22-26 GHz, 75-81 GHz frekans bantlarında simülasyonlar yapılmıştır. Tasarlanan anten Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

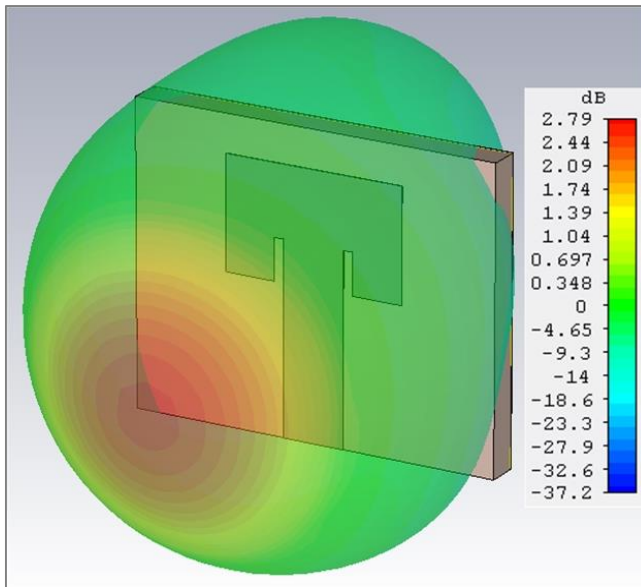


Şekil 5.1. Teorik olarak boyutları belirlenen anten

Şekil 5.2’de boyutları teorik olarak hesaplanan yama antenin S_{11} parametresinin ilk frekans bandındaki grafiği Şekil 5.2 gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresinin 9-12 GHz aralığında -10 dB’den daha iyi olduğu bir frekans yoktur. 10,2 GHz de antenin S_{11} değeri -2,87 dB’dir. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 3D ışınım görüntüsü Şekil 5.3’te gösterilmiştir. Antenin kazancı 2,79 dB ve yönlülüğü 6,97 dBi’dir.

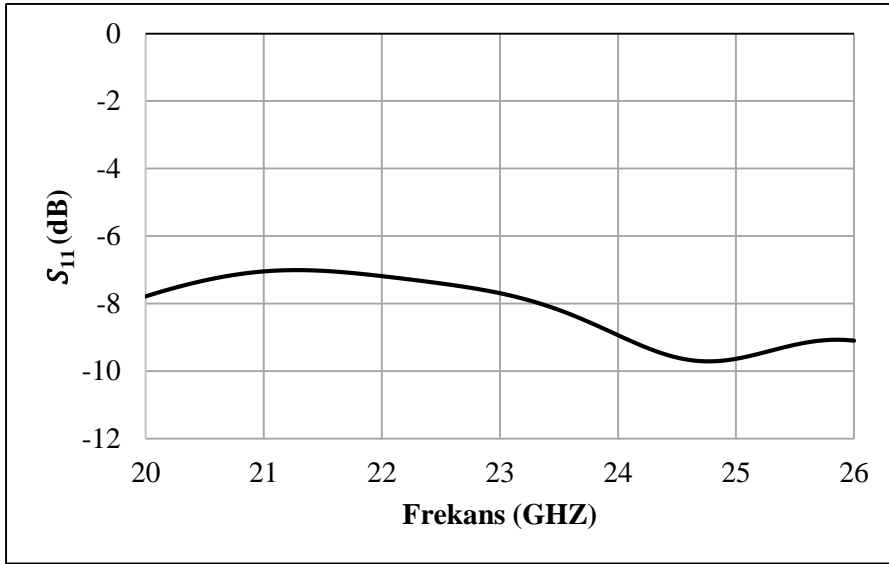


Şekil 5.2. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin S_{11} parametresi 9-12 GHz bandı simülasyon sonucu

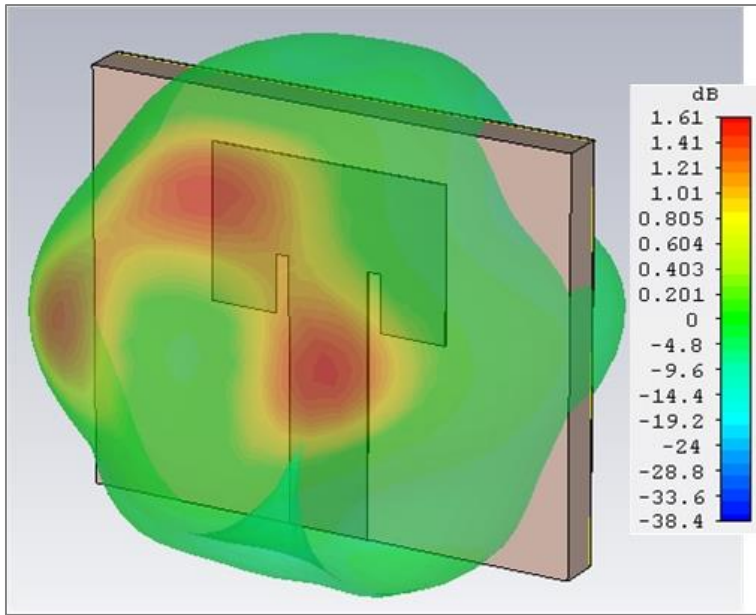


Şekil 5.3. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 10 GHz’deki 3D ışınım görüntüsü

Şekil 5.4'de teorik olarak hesaplanan yama antenin S_{11} parametresinin ikinci frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresinin 22-24 GHz aralığında -10 dB'den daha iyi olduğu bir frekans yoktur. 24 GHz de antenin S_{11} değeri -8,93 dB'dir. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Antenin kazancı 1,61 dB ve yönlülüğü 5,38 dBi'dir.

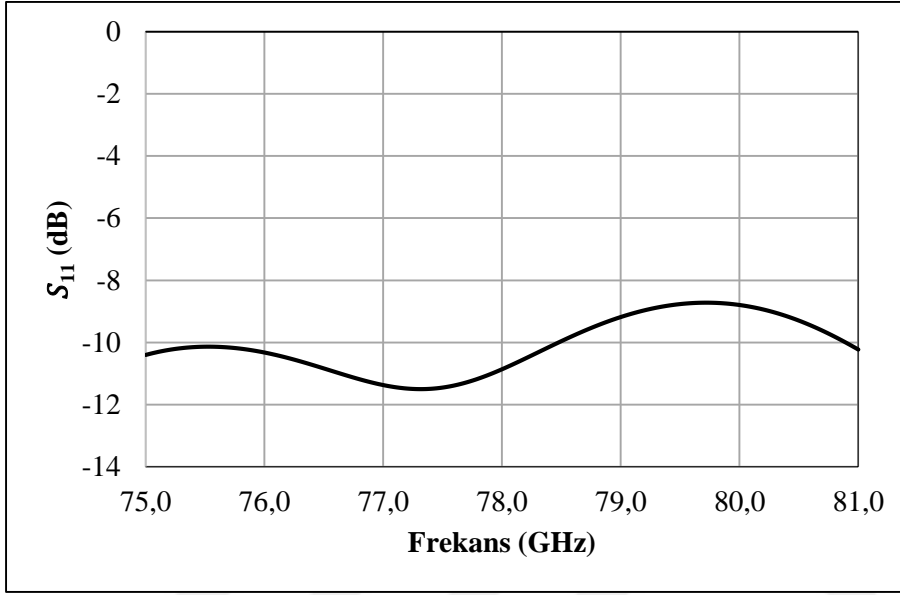


Şekil 5.4. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin S_{11} parametresi 20-24 GHz bandı simülasyon sonucu

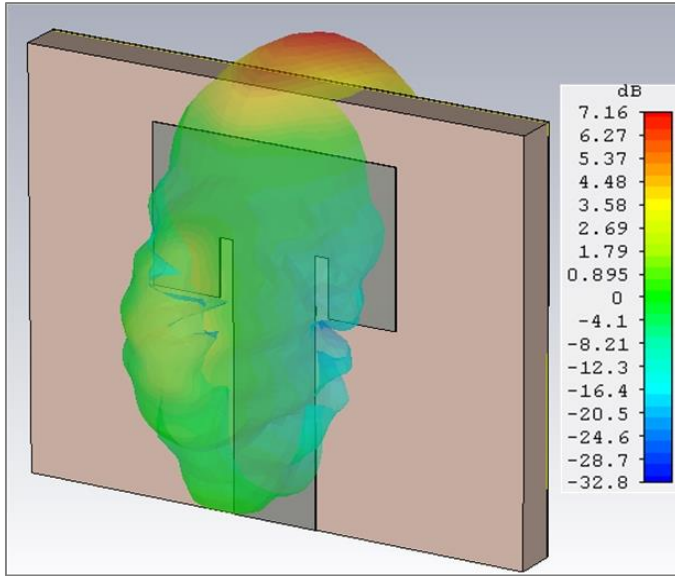


Şekil 5.5. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 24 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

Şekil 5.6’da teorik olarak hesaplanan yama antenin S_{11} parametresinin üçüncü frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz aralığının 75-78,4 GHz frekans aralığında -10 dB’den daha iyidir, ancak 79 GHz de S_{11} değeri -9,17 dB’dir. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Antenin kazancı 7,16 dB ve yönlülüğü 10,20 dBi’dir.



Şekil 5.6. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz bandı simülasyon sonucu



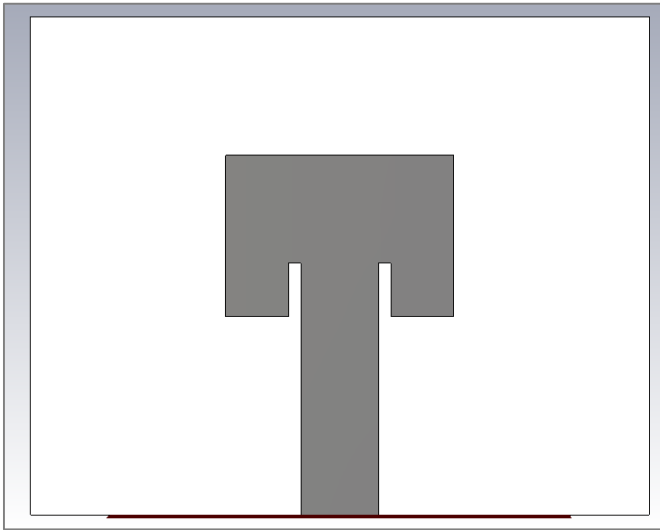
Şekil 5.7. Teorik hesaplanan boyutlara göre tasarlanan antenin 79 GHz’deki 3D ışınma görüntüsü

Simülasyona göre elde edilen sonuçların iyileştirilmesi amacı ile anten boyutları optimize edilmiştir. Optimize edilen boyutlar CST programında yeniden modellenmiş ve simülasyon yapılmıştır. Optimize edilen antenin boyutları Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Optimize Edilen Yama Anten Boyutları

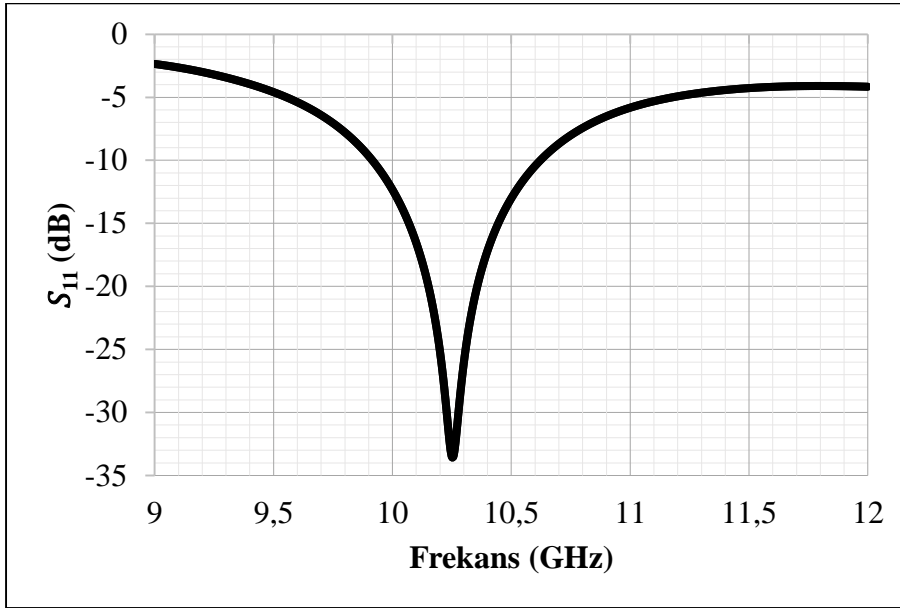
h (alttaş yüksekliği)	1,6 mm
W (yama genişliği)	9,21 mm
L (yama uzunluğu)	6,50 mm
Wg (alttaş genişliği)	25,00 mm
Lg (alttaş uzunluğu)	16,10 mm
y0(Mikroşerit hattın yama üzerindeki girinti uzunluğu)	2,15 mm
t (bakır kalınlığı)	0,035 mm
Wf (mikroşerit hat kalınlığı)	3,12 mm

Boyutları optimize edilen yama anten CST programında modellenmiş ve 9-12 GHz, 22-26 GHz, 75-81 GHz frekans bantlarında simülasyonlar yapılmıştır. Tasarlanan anten Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

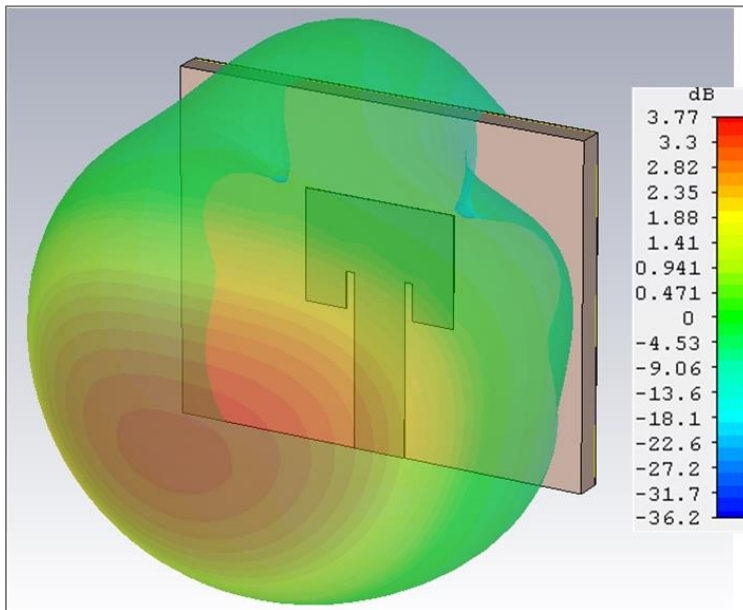


Şekil 5.8. Optimize edilmiş anten (birinci anten)

Şekil 5.9’da boyutları optimize edilen yama antenin (birinci anten) S_{11} parametresinin ilk frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresinin 9-12 GHz aralığında 9,88-10,58 GHz frekansları aralığında -10 dB’den daha iyidir. Antenin bant genişliği 702 MHz’dir. 10,2 GHz de antenin S_{11} değeri -33,58 dB’dir. Optimize edilen boyutlara göre tasarlanan antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Antenin kazancı 3,77 dB ve yönlülüğü 6,51 dBi’dir.

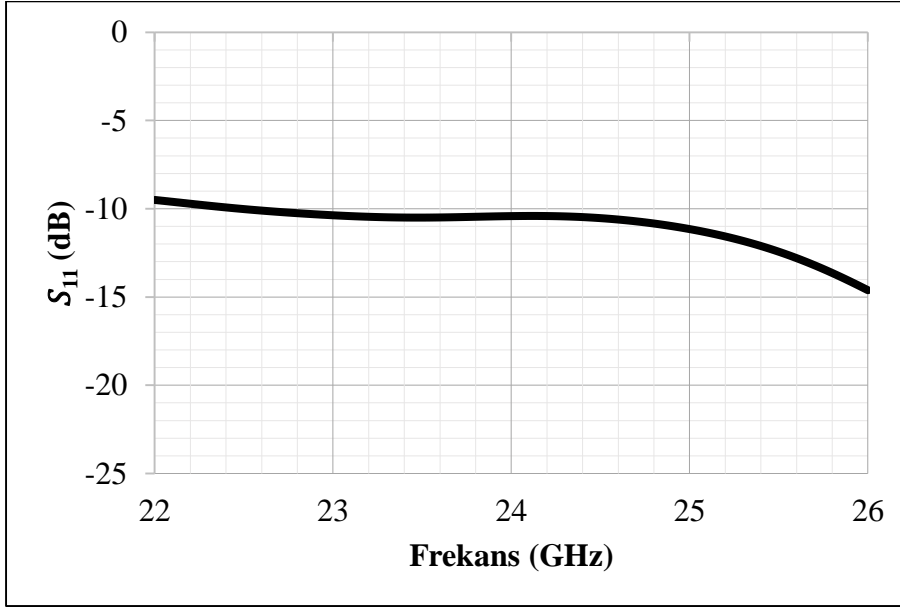


Şekil 5.9. Birinci antenin S_{11} parametresi 9-12 GHz bandı simülasyon sonucu

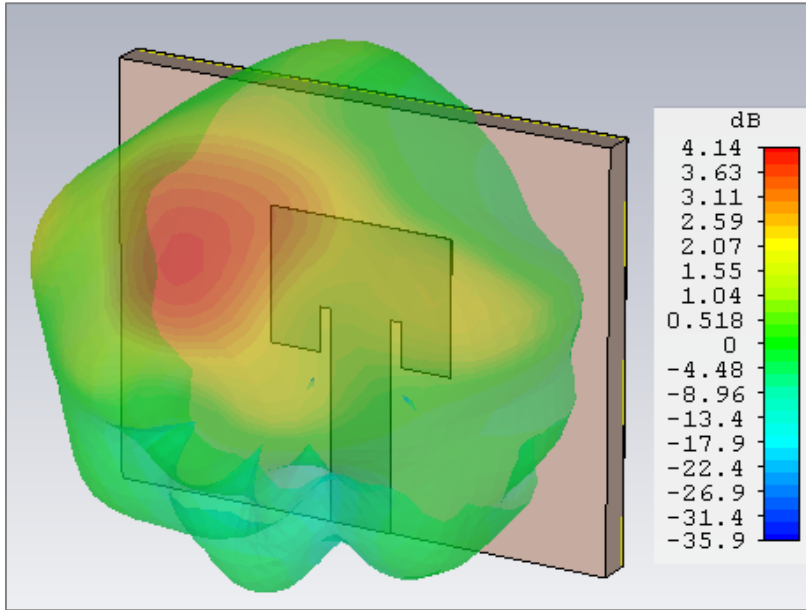


Şekil 5.10. Birinci antenin 10,2 GHz’deki 3D ışınma görüntüsü

Şekil 5.11’de boyutları optimize edilen yama antenin (birinci anten) S_{11} parametresinin ikinci frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresinin 22-26 GHz aralığında 22,47-26,00 GHz frekansları aralığında -10 dB’den daha iyidir. Antenin bant genişliği 3527 MHz’dir. 24 GHz de antenin S_{11} değeri -10,42 dB’dir. Optimize edilen boyutlara göre tasarlanan antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Antenin kazancı 4,14 dB ve yönlülüğü 6,7 dBi’dir.

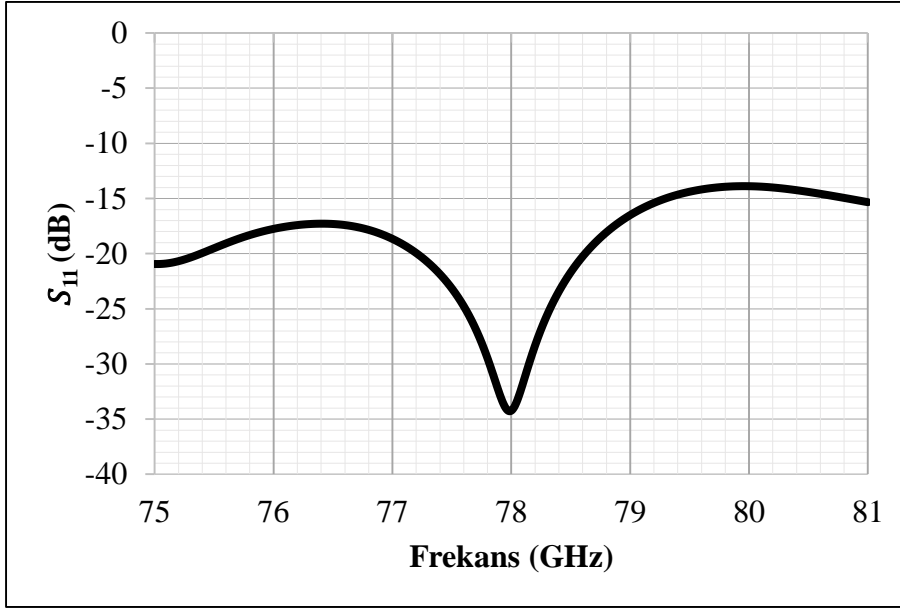


Şekil 5.11. Birinci antenin S_{11} parametresi 22-24 GHz bandı simülasyon sonucu

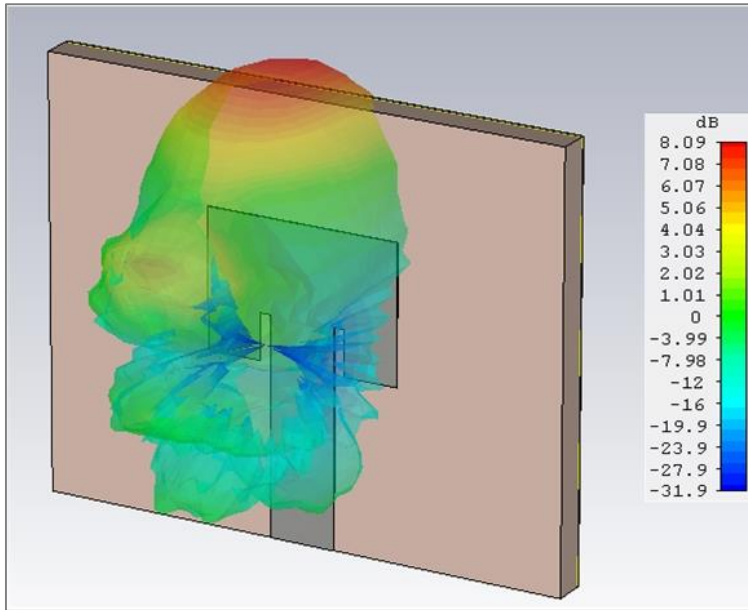


Şekil 5.12. Birinci antenin 24 GHz’deki 3D ışınma görüntüsü

Şekil 5.13'de boyutları optimize edilen yama antenin (birinci anten) S_{11} parametresinin üçüncü frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 6000 MHz'dir. 79 GHz de antenin S_{11} değeri -16,48 dB'dir. Optimize edilen boyutlara göre tasarlanan antenin 3D ışınım görüntüsü Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 8,09 dB ve yönlülüğü 10,9 dBi'dir.



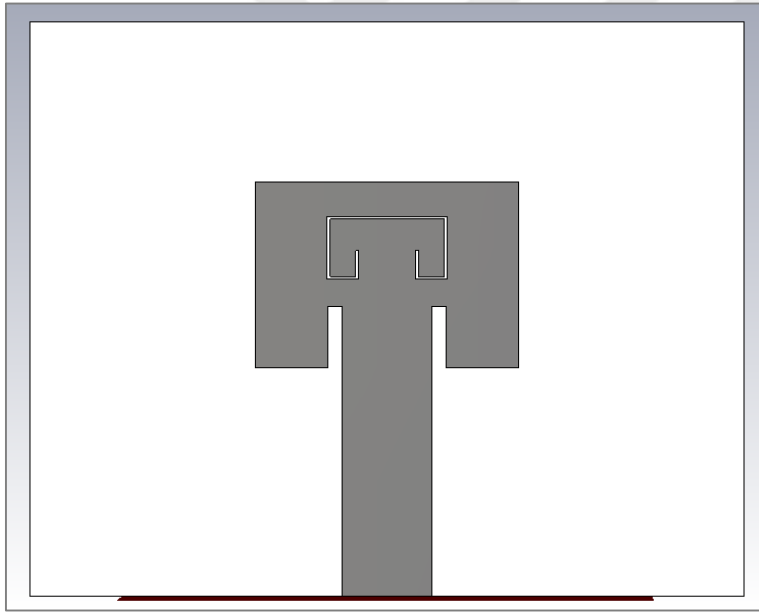
Şekil 5.13. Birinci antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz bandı simülasyon sonucu



Şekil 5.14. Birinci antenin 79 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü

Yapılan optimizasyon sonucunda antenin her üç bandında da performansı yükselmiştir. 9-12 GHz bandında 10,20 GHz'de S_{11} parametresi değeri -2,87 dB'den -33,58 dB'ye yükselmiştir ve anten kazancı 2,79 dB'den 3,77 dB'ye yükselmiştir. 22-26 GHz bandında 24 GHz'de S_{11} parametresi değeri -8,93 dB'den -10,42 dB'ye yükselmiştir ve anten kazancı 1,61 dB'den 4,14 dB'ye yükselmiştir. 75-81 GHz bandında 79 GHz'de S_{11} parametresi değeri -9,17 dB'den -16,48 dB'ye yükselmiştir ve anten kazancı 7,16 dB'den 8,09 dB'ye yükselmiştir.

Birinci anten simülasyon sonuçları elde edildikten sonra otomobil radarlarında en çok kullanılan frekans bantları 22-26 GHz ve 75-81 GHz olduğu için bu bantlarda iyileştirme yapma amacı ile antenin bakır yaması üzerine küçük bir yama anten daha eklenmiştir. Eklenen yama antenin genişliği 4 mm ve uzunluğu 2 mm'dir. İçerisine küçük yama anten eklenerek tasarlanan anten Şekil 5.15'de gösterilmiştir.

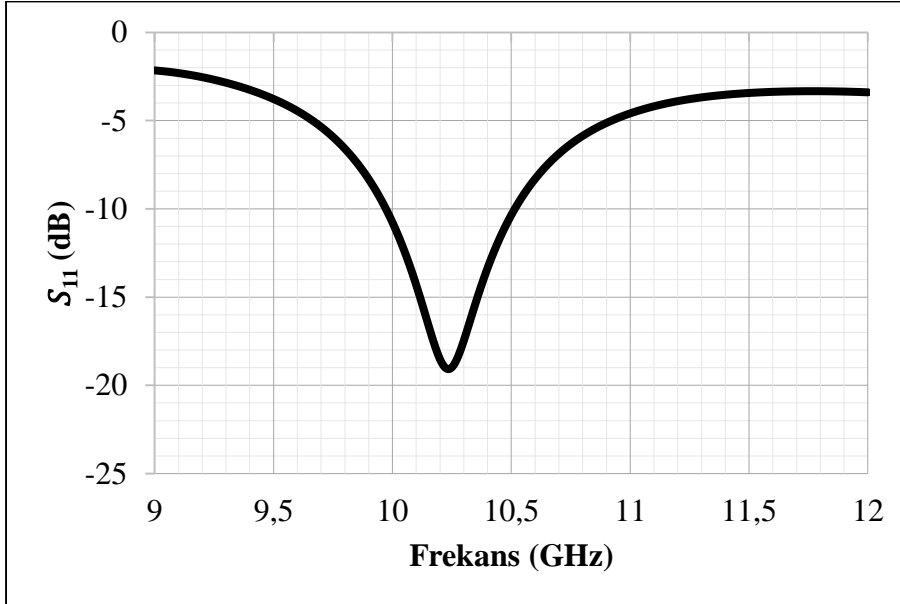


Şekil 5.15. İçerisine küçük yama eklenmiş anten (ikinci anten)

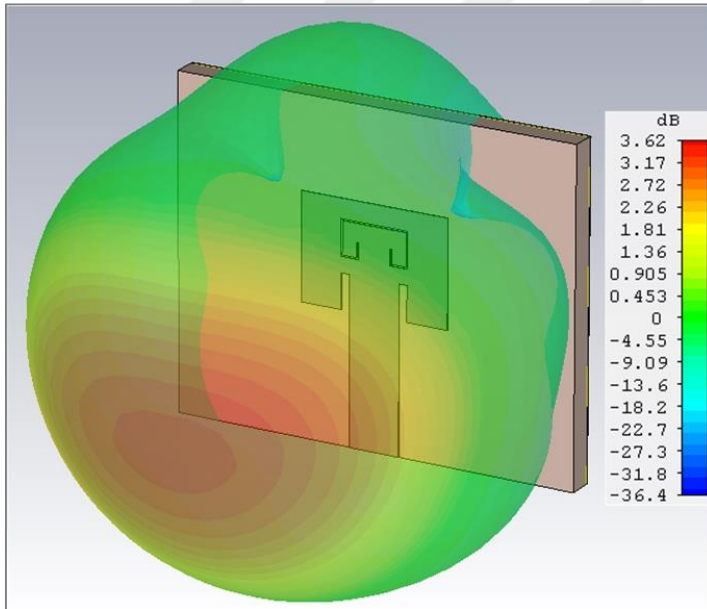
İkinci anten CST programında modellenmiş ve 9-12 GHz, 20-26 GHz, 75-81 GHz frekans bantlarında simülasyonlar yapılmıştır.

Şekil 5.16'da içerisine küçük yama anten eklenen yama antenin (birinci anten) S_{11} parametresinin ilk frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresinin 9-12 GHz aralığında 9,95-10,52 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 573 MHz'dir. 10,2 GHz de antenin S_{11} değeri -19,08 dB'dir.

Optimize edilen boyutlara göre tasarlanan antenin 3D ışıma görüntüsü Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Antenin kazancı 3,62 dB ve yönlülüğü 6,65 dBi’dir.



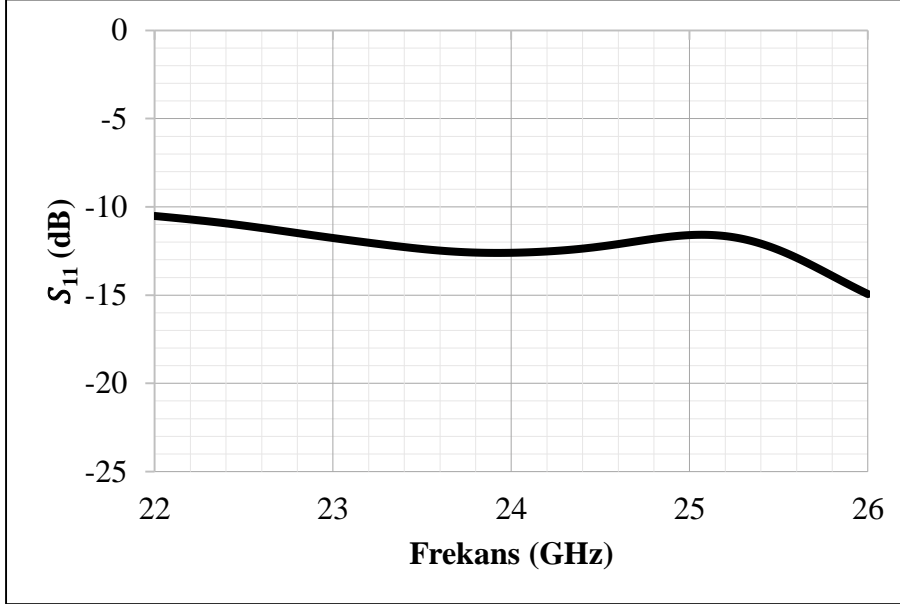
Şekil 5.16. İkinci antenin S₁₁ parametresi 9-12 GHz bandı simülasyon sonucu



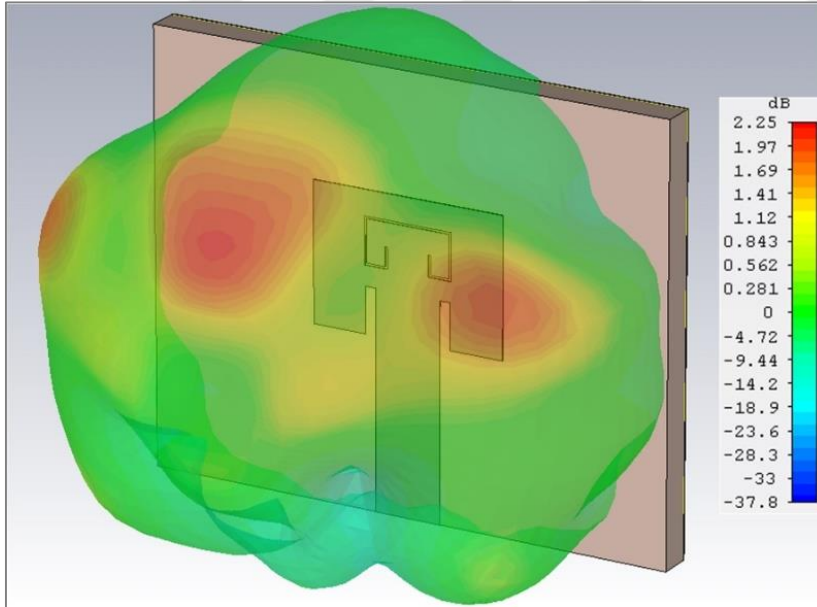
Şekil 5.17. İkinci antenin 10,2 GHz’deki 3D ışıma görüntüsü

Şekil 5.18’de içerisine küçük yama anten eklenen yama antenin (birinci anten) S₁₁ parametresinin ikinci frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S₁₁ parametresi 22-24 GHz aralığının tamamında -10 dB’den daha iyidir. Antenin bant genişliği 4000 MHz’dir. 24 GHz de antenin S₁₁ değeri -12,60 dB’dir. Optimize edilen boyutlara göre

tasarlanan antenin 3D ışıma görüntüsü Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Antenin kazancı 2,25 dB ve yönlülüğü 4,84 dBi’dir.



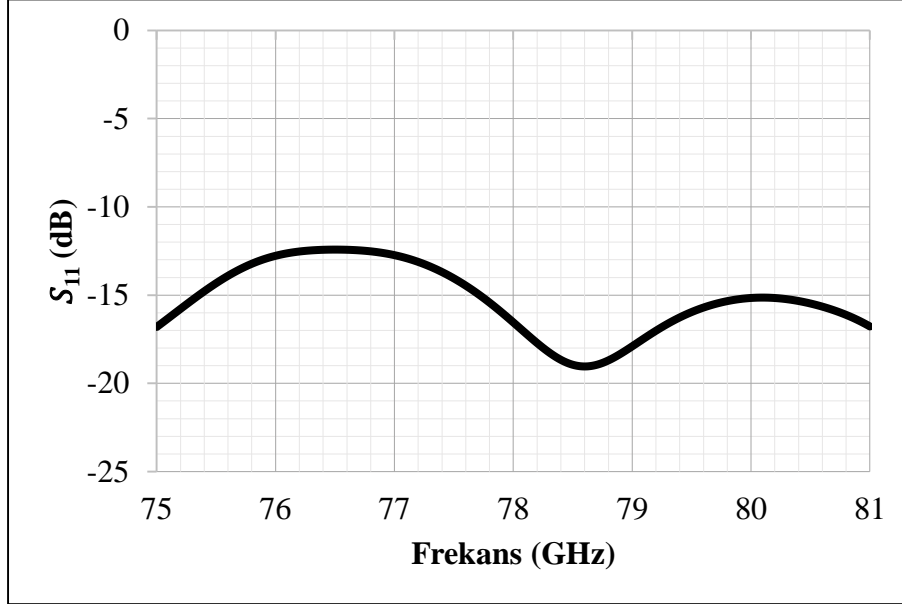
Şekil 5.18. İkinci antenin S₁₁ parametresi 22-26 GHz bandı simülasyon sonucu



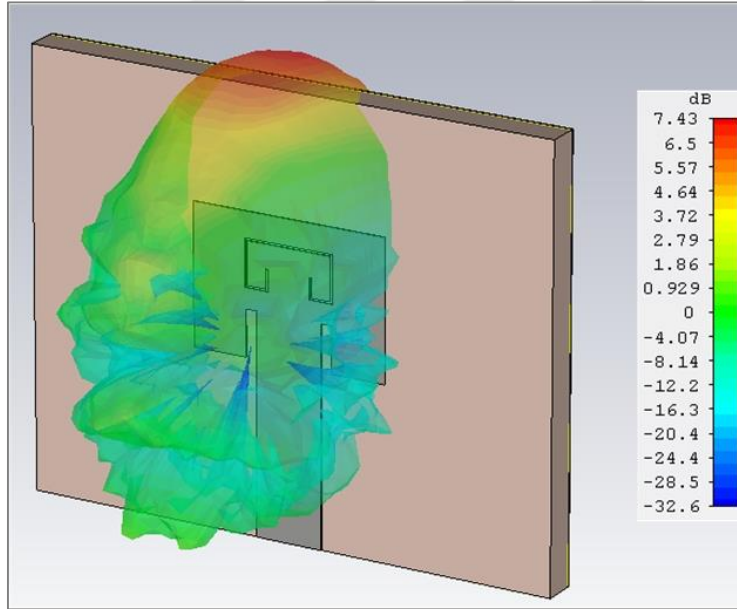
Şekil 5.19. İkinci antenin 24 GHz’deki 3D ışıma görüntüsü

Şekil 5.20’de içerisine küçük yama anten eklenen yama antenin (birinci anten) S₁₁ parametresinin üçüncü frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S₁₁ parametresi 75-81 GHz aralığının tamamında -10 dB’den daha iyidir. Antenin bant genişliği 6000 MHz’dir. 79 GHz de antenin S₁₁ değeri -17,89 dB’dir. Optimize edilen boyutlara göre

tasarlanan antenin 3D ışına görüntüsü Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Antenin kazancı 7,43 dB ve yönlülüğü 10,04 dBi’dir.



Şekil 5.20. İkinci antenin S₁₁ parametresi 75-81 GHz bandı simülasyon sonucu

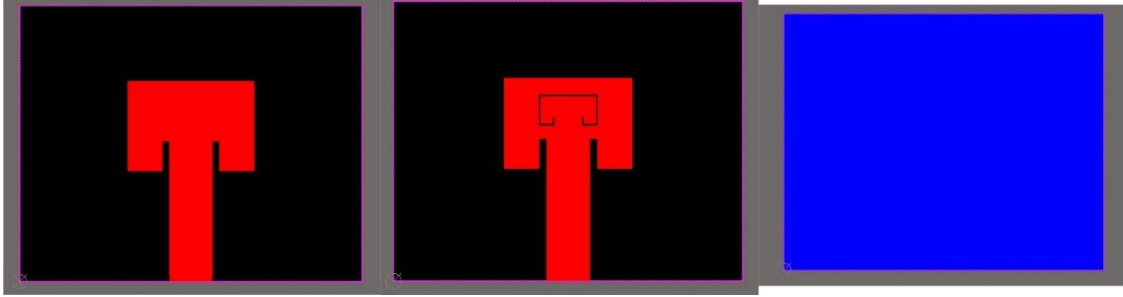


Şekil 5.21. İkinci antenin 79 GHz’deki 3D ışına görüntüsü

5.2. Tek Anten Ölçüm Sonuçları

Tasarımları ve simülasyonlar tamamlanan her iki anten de üretilmiştir. Antenin üretim dosyaları Altium Designer (15.0) programında hazırlanmıştır. Antenlerin birim fiyatı

\$1,9'dır. Antenlerin üretim dosyaları Şekil 5.22'de görülmektedir. Üretilen antenler Şekil 5.53'te gösterilmiştir.

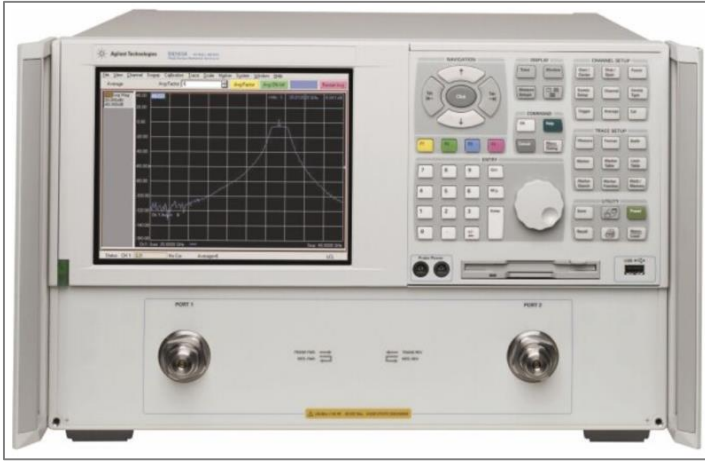


Şekil 5.22. Antenlerin üretim dosyaları



Şekil 5.23. Üretilen antenler

Bu çalışmadaki antenlerin S_{11} parametresi ölçümleri Atılım Üniversitesi RF ve anten laboratuvarında yapılmıştır. Ölçümlerde Agilent Technologies marka E8363A PNA Series Network Analyzer kullanılmıştır. Network analizörün frekans ölçüm aralığı 45 MHz - 40 GHz olduğu için sadece 9-12 GHz ve 22-26 GHz frekans bantlarında ölçüm yapılmıştır. Network analizör ve test düzeneği sırasıyla Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 görülmektedir.

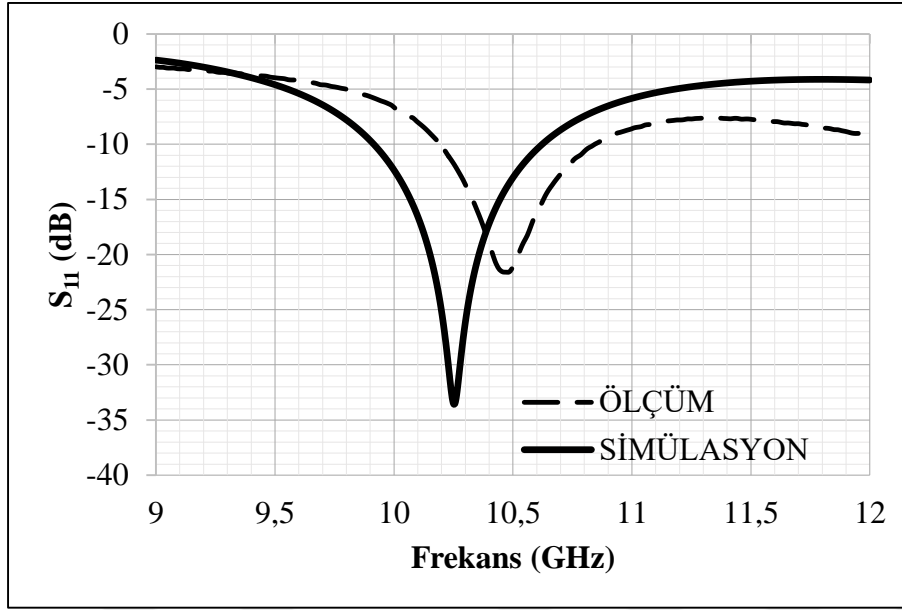


Şekil 5.24. E8363A network analizör [41]



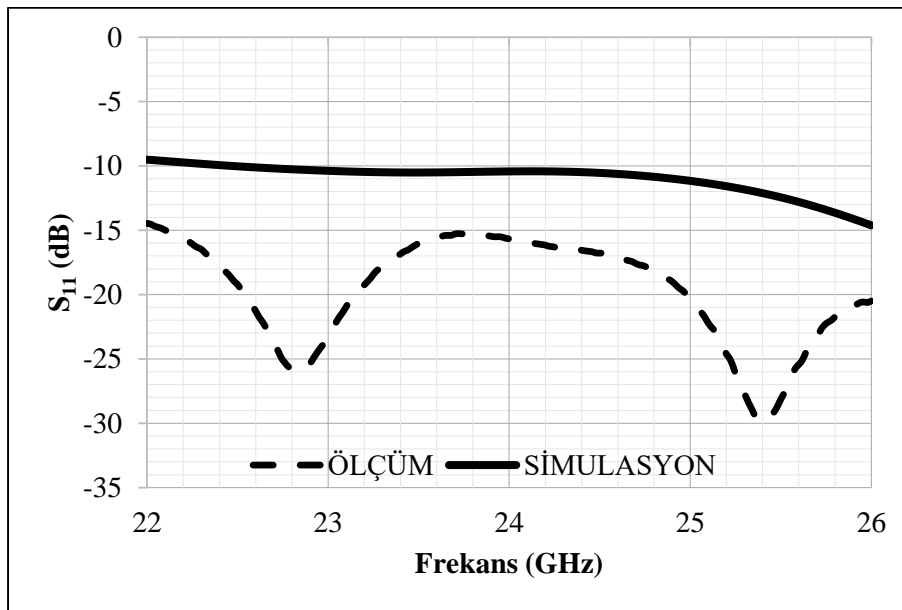
Şekil 5.25. Test düzeneği

Birinci antenin 9-12 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 10,5 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -21,11 dB'dir. Antenin bant genişliği 630 MHz'dir. Birinci antenin 9-12 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.26'da görülmektedir.



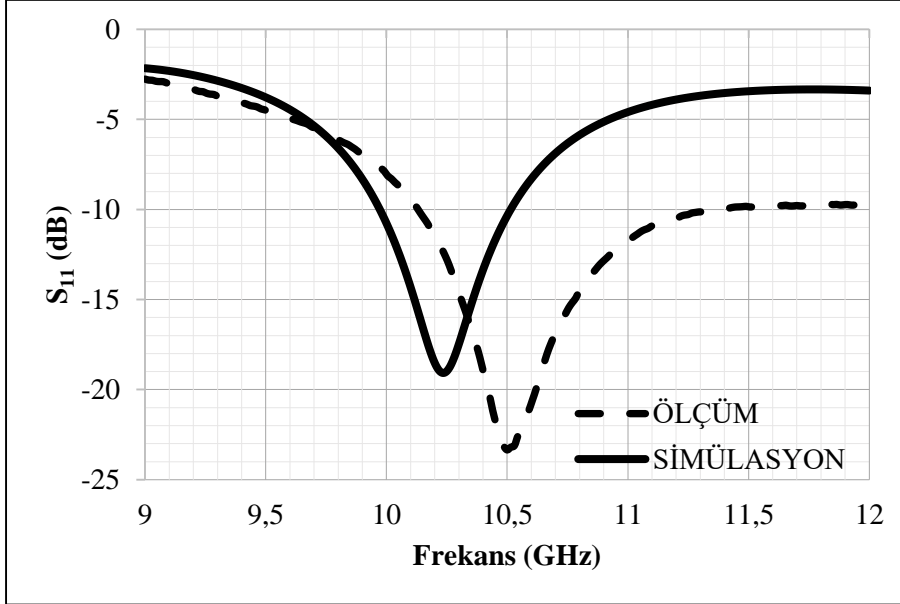
Şekil 5.26. Birinci anten 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Birinci antenin 22-24 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 24 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -15,66 dB'dir. Antenin bant genişliği 4000 MHz'dir. Birinci antenin 22-26 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.27'de görülmektedir.



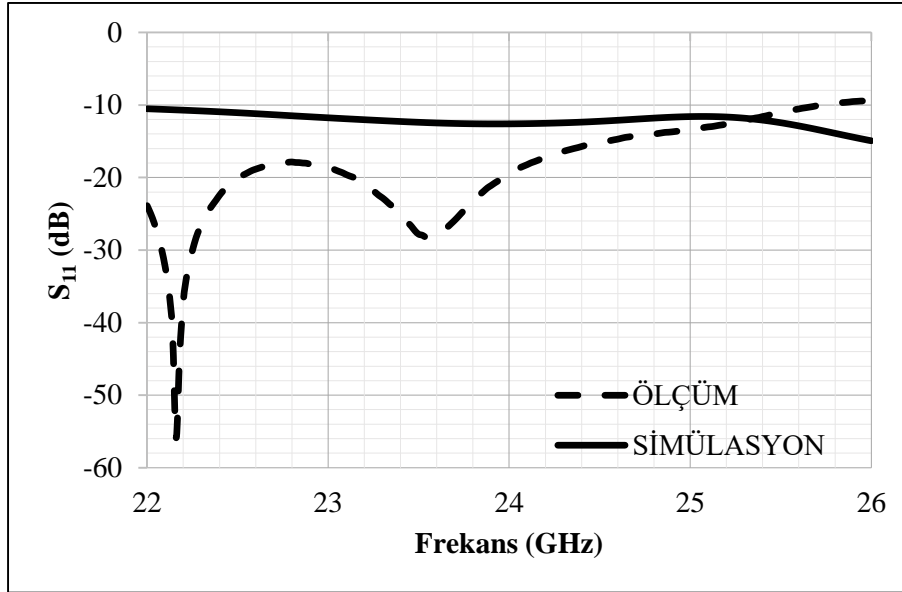
Şekil 5.27. Birinci anten 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

İkinci antenin 9-12 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 10,5 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -23,34 dB'dir. Antenin bant genişliği 1245 MHz'dir. İkinci antenin 9-12 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.28'de görülmektedir.



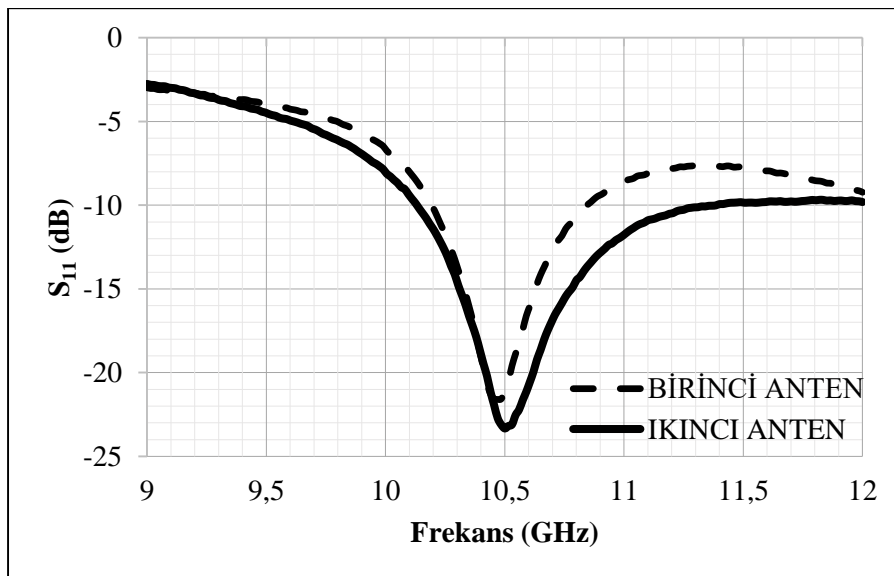
Şekil 5.28. İkinci anten 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

İkinci antenin 22-24 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 24 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -19,46 dB'dir. Antenin bant genişliği 4000 MHz'dir. Birinci antenin 22-26 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.29'da görülmektedir.

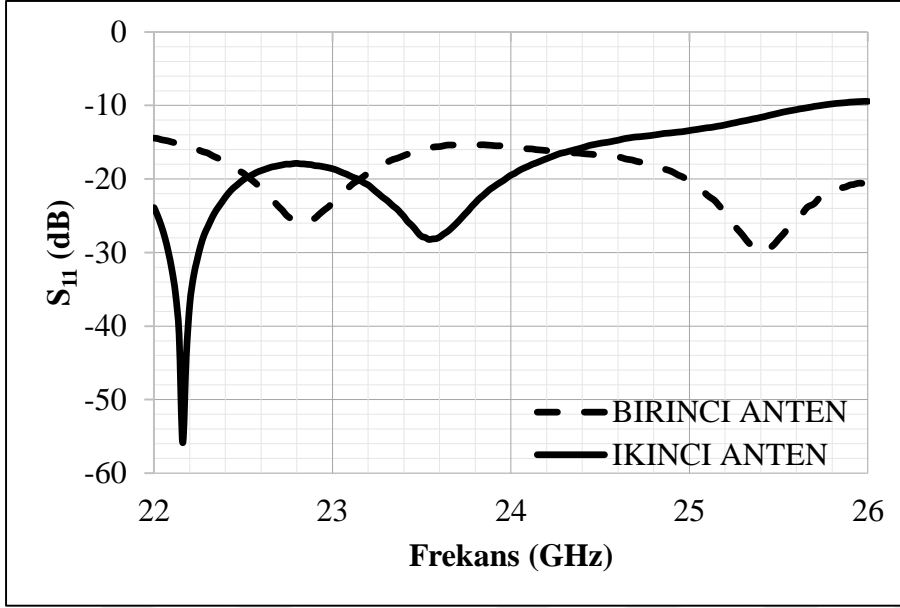


Şekil 5.29. İkinci anten 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Birinci ve ikinci antenin S_{11} parametresi ölçüm sonuçları 9-12 GHz ve 22-26 GHz bantlarında karşılaştırılmıştır ve ikinci antenin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 9-12 GHz bandında 10,5 GHz de birinci anten S_{11} değeri -21,11 dB, ikinci anten S_{11} değeri -23,34 dB'dir. Karşılaştırma Şekil 5.30'a gösterilmiştir. 22-26 GHz bandında 24 GHz de birinci anten S_{11} değeri -15,66 dB, ikinci anten S_{11} değeri -19,46 dB'dir. Karşılaştırma Şekil 5.31'de gösterilmiştir.



Şekil 5.30. Birinci ve ikinci anten 9-12 GHz karşılaştırması



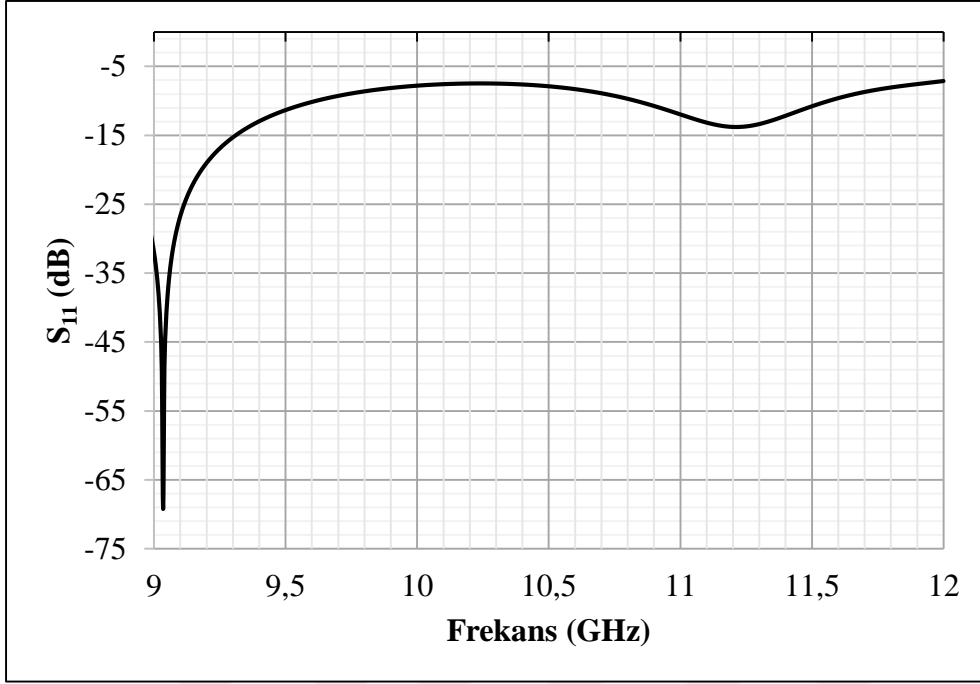
Şekil 5.31. Birinci ve ikinci anten 22-24 GHz karşılaştırması

5.3. Dizi Yama Anten Tasarımı ve Simülasyonu

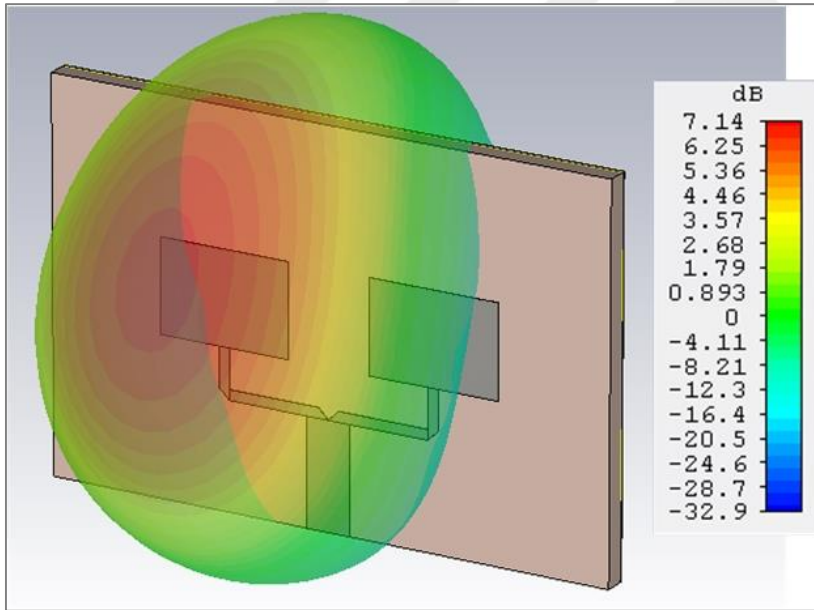
Bu bölümde birinci ve ikinci yama antenler ile iki farklı konfigürasyonda tasarlanan dizi antenlerin simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. Öncelikle 1x2 konfigürasyonunda birinci anten ile tasarlanan “Dizi 1” isimli ve ikinci anten ile tasarlanan “Dizi 2” isimli anten dizilerinin simülasyon sonuçları verilmiş ve her iki sonuç birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sonrasında 2x2 konfigürasyonunda birinci anten ile tasarlanan “Dizi 3” isimli ve ikinci anten ile tasarlanan “Dizi 4” isimli anten dizilerinin simülasyon sonuçları paylaşılmış ve her iki sonuç birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bölümün sonunda her iki tip konfigürasyondaki dizi anten simülasyon sonuçları eleman tiplerine göre karşılaştırılmıştır.

5.3.1. Birinci konfigürasyon (1x2) dizi anten simülasyon sonuçları

Şekil 5.32’de dizi 1 anteni S_{11} parametresinin 7-12 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 9,00-9,61 GHz frekansları aralığında -10 dB’den daha iyidir. Antenin bant genişliği 995 MHz’dir. 10,2 GHz de antenin S_{11} değeri -7,48 dB’dir ve ek olarak 9,03 GHz -69,21 dB’dir. Antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.33’de gösterilmiştir. Antenin kazancı 7,14 dB ve yönlülüğü 9,26 dBi’dir.

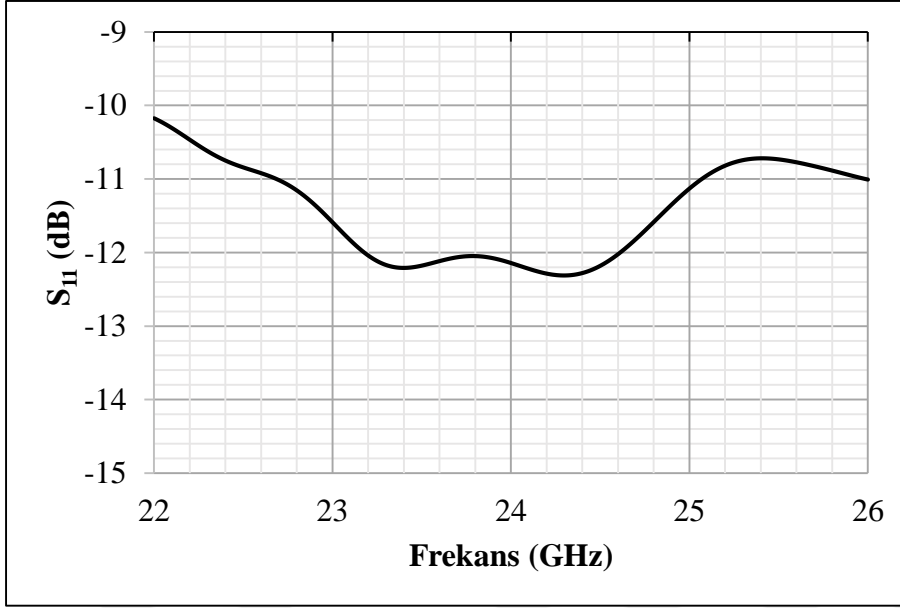


Şekil 5.32. Dizi 1 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu

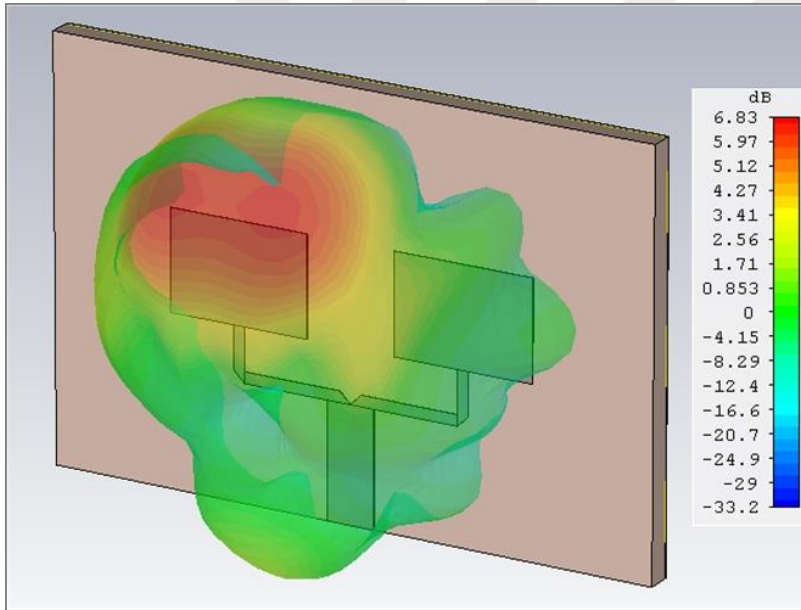


Şekil 5.33. Dizi 1 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

Şekil 5.34'de dizi 1 anteni S_{11} parametresinin 22-26 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 22-26 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 4000 MHz'dir. 24 GHz de antenin S_{11} değeri -12,14 dB'dir. Antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.35'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 6,83 dB ve yönlülüğü 9,97 dBi'dir.

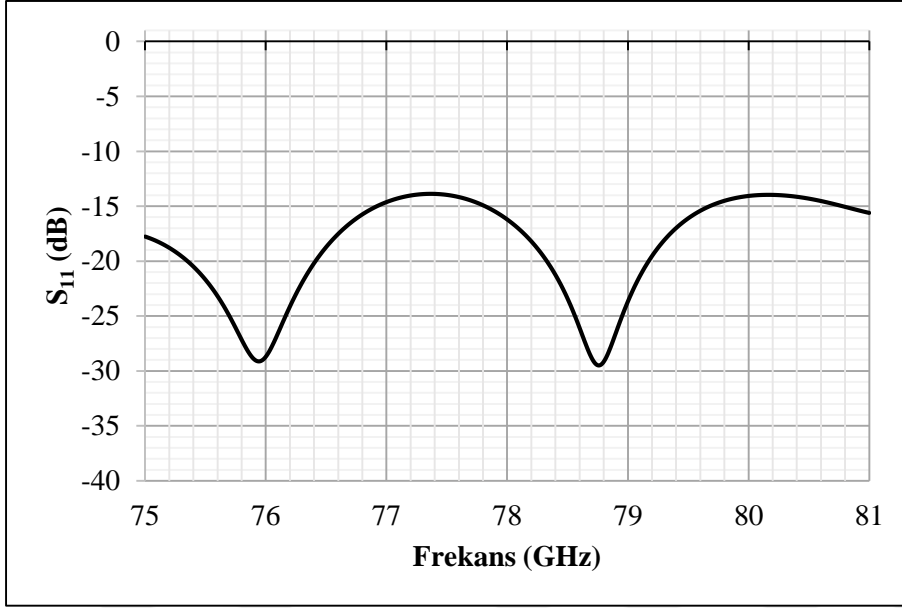


Şekil 5.34. Dizi 1 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu

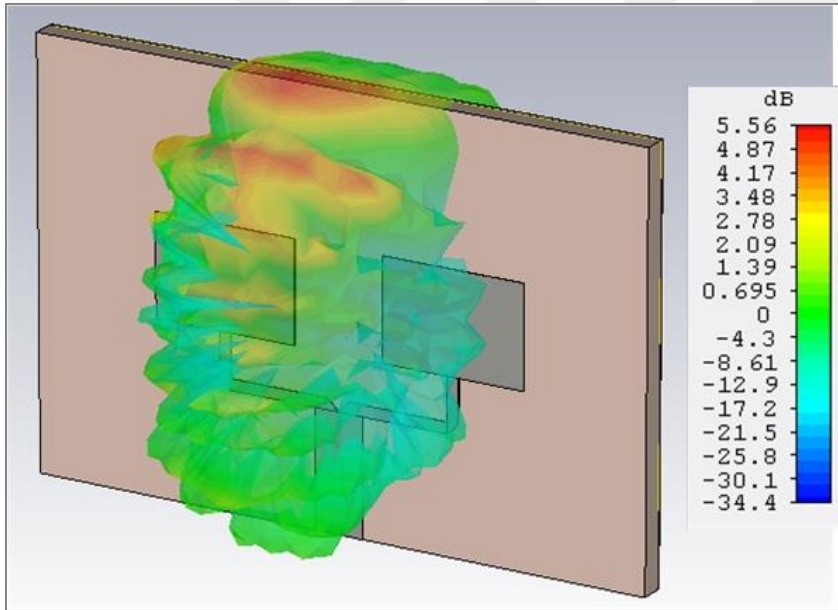


Şekil 5.35. Dizi 1 antenin 24 GHz'deki 3D ışıma görüntüsü

Şekil 5.36'da dizi 1 anteni S_{11} parametresinin 75-81 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 6000 MHz'dir. 79 GHz de antenin S_{11} değeri -23,63 dB'dir. Antenin 3D ışıma görüntüsü Şekil 5.35'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 5,56 dB ve yönlülüğü 9,62 dBi'dir.

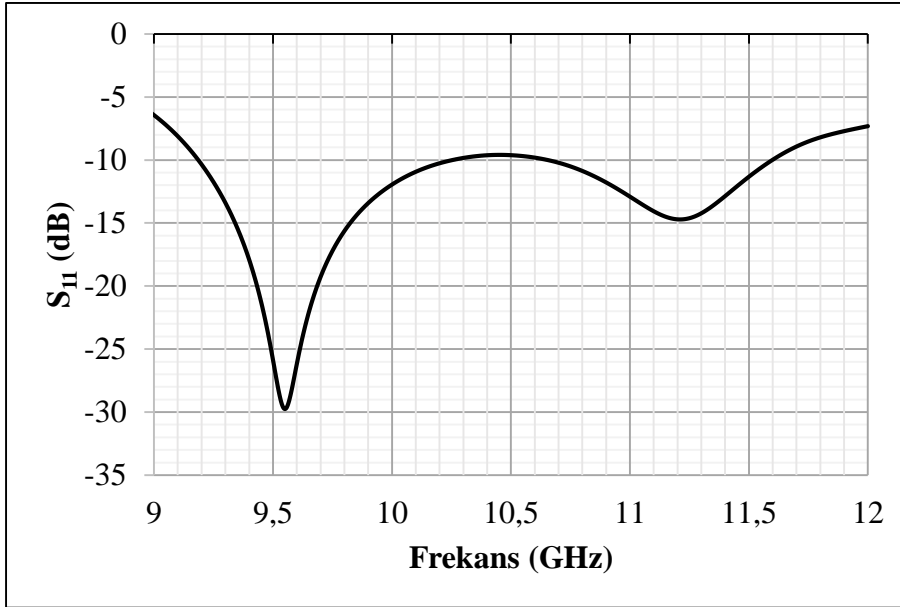


Şekil 5.36. Dizi 1 anteni 75-81 GHz bandı S₁₁ parametresi simülasyon sonucu

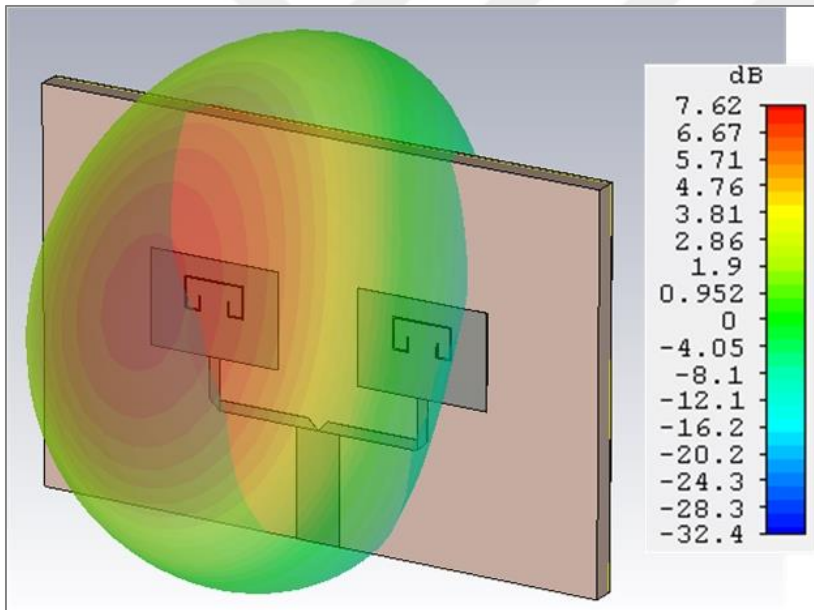


Şekil 5.37. Dizi 1 antenin 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

Tek yama anten tasarımında 22-26 GHz ve 75-81 GHz frekans bantlarında iyileştirme yapmak amacıyla tasarlanan ikinci tip anten ile oluşturulan dizi 2 antenin S₁₁ parametresinin 9-12 GHz frekans bandındaki grafiği Şekil 5.38'de gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S₁₁ parametresi 9,19- 10,25GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 1064 MHz'dir. 10,2 GHz de antenin S₁₁ değeri -10,26 dB'dir ve ek olarak 9,5 GHz de antenin S₁₁ değeri -29,74dB'dir. Antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.39'da gösterilmiştir. Antenin kazancı 7,62 dB ve yönlülüğü 9,53 dBi'dir.

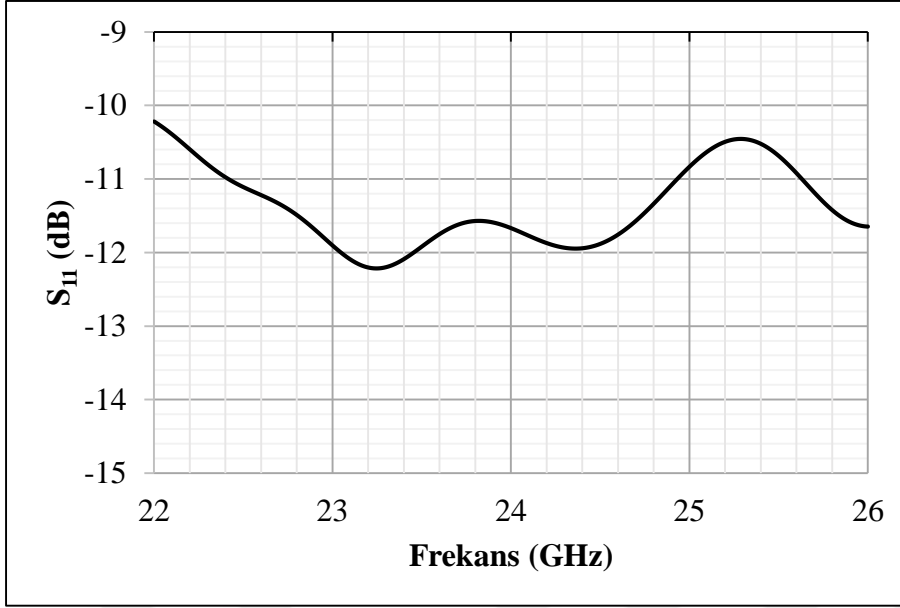


Şekil 5.38. Dizi 2 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyonu sonucu

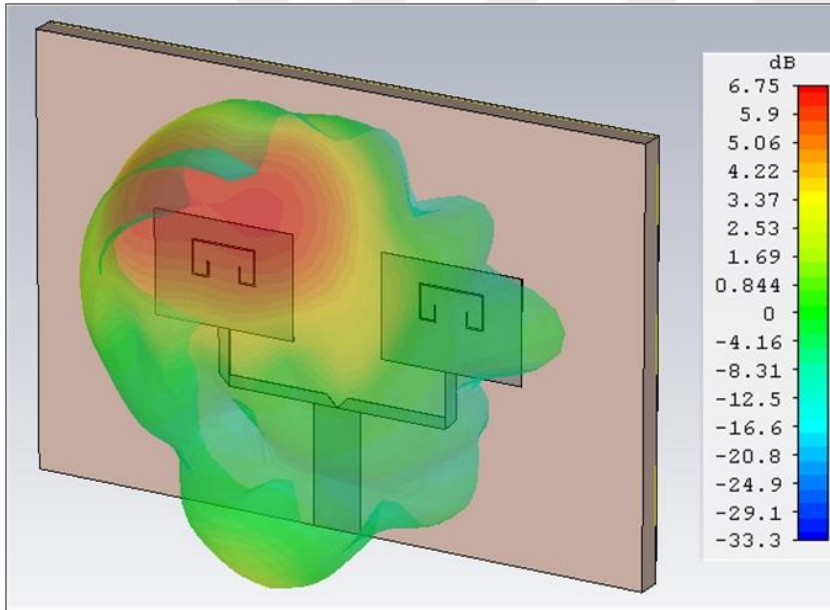


Şekil 5.39. Dizi 2 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

Şekil 5.40'da dizi 2 anteni S_{11} parametresinin 22-26 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 22-26 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 4000 MHz'dir. 24 GHz de antenin S_{11} değeri -11,66 dB'dir. Antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.41'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 6,75 dB ve yönlülüğü 10,01 dBi'dir.

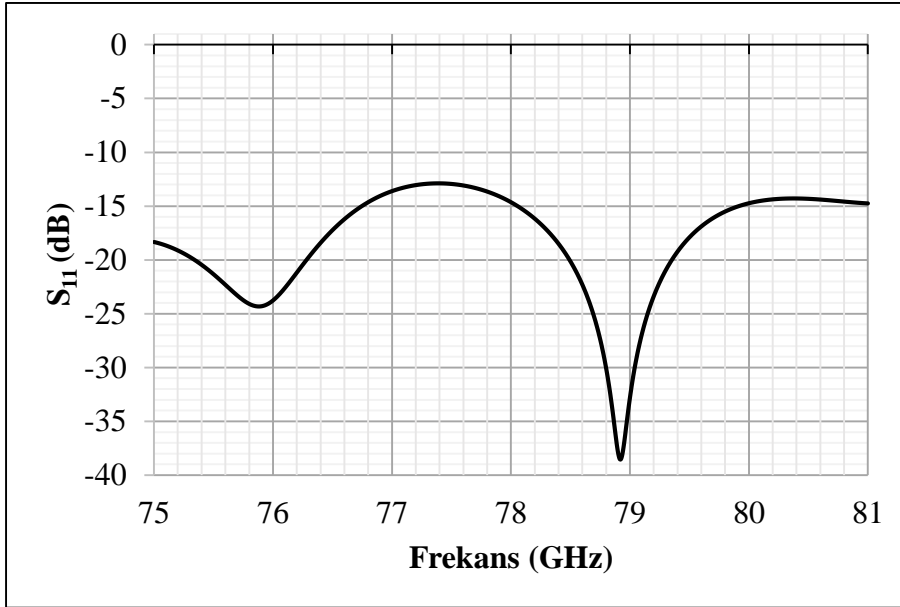


Şekil 5.40. Dizi 2 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyon sonucu

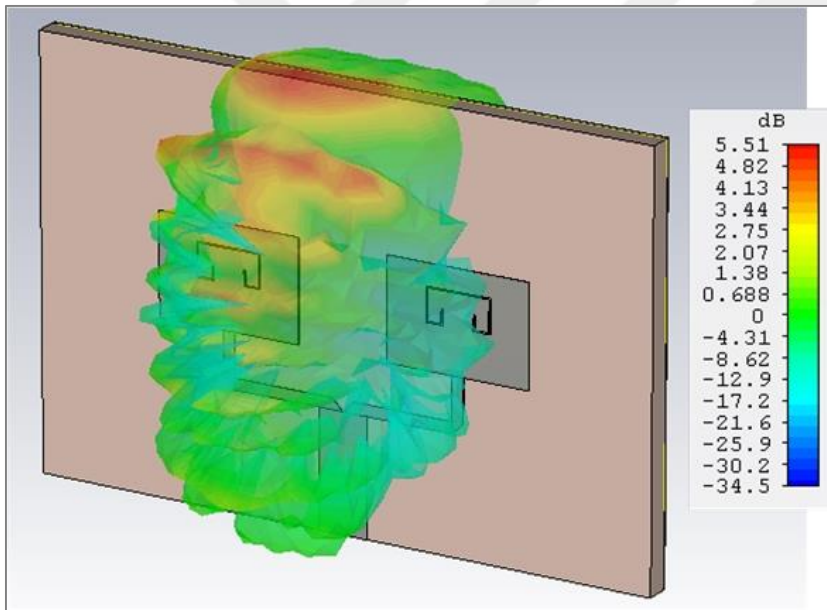


Şekil 5.41. Dizi 2 antenini 24 GHz'deki 3D ışıma görüntüsü

Şekil 5.42'de dizi 2 anteni S_{11} parametresinin 75-81 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 6000 MHz'dir. 79 GHz de antenin S_{11} değeri -32,62 dB'dir. Antenin 3D ışıma görüntüsü Şekil 5.43'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 5,51 dB ve yönlülüğü 9,51 dBi'dir.



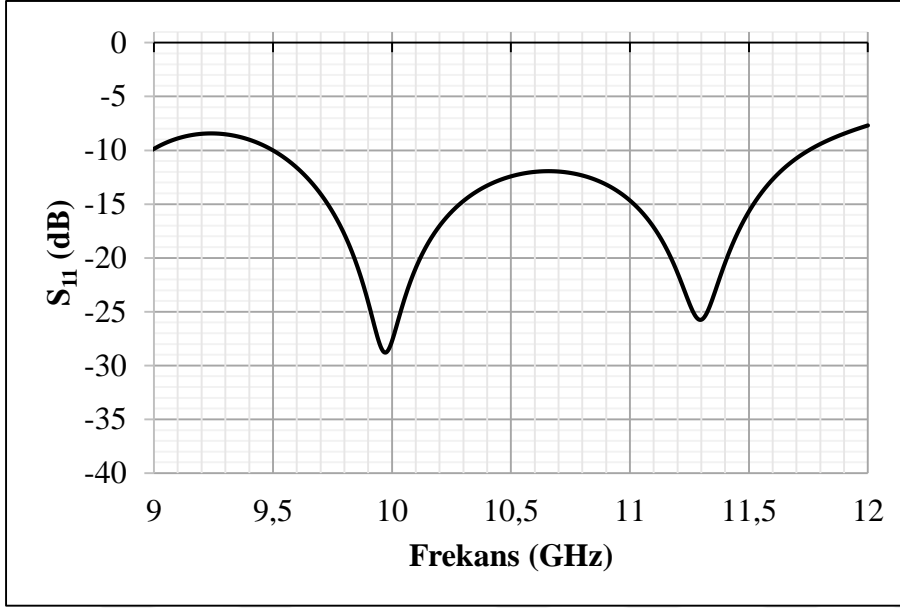
Şekil 5.42. Dizi 2 anteni 75-81 GHz bandı S₁₁ parametresi simülasyon sonucu



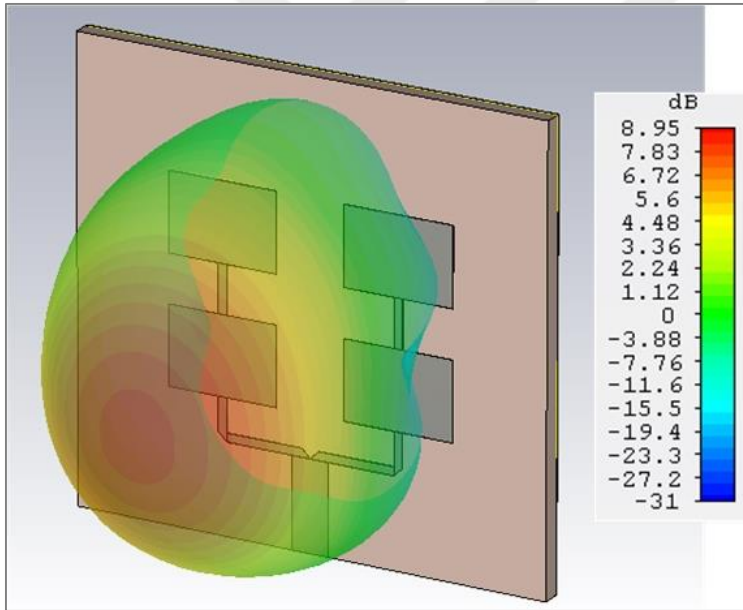
Şekil 5.43. Dizi 2 antenini 79 GHz'deki 3D ışıma görüntüsü

5.3.2. İkinci konfigürasyon (2x2) dizi anten simülasyon sonuçları

Şekil 5.44'de dizi 3 anteni S₁₁ parametresinin 9-12 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S₁₁ parametresi 9,50-11,75 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 2250 MHz'dir. 10,2 GHz de antenin S₁₁ değeri -17,02 dB'dir. Antenin 3D ışıma görüntüsü Şekil 5.45'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 8,95 dB ve yönlülüğü 10,90 dBi'dir.

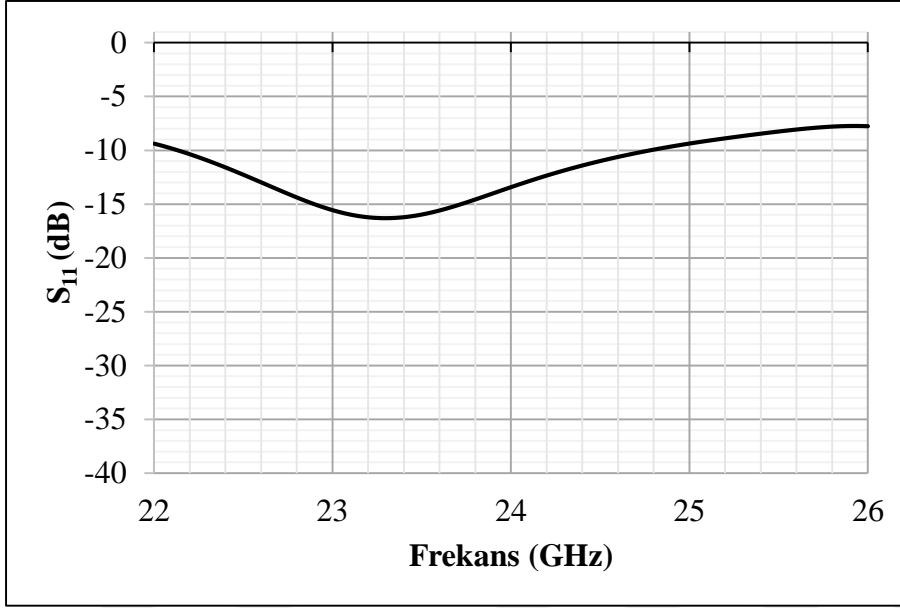


Şekil 5.44. Dizi 3 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyonu sonucu

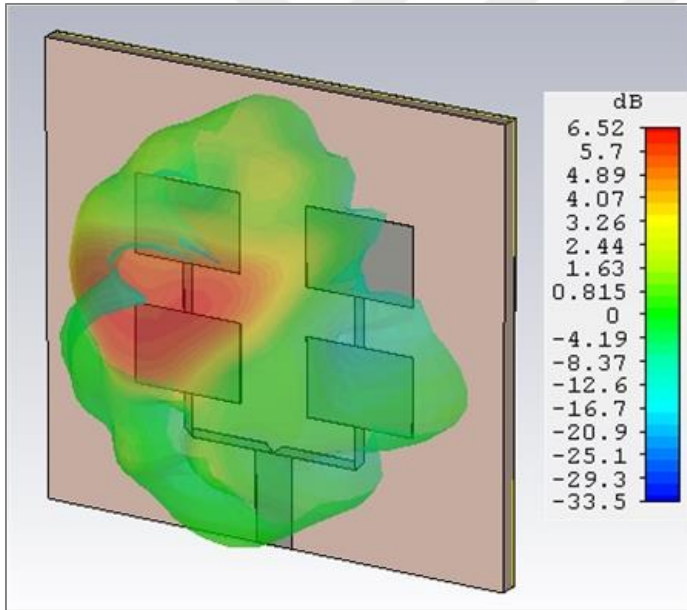


Şekil 5.45. Dizi 3 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

Dizi 3 anteni S_{11} parametresinin 22-26 GHz frekans bandındaki grafiği Şekil 5.46'da gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 22,13-24,78 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 2648 MHz'dir. 24 GHz de antenin S_{11} değeri -13,42 dB'dir. Antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.47'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 6,52 dB ve yönlülüğü 9,77 dBi'dir.

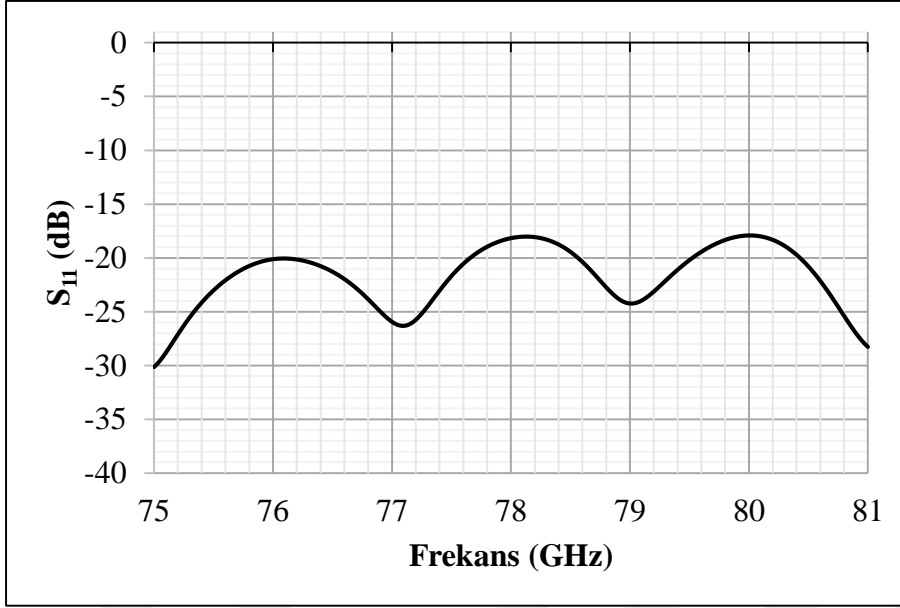


Şekil 5.46. Dizi 3 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyonu sonucu

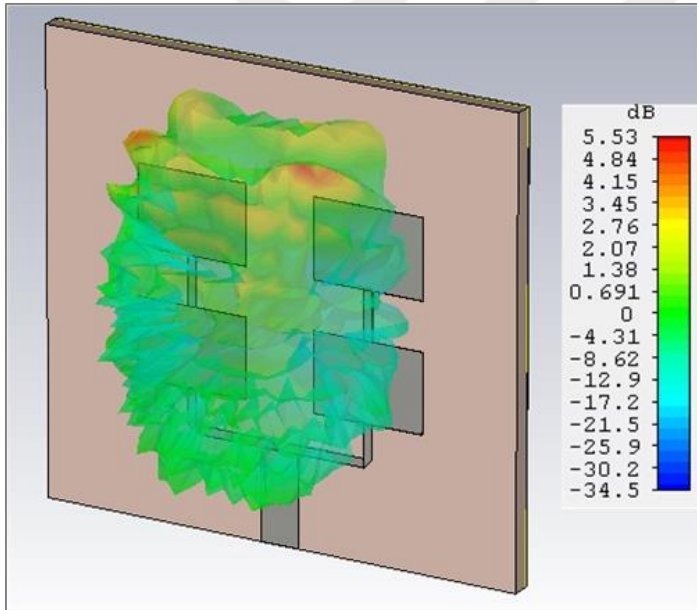


Şekil 5.47. Dizi 3 antenin 24 GHz'deki 3D ışınım görüntüsü

Şekil 5.48'de dizi 3 anteni S_{11} parametresinin 75-81 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 6000 MHz'dir. 79 GHz de antenin S_{11} değeri -24,23 dB'dir. Antenin 3D ışınım görüntüsü Şekil 5.49'da gösterilmiştir. Antenin kazancı 5,53 dB ve yönlülüğü 10,5 dBi'dir.

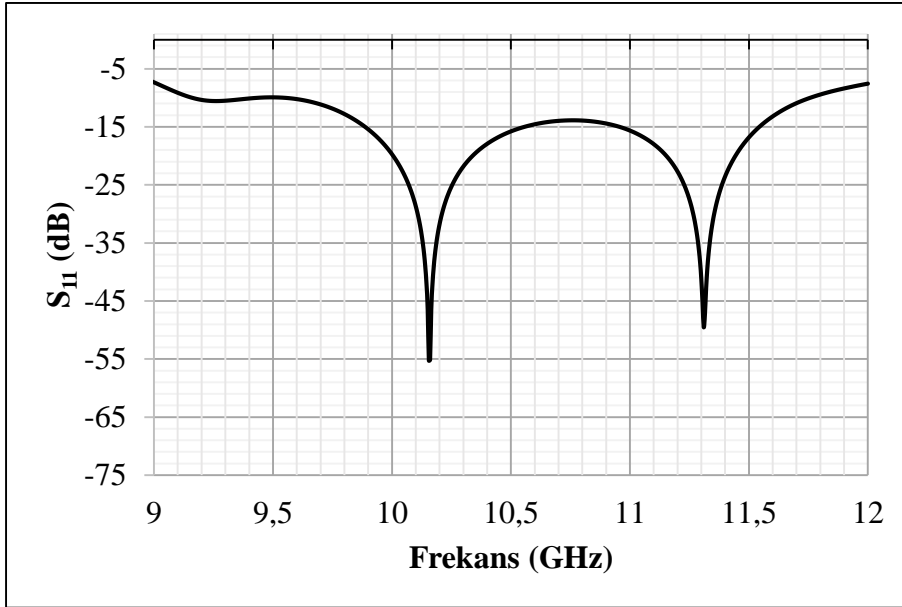


Şekil 5.48. Dizi 3 anteni 75-81 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyonu sonucu

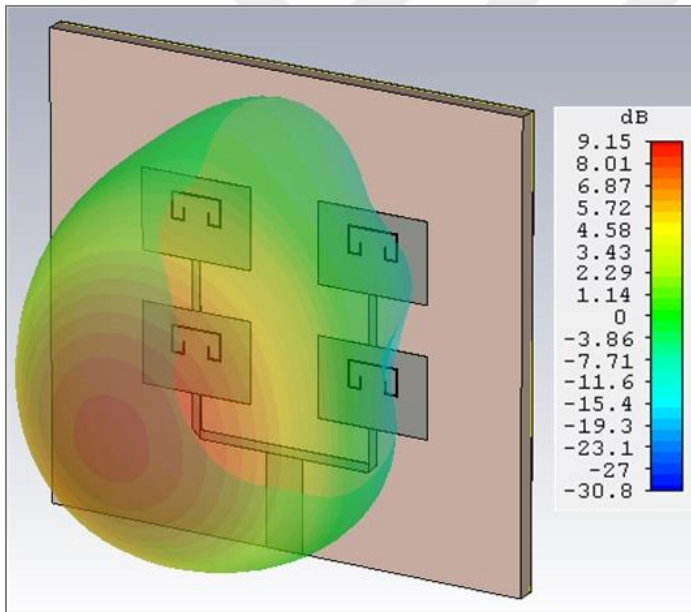


Şekil 5.49. Dizi 3 antenin 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

İkinci tip tek anten ile oluşturulan dizi 4 antenin S_{11} parametresinin 9-12 GHz frekans bandındaki grafiği Şekil 5.50'de gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 9,55-11,75 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 2200 MHz'dir. 10,2 GHz de antenin S_{11} değeri -31,73 dB'dir. Antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.51'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 9,15 dB ve yönlülüğü 11,10 dBi'dir.

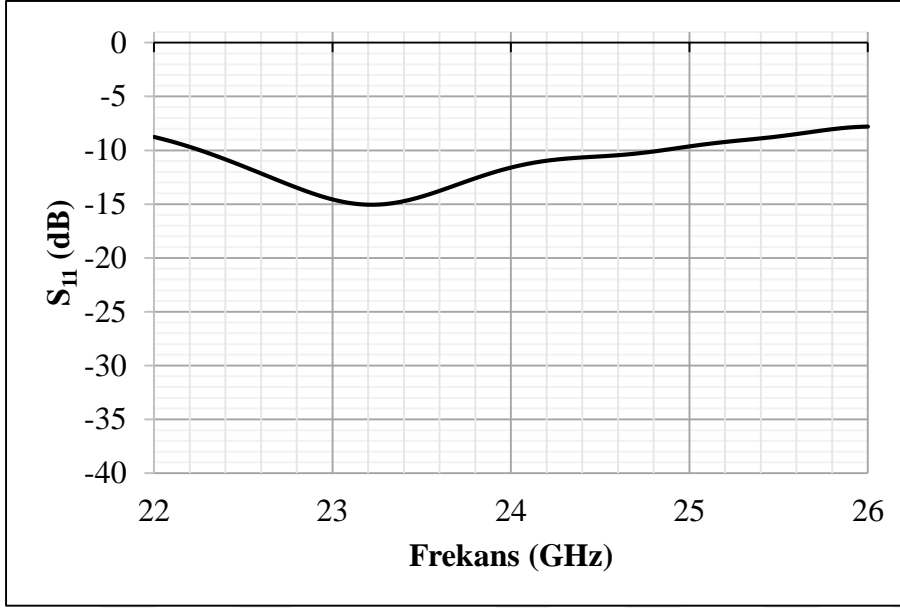


Şekil 5.50. Dizi 4 anteni 9-12 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyonu sonucu

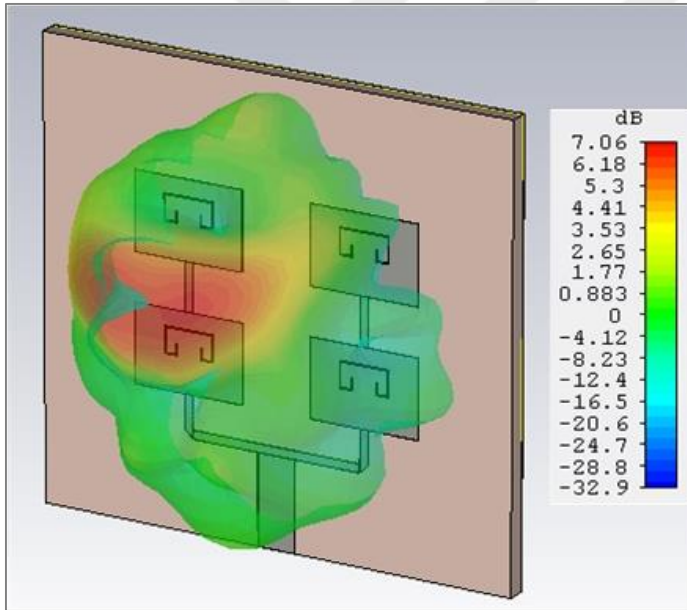


Şekil 5.51. Dizi 4 antenin 10,2 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

Şekil 5.52'de dizi 4 anteni S_{11} parametresinin 22-26 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 22,26-24,84 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 2584 MHz'dir. 24 GHz de antenin S_{11} değeri -11,60dB'dir. Antenin 3D ışınma görüntüsü Şekil 5.53'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 7,06 dB ve yönlülüğü 10,60 dBi'dir.

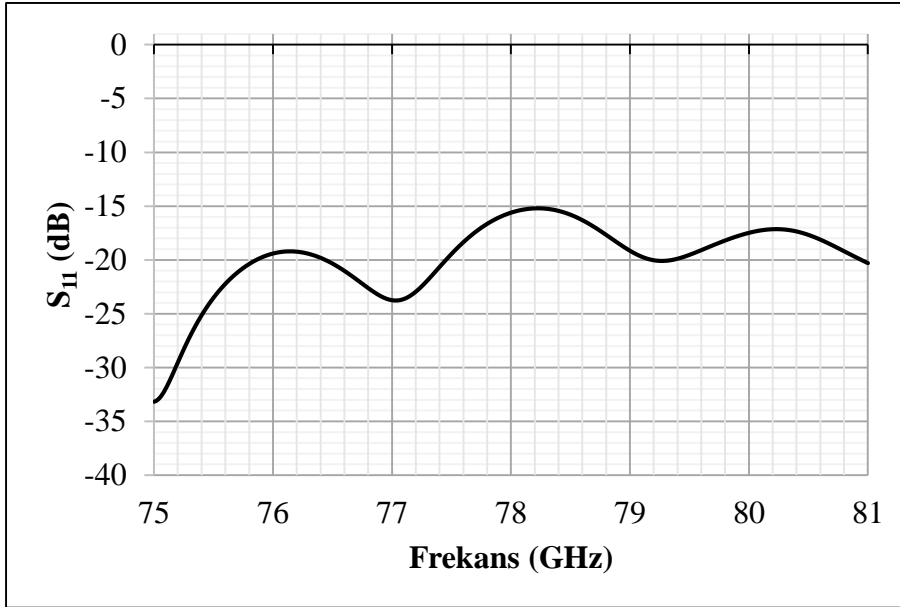


Şekil 5.52. Dizi 4 anteni 22-26 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyonu sonucu

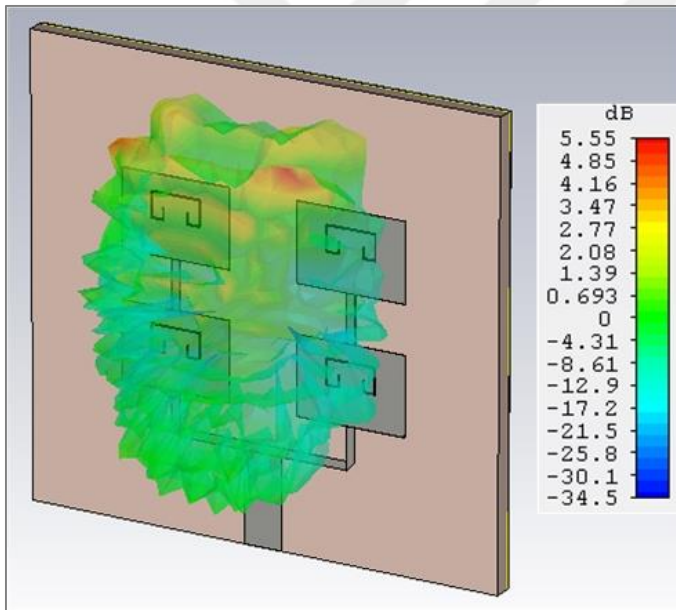


Şekil 5.53. Dizi 4 antenin 24 GHz'deki 3D ışıma görüntüsü

Şekil 5.54'de dizi 4 anteni S_{11} parametresinin 75-81 GHz frekans bandındaki grafiği gösterilmiştir. Grafiğe göre antenin S_{11} parametresi 75-81 GHz frekansları aralığında -10 dB'den daha iyidir. Antenin bant genişliği 6000 MHz'dir. 79 GHz de antenin S_{11} değeri -19,16 dB'dir. Antenin 3D ışıma görüntüsü Şekil 5.55'de gösterilmiştir. Antenin kazancı 5,55 dB ve yönlülüğü 10,5 dBi'dir.



Şekil 5.54. Dizi 4 anteni 75-81 GHz bandı S_{11} parametresi simülasyonu sonucu



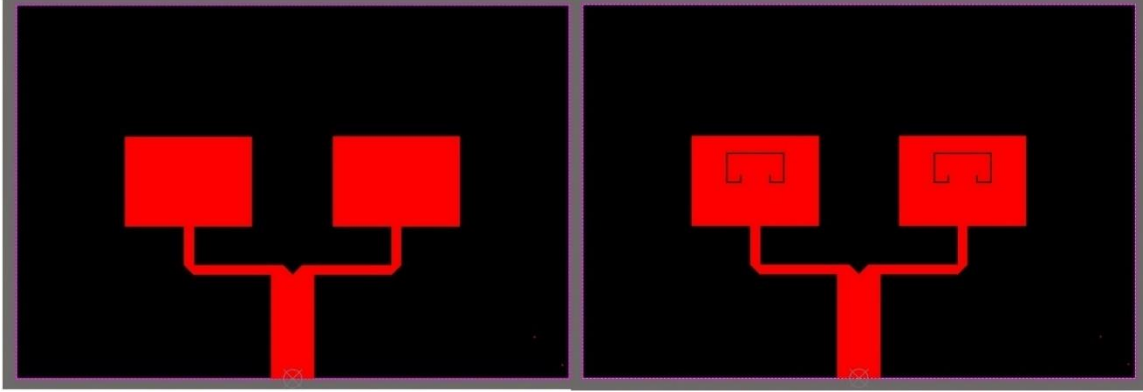
Şekil 5.55. Dizi 4 antenin 79 GHz'deki 3D ışınma görüntüsü

5.4. Dizi Yama Anten Ölçüm Sonuçları

5.4.1. Birinci konfigürasyon (1x2) dizi anten ölçüm sonuçları

Tasarımları ve simülasyonlar tamamlanan her iki 1x2 dizi anten de üretilmiştir. Antenlerin üretim dosyaları Altium Designer (15.0) programında hazırlanmıştır. Antenlerin birim fiyatı

\$2,65'dir. Antenlerin üretim dosyaları Şekil 5.56'da görülmektedir. Üretilen 1x2 dizi antenler ise Şekil 5.57'de verilmektedir.

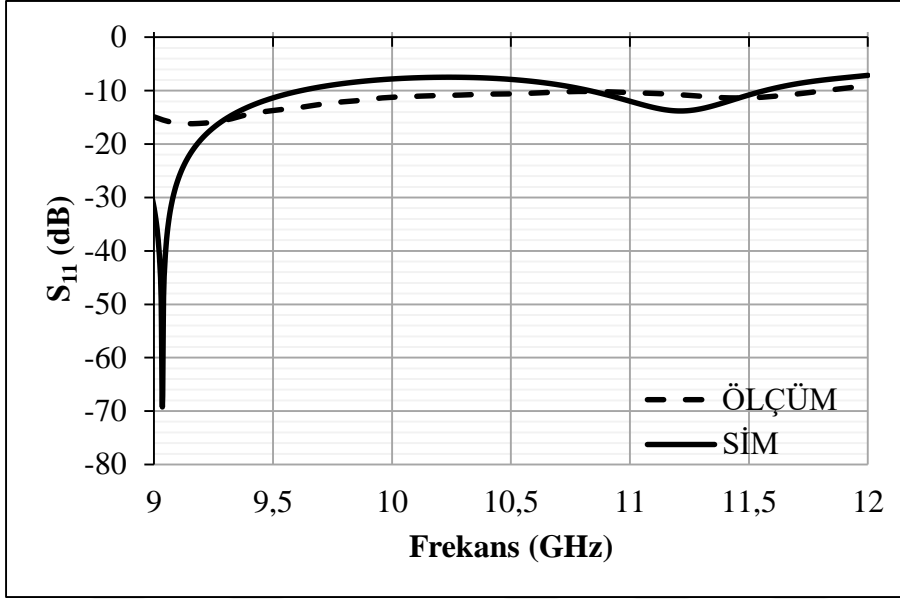


Şekil 5.56. 1x2 Dizi antenlerin üretim dosyaları



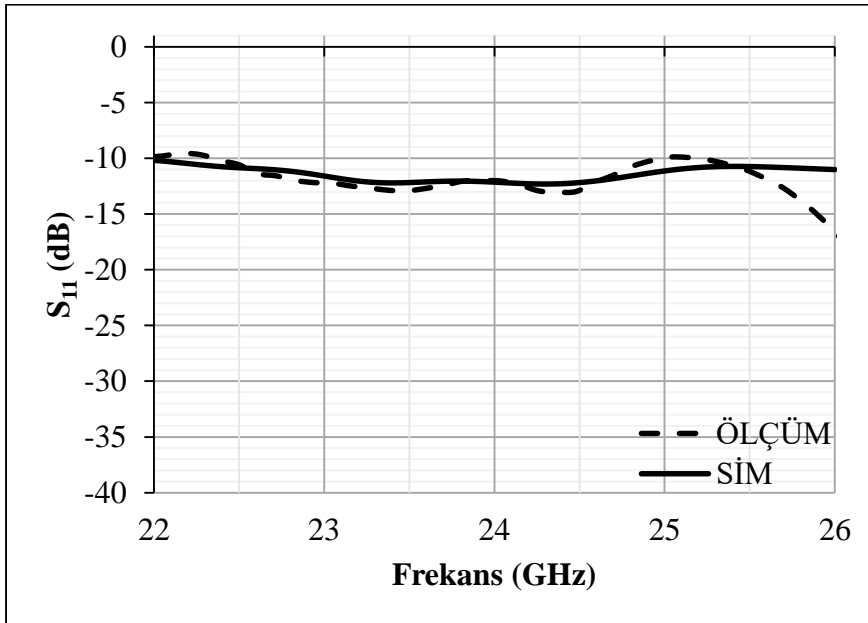
Şekil 5.57. Üretilen 1x2 dizi antenler

Dizi 1 anteninin 9-12 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 10,2 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -10,70 dB'dir. Antenin bant genişliği 2640 MHz'dir. Antenin 9-12 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.58'de görülmektedir.



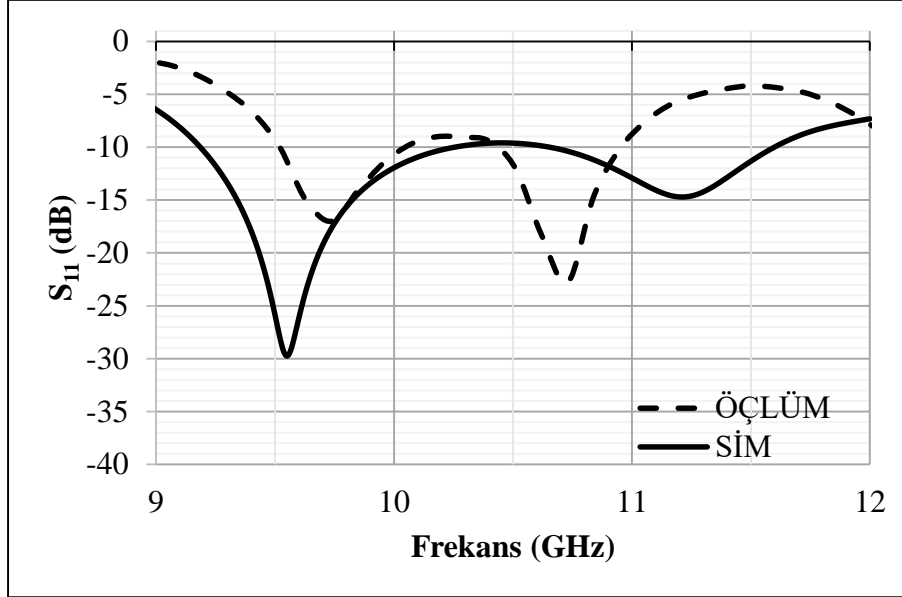
Şekil 5.58. Dizi 1 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 1 antenin 22-26 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 24 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -12,04 dB'dir. Antenin bant genişliği 3630 MHz'dir. Antenin 22-26 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.58'de görülmektedir.



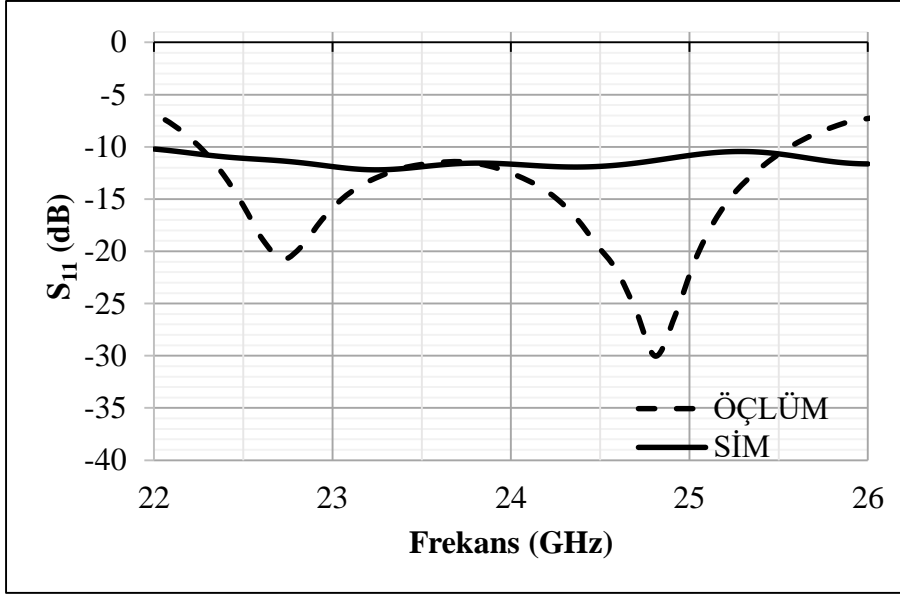
Şekil 5.59. Dizi 1 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 2 antenin 9-12 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 10,2 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -9 dB'dir. Antenin S_{11} değeri 9,63-9,96 GHz ve 10,51-10,95 GHz frekansları arasında -10 dB'den daha iyidir. Antenin 9-12 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.60'da görülmektedir.



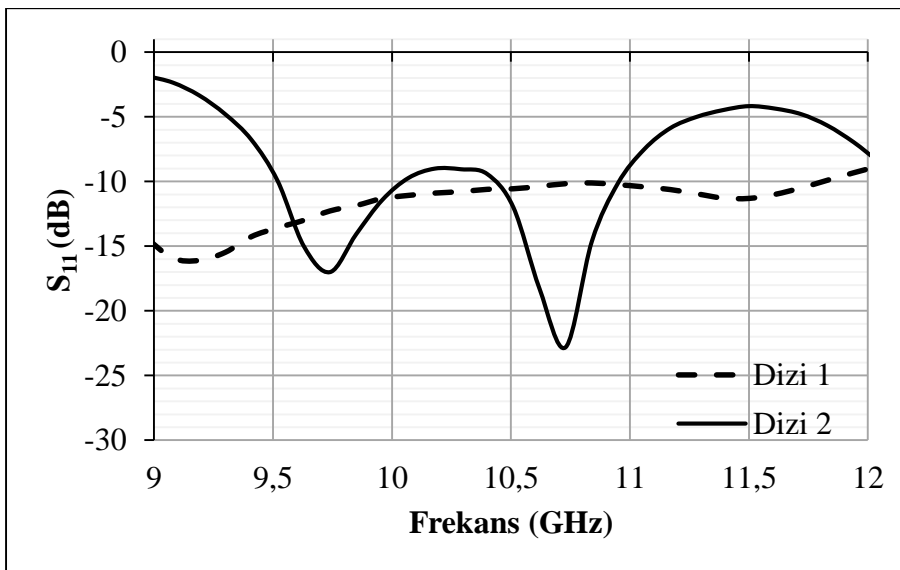
Şekil 5.60. Dizi 2 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 2 antenin 22-26 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 24 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -12,78 dB'dir. Antenin bant genişliği 3190 MHz'dir. Antenin 22-26 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.61'de görülmektedir.

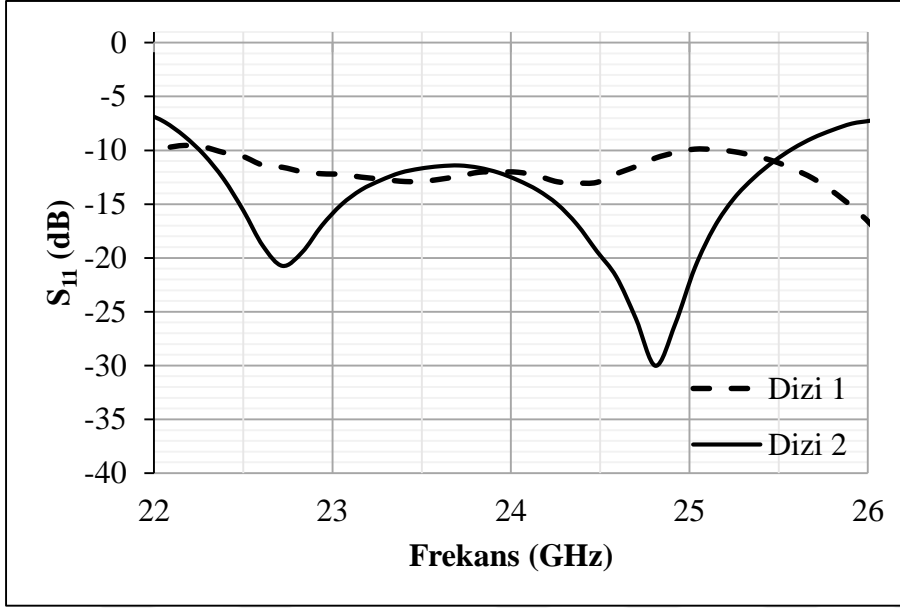


Şekil 5.61. Dizi 2 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 1 ve dizi 2 antenlerinin S_{11} parametresi ölçüm sonuçları 9-12 GHz ve 22-26 GHz bantlarında karşılaştırılmıştır. 9-12 GHz bandında dizi 1 anteni daha iyiyken 22-26 GHz bandında dizi 2 anteni daha iyidir. 9-12 GHz bandında 10,2 GHz de dizi 1 anteni S_{11} değeri -10,70 dB, ikinci anten S_{11} değeri -9,00 dB'dir. Karşılaştırma Şekil 5.62'de gösterilmiştir. 22-26 GHz bandında 24 GHz de dizi 1 anteni S_{11} değeri -12,04 dB, dizi 2 anteni S_{11} değeri -12,78 dB'dir. Karşılaştırma Şekil 5.63'de gösterilmiştir.



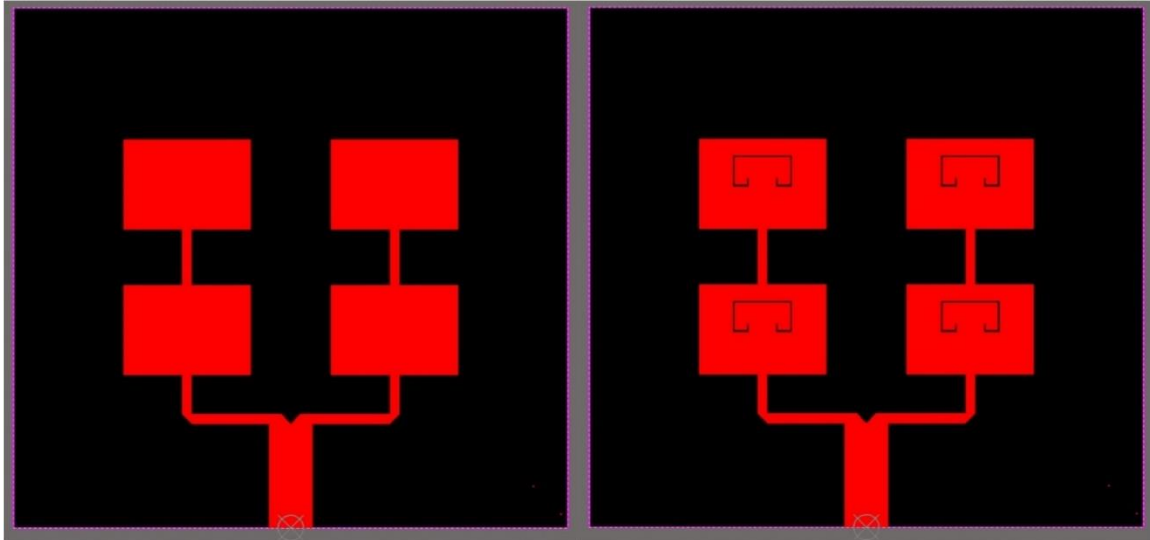
Şekil 5.62. Dizi 1 ve dizi 2 antenleri 9-12 GHz karşılaştırması



Şekil 5.63. Dizi 1 ve dizi 2 antenleri 22-24 GHz karşılaştırması

5.4.2. İkinci konfigürasyon (2x2) dizi anten ölçüm sonuçları

Tasarımları ve simülasyonlar tamamlanan her iki 2x2 dizi anten de üretilmiştir. Antenlerin üretim dosyaları Altium Designer (15.0) programında hazırlanmıştır. Antenlerin birim fiyatı \$2,65'dir. Antenlerin üretim dosyaları Şekil 5.64'de görülmektedir. Üretilen 2x2 dizi antenler ise Şekil 5.65'de görülmektedir.

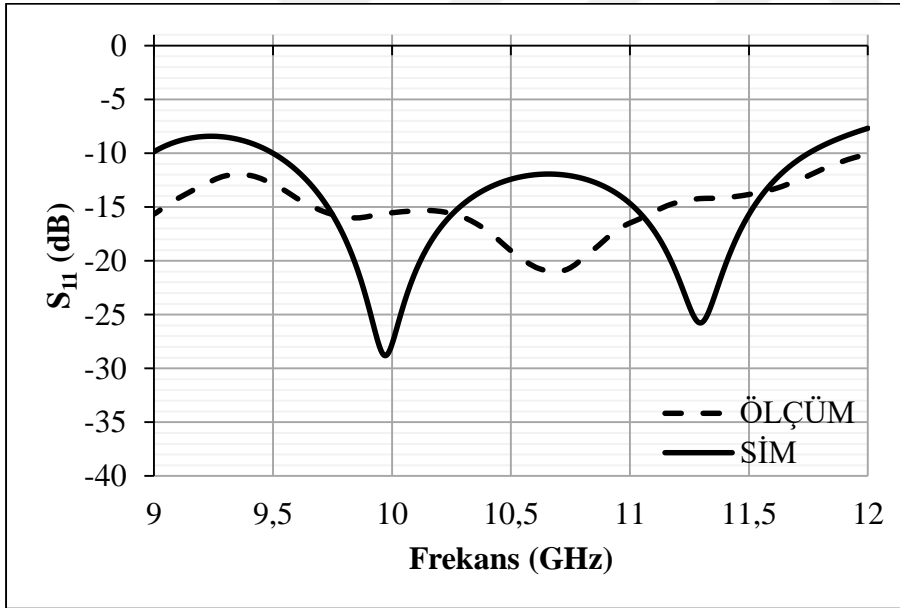


Şekil 5.64. 2x2 Dizi antenlerin üretim dosyaları



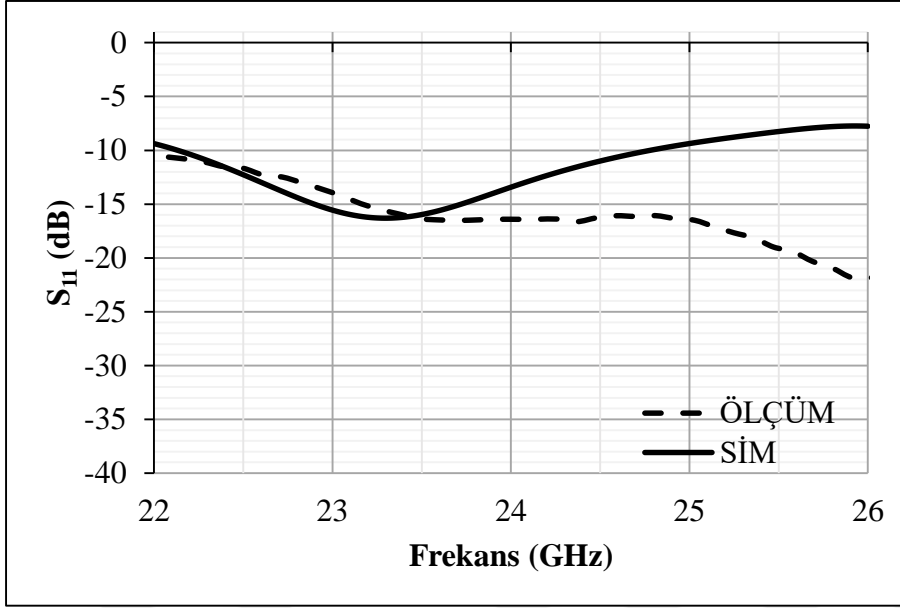
Şekil 5.65. Üretilen 2x2 dizi antenler

Dizi 3 antenin 9-12 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 10,2 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -15,35 dB'dir. Antenin bant genişliği 3190 MHz'dir. Antenin 9-12 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması Şekil 5.66'da gösterilmiştir.



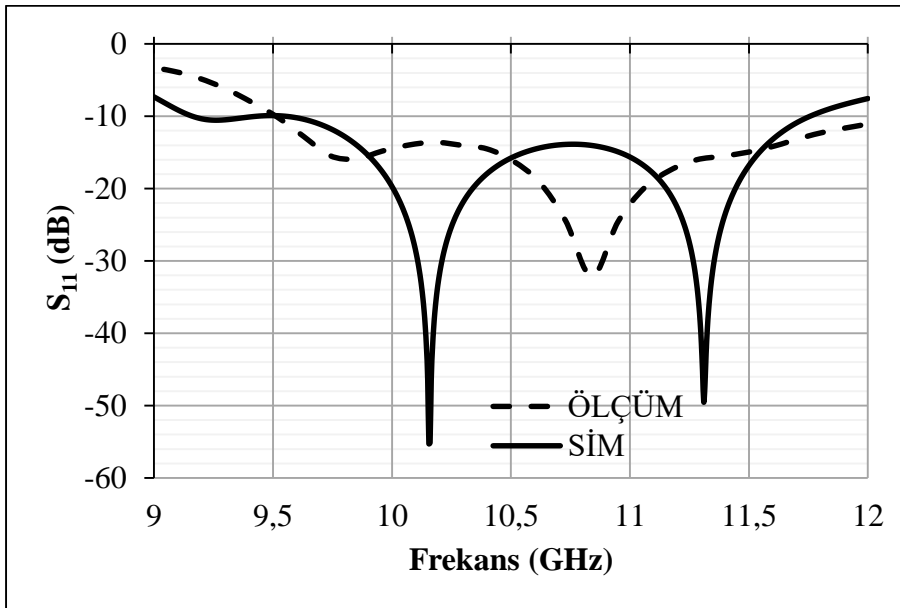
Şekil 5.66. Dizi 3 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 3 antenin 22-26 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 24 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -16,41 dB'dir. Antenin bant genişliği 4000 MHz'dir. Antenin 22-26 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.67'de görülmektedir.



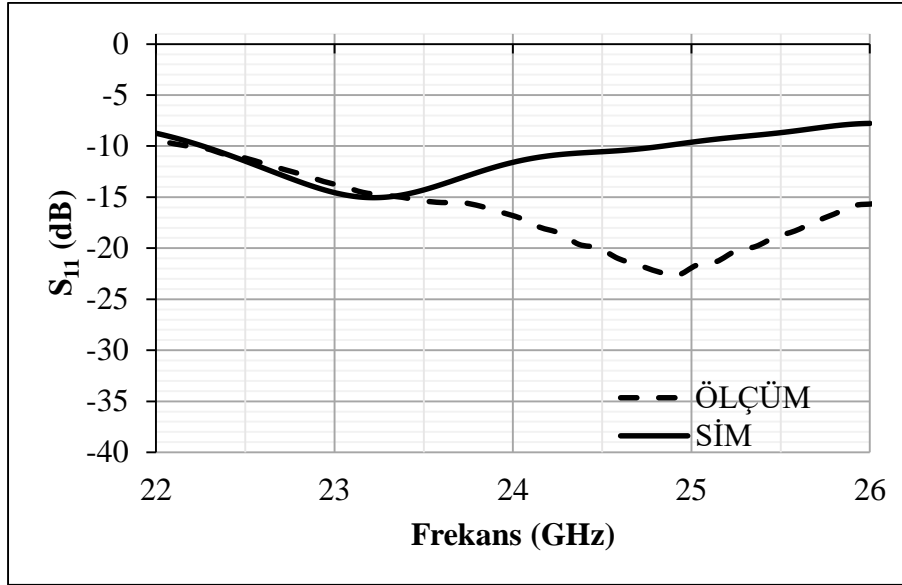
Şekil 5.67. Dizi 3 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 4 antenin 9-12 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 10,2 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -13,60 dB'dir. Antenin bant genişliği 2480 MHz'dir. Antenin 9-12 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.68'de görülmektedir.



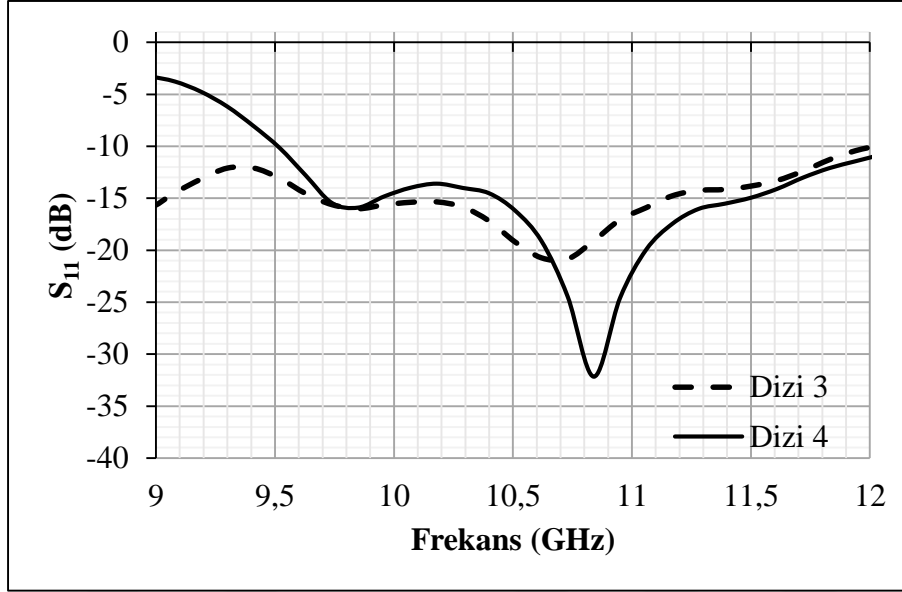
Şekil 5.68. Dizi 4 anteni 9-12 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 4 antenin 22-26 GHz bandında S_{11} parametresi ölçümü yapılmış ve ölçüm sonucuna göre 24 GHz'deki S_{11} parametresi değeri -17,04 dB'dir. Antenin bant genişliği 4000 MHz'dir. Antenin 22-26 GHz arası S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları Şekil 5.69'da görülmektedir.

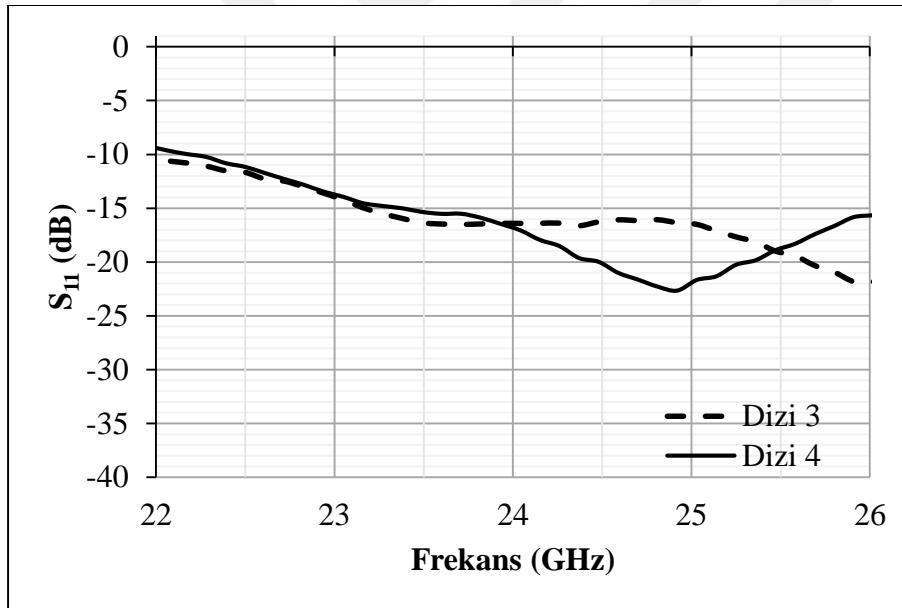


Şekil 5.69. Dizi 4 anteni 22-26 GHz frekans bandı S_{11} parametresi ölçüm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılması

Dizi 3 ve dizi 4 antenlerinin S_{11} parametresi ölçüm sonuçları 9-12 GHz ve 22-26 GHz bantlarında karşılaştırılmıştır. 9-12 GHz bandında dizi 3 anteni daha iyiyken 22-26 GHz bandında dizi 4 anteni daha iyidir. 9-12 GHz bandında 10,2 GHz de dizi 3 anteni S_{11} değeri -15,35 dB, dizi 4 anteni S_{11} değeri -13,60 dB'dir. Karşılaştırma Şekil 5.70'de gösterilmiştir. 22-26 GHz bandında 24 GHz de dizi 3 anteni S_{11} değeri -16,41 dB, dizi 4 anteni S_{11} değeri -17,04 dB'dir. Karşılaştırma Şekil 5.71'de gösterilmiştir.



Şekil 5.70. Dizi 3 ve dizi 4 antenleri 9-12 GHz karşılaştırması



Şekil 5.71. Dizi 3 ve dizi 4 antenleri 22-26 GHz karşılaştırması

5.5. Tasarlanan Antenlerin Sonuçlarının Karşılaştırması

Birinci ve ikinci antenin üç frekans bandında da simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda ikinci frekans (24 GHz) ve üçüncü frekans (79 GHz) bantlarında S_{11} parametresi iyileşmiştir. Birinci frekans bandında ise birinci antenin S_{11} parametresi değeri daha iyidir. İki antenin her üç frekans bandındaki S_{11} , kazanç ve bant genişliği değerleri Çizelge 5.3'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.3. Birinci ve ikinci anten simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Birinci Anten			İkinci Anten		
	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
Frekanslar	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
S_{11} (dB)	-33,58	-10,42	-16,48	-19,08	-12,6	-17,89
Kazanç (dB)	3,77	4,14	8,09	3,62	2,25	7,43
Bant Genişliği (MHz)	702	3527	6000	573	4000	6000

Birinci ve ikinci antenin 9-12 GHz ve 22-26 GHz bantlarında ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 5.4'de gösterilmiştir. Birinci antenin ilk frekans bandında S_{11} ve bant genişliği değerlerinde simülasyon sonuçlarına göre düşüş olmuştur. İkinci frekans bandı ölçüm sonuçlarında ise S_{11} ve bant genişliği değerlerinin her ikisi de simülasyon sonuçlarına göre daha iyi çıkmıştır. İkinci antenin birinci frekans bandı ölçüm sonuçları simülasyon sonuçlarına göre daha iyi çıkmıştır. İkinci frekans bandındaki ölçüm sonuçlarında S_{11} değeri ölçüm sonucu daha iyi iken bant genişliği değeri simülasyon ile aynı çıkmıştır.

Çizelge 5.4. Birinci ve ikinci anten ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Birinci Anten		İkinci Anten	
	10,5 GHz	24 GHz	10,5 GHz	24 GHz
Frekanslar	10,5 GHz	24 GHz	10,5 GHz	24 GHz
S_{11} (dB)	-21,11	-15,66	-23,34	-19,46
Bant Genişliği (MHz)	630	4000	1245	4000

Dizi 1 ve dizi 2 antenlerinin üç frekans bandında da simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda birinci frekans (10,2 GHz) ve üçüncü frekans (79 GHz) bantlarında S_{11} parametresi ve kazanç iyileşmiştir. İkinci frekans bandında ise dizi 1 anteninin S_{11} parametresi değeri daha iyidir. İki dizinin her üç frekans bandındaki S_{11} , kazanç ve bant genişliği değerleri Çizelge 5.5'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.5. Dizi 1 ve dizi 2 anten simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Dizi 1			Dizi 2		
	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
Frekans	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
S_{11} (dB)	-7,48	-12,14	-23,63	-10,26	-11,66	-32,62
Kazanç (dB)	7,14	6,83	5,56	7,62	6,75	5,51
Bant Genişliği (MHz)	995	4000	6000	1064	4000	6000

Birinci anten ile dizi 1 ve ikinci anten ile dizi 2'nin S_{11} , kazanç ve bant genişliği parametreleri sırasıyla Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de karşılaştırılmıştır. Birinci anten ve dizi 1 karşılaştırıldığında birinci frekans bandında S_{11} parametresi dizi 1'de oldukça düşmüştür, ancak kazanç ve bant genişliği önemli ölçüde artmıştır. İkinci frekans bandında her parametrede iyileşme olmuştur. Üçüncü frekans bandında S_{11} parametresi iyileşirken kazanç parametresinde düşüş olmuştur, ancak kullanım için uygundur.

Çizelge 5.6. Birinci anten ve dizi 1 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Birinci Anten			Dizi 1		
	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
S_{11} (dB)	-33,58	-10,42	-16,48	-7,48	-12,14	-23,63
Kazanç (dB)	3,77	4,14	8,09	7,14	6,83	5,56
Bant Genişliği (MHz)	702	3527	6000	995	4000	6000

İkinci anten ve dizi 2 karşılaştırıldığında birinci frekans bandında S_{11} parametresi dizi 1'de düşmüştür, ancak kazanç ve bant genişliği yaklaşık iki kat artmıştır. İkinci frekans bandında S_{11} parametresinde az bir düşüş olurken kazanç önemli ölçüde artmıştır. Üçüncü frekans bandında S_{11} parametresi oldukça iyileşmiştir ve kazanç parametresinde düşüş olmuştur, ancak değerler kullanım için uygundur.

Dizi 1 ve dizi 2 antenlerinin 9-12 GHz ve 22-26 GHz bantlarında ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 5.8'de gösterilmiştir. Dizi 1 anteninin ilk frekans bandında S_{11} ve bant genişliği değerleri simülasyon sonuçlarına göre oldukça iyi çıkmıştır. İkinci frekans bandı ölçüm sonuçlarında ise S_{11} değeri simülasyon ile aynı çıkmıştır, ancak bant genişliği değerlerinde düşüş olmuştur. Dizi 2 anteninin birinci frekans bandı ölçüm sonuçlarında S_{11} değeri sonucunda simülasyona göre düşüş yaşanmıştır. Bant genişliği ise simülasyona göre farklılık göstermiştir. Antenin S_{11} değeri sonucu, 9-12 GHz arasında iki farklı alt frekans bandında -10 dB'den daha iyi çıkmıştır. İkinci frekans bandındaki ölçüm sonuçlarında S_{11} değeri ölçüm sonucu daha iyi çıkarken bant genişliğinde düşüş olmuştur.

Çizelge 5.7. İkinci anten ve dizi 2 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	İkinci Anten			Dizi 2		
Frekanslar	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
S_{11} (dB)	-19,08	-12,6	-17,89	-10,26	-11,66	-32,62
Kazanç (dB)	3,62	2,25	7,43	7,62	6,75	5,51
Bant Genişliği (MHz)	573	4000	6000	1064	4000	6000

Çizelge 5.8. Dizi 1 ve dizi 2 ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Dizi 1		Dizi 2	
Frekanslar	10,2 GHz	24 GHz	10,2 GHz	24 GHz
S_{11} (dB)	-10,7	-12,04	-9,0	-12,78
Bant Genişliği (MHz)	2640	3630	330/440	3190

Çizelge 5.9. Dizi 3 ve dizi 4 anten simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Dizi 3			Dizi 4		
Frekanslar	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
S_{11} (dB)	-17,02	-13,42	-24,23	-31,73	-11,6	-19,16
Kazanç (dB)	8,95	6,52	5,53	9,15	7,06	5,55
Bant Genişliği (MHz)	2250	2648	6000	2200	2584	6000

Dizi 3 ve dizi 4 antenlerinin üç frekans bandında da simülasyonları yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda birinci frekans bandında S_{11} parametresi ve kazanç iyileşmiştir, bant genişliğinde fazla bir değişiklik olmamıştır. İkinci frekans bandında ise dizi 1 anteninin S_{11} parametresi ve bant genişliği değeri daha iyidir, ancak kazanç yükselmiştir. Üçüncü frekans bandında ise S_{11} parametresinde düşüş olurken kazanç ve bant genişliği parametrelerinde önemli bir değişiklik yoktur. İki dizinin her üç frekans bandındaki S_{11} , kazanç ve bant genişliği değerleri Çizelge 5.9'da karşılaştırılmıştır.

Birinci anten, dizi 1 ve dizi 3 ile ikinci anten, dizi 2 ve dizi 4'ün S_{11} , kazanç ve bant genişliği parametreleri sırasıyla Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11'de karşılaştırılmıştır. Birinci anten, dizi 1 ve dizi 3 karşılaştırıldığında birinci frekans bandında S_{11} parametresi birinci antene göre düşmüştür, ancak dizi 1'e göre oldukça iyidir. Kazanç ve bant genişliği parametrelerinde ise

ciddi şekilde iyileşme vardır. İkinci frekans bandında ise dizi 3'ün S_{11} parametresi diğer iki antene göre iyidir. Dizi 3'ün kazanç parametresi birinci antene göre iyileşmiştir, ancak dizi 1'e göre az bir düşüş yaşanmıştır. Bant genişliği ise oldukça düşmüştür, ancak kullanım için uygundur. Üçüncü frekans bandında S_{11} parametresi iyileşirken kazanç parametresi dizi 1 ile aynı kalmıştır. Bu bantta bant genişliği her üç antende de değişmemiştir.

Çizelge 5.10. Birinci anten, dizi 1 ve dizi 3 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Birinci Anten			Dizi 1			Dizi 3		
	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
S_{11} (dB)	-33,58	-10,42	-16,48	-7,48	-12,14	-23,63	-17,02	-13,42	-24,23
Kazanç (dB)	3,77	4,14	8,09	7,14	6,83	5,56	8,95	6,52	5,53
Bant Genişliği (MHz)	702	3527	6000	995	4000	6000	2250	2648	6000

Dizi 4, İkinci anten ve dizi 2 karşılaştırıldığında birinci frekans bandında her üç parametrede de dizi 4 oldukça iyidir. İkinci frekans bandında S_{11} parametresinde ikinci antene göre az bir düşüş olurken kazanç önemli ölçüde artmıştır. Dizi 2 antenine göre S_{11} parametresinde bir değişiklik olmazken kazanç küçük oranda iyileşmiştir. Buna karşın her iki antene göre de bant genişliği düşmüştür. Üçüncü frekans bandında dizi 4 anteninin S_{11} parametresi ikinci antenden iyi dizi 2'den kötüdür. Kazanç parametresi ikinci antene göre düşmüşken dizi 2 ile aynıdır. Bu bantta bant genişliği her üç antende de aynıdır.

Dizi 3 ve dizi 4 antenlerinin 9-12 GHz ve 22-26 GHz bantlarında ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 5.12'de gösterilmiştir. Dizi 3 anteninin ilk frekans bandında S_{11} değerinde ölçüm sonucuna göre düşüş olmuştur, ancak bant genişliği değerlerin simülasyon sonuçlarına göre daha iyi çıkmıştır. İkinci frekans bandı ölçüm sonuçlarında ise S_{11} ve bant genişliği değerlerinin her ikisi de simülasyona göre daha iyi çıkmıştır. Dizi 4 anteninin birinci frekans bandı ölçüm sonuçlarında S_{11} değeri sonucunda simülasyona göre düşüş yaşanmıştır. Bant genişliği ise simülasyona göre daha iyidir. İkinci frekans bandındaki ölçüm sonuçlarında her iki parametrede simülasyona göre oldukça iyi çıkmıştır.

Çizelge 5.11. İkinci anten, dizi 2 ve dizi 4 simülasyon sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	İkinci Anten			Dizi 2			Dizi 4		
	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz	10,2 GHz	24 GHz	79 GHz
S ₁₁ (dB)	-19,08	-12,6	-17,89	-10,26	-11,66	-32,62	-31,73	-11,6	-19,16
Kazanç (dB)	3,62	2,25	7,43	7,62	6,75	5,51	9,15	7,06	5,55
Bant Genişliği (MHz)	573	4000	6000	1064	4000	6000	2200	2584	6000

Çizelge 5.12. Dizi 3 ve dizi 4 ölçüm sonuçları karşılaştırma tablosu

Antenler	Dizi 3		Dizi 4	
	10,2 GHz	24 GHz	10,2 GHz	24 GHz
S ₁₁ (dB)	-15,35	-16,41	-13,60	-17,04
Bant Genişliği (MHz)	3190	4000	2480	4000



6. SONUÇ

Günümüzde radarlar, otomobillerde çarpışma tahmini, öndeki araç ile aradaki mesafenin hesaplanması, akıllı hız kontrolü, engel uyarısı, kör nokta takibi, park yardımı, şerit değiştirme asistanı, arkadan çarpma uyarısı gibi uygulamalar için radar kullanılmaktadır. 1970'lerin başlarında 10 GHz otomobil radar test edilse de günümüzde otomobil radarlarında en çok kullanılan frekanslar 24GHz (22-26GHz) ve 79 GHz (77-81GHz) değerleridir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında otomobil radarları için 9-12 GHz, 22-26 GHz ve 75-81 GHz frekans bantlarında çalışan antenler tasarlanmıştır. Tasarlanana antenler üretilmiş, ölçümleri yapılmıştır ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

İlk olarak tek yama anten tasarımı yapılmıştır. Teorik olarak hesaplanan boyutlar CST programı kullanılarak modellenmiştir ve üç frekans bandında da simülasyonu yapılmıştır. Daha sonrasında elde edilen sonuçlarda iyileştirme yapılmak amacıyla istenilen anten boyutu elde edilmiştir. Optimize edilmiş tek yama antenin üç frekans bandında da simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 24 ve 79 GHz frekanslarında iyileştirme yapma amacı ile birinci anten içerisine küçük bir yama anten daha yerleştirilerek ikinci yama anten elde edilmiştir. İkinci antenin de üç frekans bandında simülasyonları yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre ikinci ve üçüncü frekans bantlarında ikinci antenin S_{11} ve bant genişliği değerleri birinci antene göre daha iyidir. Birinci frekans bandında birinci antenin sonuçları daha iyidir. Kazanç değerlerinde ise birinci anten ikinci antene göre daha iyi olsa da ikinci antenin kazanç değerleri kullanım için yeterlidir. Her iki anten de üretilmiş ve S_{11} parametresi ölçümleri yapılmıştır. Ölçümde kullanılan devre çözümleyicinin (network analyzer) ölçebildiği en yüksek frekans değeri 40 GHz olduğu için ölçümler birinci ve ikinci frekans bandında yapılmıştır. Ölçümler, her iki frekans bandında da simülasyon sonuçları ile tutarlı çıkmıştır. Yapılan ölçümlere göre ikinci antenin S_{11} ve bant genişliği değerleri birinci antene göre daha iyidir.

Tasarlanan tek yama antenlerin kazanç değerinin iyileştirilmesi amacı ile bu tek elemanlar kullanılarak 1x2 ve 2x2 dizi antenler tasarlanmıştır. Birinci tek yama anten kullanılarak elde edilen 1x2 dizi 1 antenin ve ikinci tek yama anten kullanılarak elde edilen 1x2 dizi 2 antenin her üç bantta simülasyonu yapılmıştır. Dizi 1 antenin birinci frekans bandında kazanç değeri ve bant genişliği iyileşse de 10,2 GHz'de S_{11} değeri -10 dB altında kalmıştır. Diğer iki frekans bandında ise sonuçlar kullanım için uygundur. Dizi 2 anteni simülasyon

sonuçlarına ise birinci frekans bandında bant genişliği ve kazanç değeri oldukça yükselmiştir. S_{11} değeri ise, -10,26 dB, kullanım için uygundur. Her iki dizi antenin de kazanç değeri birinci ve ikinci antenin kazanç değerlerine göre birinci ve ikinci frekans bandında daha iyidir. Üçüncü frekans bandında ise tek yama antenlerin kazanç değeri daha yüksektir, ancak dizi 1 ve dizi 2 antenleri değerleri sonucu iyidir. Her iki dizi anten de üretilmiş ve S_{11} parametresi ölçümleri yapılmıştır. Dizi 1 anteni ölçüm sonuçları simülasyon ile tutarlı çıkmıştır. Ölçüme göre dizi 1 anteni S_{11} değeri ve bant genişliği değeri birinci frekans bandında simülasyona göre daha iyidir. İkinci frekans bandında S_{11} değeri simülasyon ile neredeyse aynı çıkmıştır, ancak bant genişliğinde düşüş olmuştur. Dizi 2 anteni ölçüm sonuçlarında ise birinci frekans bandında S_{11} değeri simülasyona göre daha kötü çıkmıştır. İkinci frekans bandında ise S_{11} değeri daha iyi olmasına rağmen bant genişliğinde düşüş olmuştur.

İkinci konfigürasyon dizi anten olarak 2x2 dizi 3 ve dizi 4 antenleri tasarlanmıştır. Birinci tek yama anten kullanılarak elde edilen 2x2 dizi 3 anteninin ve ikinci tek yama anten kullanılarak elde edilen 2x2 dizi 4 anteninin her üç bantta simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonucuna göre dizi 3 anteni kazanç ve bant genişliği değeri birinci anten ve dizi 1 antenine göre oldukça iyidir. Antenin S_{11} değeri birinci antene göre daha kötü çıkarken dizi 1 antenine göre oldukça iyidir. İkinci frekans bandında kazanç değeri birinci antene göre daha iyi iken dizi 1 anteni ile yaklaşık aynıdır. S_{11} parametresi ise her iki antenden de daha iyidir. Üçüncü frekans bandında dizi 3 anteninin S_{11} değeri birinci ve ikinci antene göre daha iyidir, bant genişliği ise aynıdır. Kazanç değeri birinci antene göre düşmüşken ikinci anten ile aynıdır. Dizi 4 anteni kazanç, S_{11} ve bant genişliği değeri birinci frekans bandında birinci antene ve dizi 2 antenine göre oldukça iyidir. İkinci frekans bandında S_{11} değeri yaklaşık aynı çıkarken kazancı diğer iki antene göre daha iyidir. Antenin bant genişliği ise diğer iki antene göre düşmüştür. Üçüncü frekans bandında antenin S_{11} değeri birinci antene göre daha iyi iken ikinci antene göre düşmüştür. Kazanç değeri ise birinci antene göre düşmüşken ikinci anten ile yaklaşık aynıdır. Bant genişliği her üç antende de aynıdır. Her iki dizi anten de üretilmiştir ve S_{11} parametreleri ölçümleri yapılmıştır. Birinci frekans bandında ölçüm sonucuna göre S_{11} değerinde düşüş olurken bant genişleri daha iyi çıkmıştır. İkinci frekans bandında ise her iki parametrede ölçüm sonucuna göre daha iyi çıkmıştır.

Simülasyon ve ölçüm sonuçları dikkate alındığı zaman ikinci tek yama anten ikinci ve üçüncü frekans bantlarında birinci yama antene göre daha iyidir. Dizi antenlerde ise her üç

frekansta S_{11} , kazanç ve bant genişliği parametrelerine göre kullanım için en uygun anten dizi 4 antenidir.

Bu çalışmada sunulan sonuçlar gelecek çalışmalar için yardımcı olabilir. Çalışmada nerilen antene faz kaydırıcılar eklenerek ışıma örüntüsü yönlendirilebilir ve böylece radar uygulamalarında antenin daha verimli kullanımını sağlanabilir. Önerilen antenler radar uygulamaları dışında ayıca 5G gibi yeni haberleşme uygulamalarında da kullanılabilir.





KAYNAKLAR

1. IEEE Standards Board. (2014, 05 06). *IEEE Std. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas*. IEEE, 145-203.
2. Balanis, C. A. (1992, January). Antenna theory: A review. *Proceedings of The IEEE*, 80(1), 7-23.
3. Balanis, C. A. (2012). *Antenna technology: Past, present and future*. 2012 IEEE International Workshop on Antenna Technology (iWAT). Arizona, 5-7.
4. Meindel, H. H. (2014). *Evolving Automotive Radar - from the very beginnings into the future*. The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), 3107-3114.
5. Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: Analysis and design* (4th Edition). New Jersey, Wiley Press, 285-384, 783-874.
6. İnternet: *70 Meter Antenna in Madrid*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.nasa.gov%2Fdirectorates%2Fheo%2Fscan%2Fservices%2Foverview%2FAntennaGallery-008.html&date=2019-05-30>, Son Erişim Tarihi: 17.03.2019.
7. Warren, L., Stutzman, G. A. (2012). *Antenna theory and design* (3rd Edition). New Jersey, Wiley Press, 23-69.
8. Fang, D. G. (2009). *Radiation pattern. Antenna theory and microstrip antennas*. New York: CRC Press, 14-15. 8. ve 9.
9. Fang, D. G. (2009). *Antenna theory and microstrip antennas*. New York: CRC Press, 15-32.
10. Milligan, T. A. (2005). *Modern antenna design* (2nd Edition). New Jersey: Wiley-IEEE Press, 1-41.
11. Balanis, C. A., Bandwidth. C. A. (2016). *Balanis, antenna theory: Analysis and design* (4th Edition). New Jersey: Wiley Press, 65-66.
12. Yi Huang, K. B. (2008). *Antennas: From Theory to Practice*. Wiley Press, 123-126.
13. Liang, C. H., Shi, Y., Su, T. (2010). Sparameter theory of lossless block network. *Progress In Electromagnetics Research*, 104, 253-266.
14. Orfanidis, S. J. (2016). *Electromagnetic waves and antennas*. Piscataway: ECE Department of Rutgers University Press, 663-708.
15. Balanis, C. A. (2016). Microstrip and mobile communications antennas. In *Antenna theory: analysis and design*. New Jersey, Wiley Press, 783.
16. Girish Kumar, K. R. (2002). *Broadband microstrip antennas*. Norwood: Artech House Press, 1-88.

17. Drabowitch, S. P. (2005). *Modern antennas* (Second Edition). Dordrecht: Springer, 131-162.
18. Victor Rabinovich, N. A. (2010). *Automotive antenna design and applications*. New York: CRC Press, 1-23.
19. Balanis, C. A. (2016). Rectangular patch. In *Antenna theory: Analysis and design* (4th Edition). New Jersey: Wiley Press, 788-798.
20. Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering* (4th Edition). New Jersey: Wiley Press, 48-94, 317-379.
21. Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. J., Ittipiboon, A. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. Norwood: Artech house, 253-316, 719-758.
22. Sukhbir Kumar, H. G. (2013). Design and study compact and wideband microstrip u-slot patch antenna for wi-max application. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 2(5), 45-48.
23. Chen, Z. N., Liu, D., Nakano, H., Qing, X., Zwick, T. (Eds.). (2016). *Handbook of antenna technologies*. Singapore: Springer, 3247.
24. Bancroft, R. (2009). *Microstrip and printed antenna design*. North Carolina: SciTech Publishing Inc., 142-177.
25. McKinney, J. (2006). Chapter III: What is radar? *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 21(8), 13-15.
26. Balbirnie, T. (1998). How it works? Radar. *Electronics Education*, 1998(3), 35-36.
27. Skolnik, M. (2001). *Introduction to radar systems* (3rd Edition). New York: Mc Graw Hill, 1-29.
28. İnternet: Guizzo, E. *How Google's Self-Driving Car Works*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fspectrum.ieee.org%3Ahttps%3A%2F%2Fspectrum.ieee.org%2Fautomaton%2Frobotics%2Fartificial-intelligence%2Fhow-google-self-driving-car-works&date=2019-05-30>, Son Erişim Tarihi: 15.02.2018.
29. Wax, H. (2008). Autonomous vehicle development: No accident. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Women In Engineering Magazine*, 2(1), 34-37.
30. Wenger, J. (2007). *Short range radar – being on the market*. Proceedings of the 37th European Microwave Conference, Munich: 1534-1537.
31. Surugiu, M. C., Petrescu, I., Nemtoi, L., Maghiari, E. (2011). *Microwave anti-collision system*. 2011 IEEE 17th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME). Timisoara, 291-294.
32. Schneider, M. (2005). *Automotive radar – status and trends*. 2005 German Microwave Conference (GeMiC 2005). Ulm, 144-147.

33. Wu, D. (2016). *76-81 GHz planar antenna development and utilization for automotive radar applications*. Gothenburg: Department of Microtechnology and Nanoscience Chalmers University of Technology, 1-5.
34. Meinel, H. H. (1998). *Automotive millimeterwave radar history and present status*. 28th European Microwave Conference Amsterdam 1998, Amsterdam, 619-629.
35. Groll, H. P., Detlefsen, J. (1997). History of automotive anticollision radars and final experimental results of a MM-Wave car radar developed by the Technical University of Munich. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 12(8), 15-19.
36. Wenger, J. (2005). *Automotive radar – status and perspectives*. 2005 IEEE CSIC Symposium Technical Digest 2005, Palm Springs, 21-24.
37. İnternet: Ramasubramanian K., *Moving from legacy 24 GHz to state-of-the-art 77 GHz radar*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ti.com%2Flit%2Fwp%2Fspry312%2Fspry312.pdf&date=2019-05-30>, Son Erişim Tarihi: 22.11.2017.
38. İnternet: Dg Connect. *A radar for your car. (European Commission)* URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fdigital-single-market%2Fen%2Fcontent%2Fradar-your-car&date=2019-05-30>, Son Erişim Tarihi: 22.11.2017.
39. Federal Communications Commission. (2017, September). *Permitting Radar Services in the 76–81*. Federal Register, Washington, 43865-43872.
40. Bloecher, H. L., Sailer, A., Rollmann, G., Dickmann, J. (2009). 79 GHz UWB automotive short range radar–Spectrum allocation and technology trends. *Advances in Radio Science*, 7(3), 61-65.
41. İnternet: Keysight Technologies. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.keysight.com%2Fen&date=2019-05-30>, Son Erişim Tarihi: 15.06.2018.
42. İnternet: *Radar based ADAS*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.st.com%2Fcontent%2Fst_com%2Fen%2Fapplications%2Fautomotive-and-transportation%2Factive-and-passive-safety%2Fradar-based-adas.html&date=2019-05-30, Son Erişim Tarihi: 22.11.2017.
43. Stove, A. G. (1991). Obstacle detection radar for cars. *Electronics & Communication Engineering Journal*, 3(5), 232-240.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKTAR, Mehmet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.06.1991, Isparta
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0(533)442 26 62
 e-mail : mehmett.aktar@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek	Gazi Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Isparta Mürşide Ermumcu Anadolu Öğretmen Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Atel Teknoloji ve Savunma Sanayi A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2016-2017	Artron Elektronik Tasarım Üretim A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2013-2015	Gate Elektronik A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Aktar, M., Akçam, N. (2018). *Multiband microstrip patch antenna for automobile radars*. International Congress On Engineering and Life Science, Kastamonu, 939-943.

Aktar, M., Akçam, N. (2018). *Otomobil radarları için çokbant mikroşerit yama anten tasarımı*. ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı, Bursa, 558-562.

Hobiler

Yürüyüş, Takım oyunu oynama



GAZİ GELECEKTİR..