

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

**DÖRT REZONANSLI MİKROŞERİT YAMA
ANTENLERİN İNCELEMESİ, TASARIMI VE
SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Zeliha Merve ŞENCAN**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Taha İMECİ**

İstanbul – 2012

T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Programı Tezli Yüksek Lisans öğrencisi Zeliha Merve ŞENCAN tarafından hazırlanan “Dört Rezonanslı Mikroşerit Yama Antenlerin İncelenmesi, Tasarımı ve Simülasyonu” adlı bu çalışma jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Tarihi :11.07.2012

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

İmzası :

Jüri Üyesi: Yrd.Doç.Dr.Taha İMECİ
Dan.- İst.Tic.Üniv. Öğr.Üyesi

.....

Jüri Üyesi : Prof.Dr.C.Cengiz ARCASOY
HAL.Üniv. Elektrik-Elektronik Müh. ABD Öğr.Üyesi

.....

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Hamid TORPİ
Yıldız Teknik Üniv. Öğr.Üyesi

.....

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Soner ÖZGÜNEL
HAL.Üniv.Elektrik-Elek.Müh. ABD Öğr.Üyesi (Yedek)

.....

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Oğuz KARAN
HAL.Üniv.Bilg.Müh. ABD Öğr.Üyesi (Yedek)

.....

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda tecrübeleri ve hoşgörüsüyle bana destek olan danışmanım Yard. Doç. Dr. Taha İMECİ'ye, her zaman yanımda olan aileme, çalışmalarımı geliştirebilmem için bana anlayış gösteren TRT İstanbul Televizyonu'nda çalışan mesai arkadaşlarım ve büyüklerime, son olarak bütün yol arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler ederim.

Zeliha Merve ŞENCAN

İstanbul, 2012

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
KISALTMALAR	III
TABLO LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
DENKLEMLER	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1.GİRİŞ	1
1.1.Tezin Amacı.....	2
2.TASARIM TANIMLAMALARI	3
2.1.1.Anten Nedir?	3
2.1.2.Bir Anteni Tanımlayan Karakteristik Özellikler.....	6
2.1.3.Anten Parametreleri.....	8
2.1.4. Anten Polarizasyonu	9
2.1.5.Etkin Anten Uzunluğu	10
2.1.6.Anten Işıma Faktörü	10
2.1.7.Işıma Güç Yoğunluğu	10
2.1.8.Işıma Şiddeti Yoğunluğu	11
2.1.9. Yönlendiricilik Kazancı	11
2.1.10.Yönlendiricilik	12
2.1.11.Güç Kazancı.....	12
2.1.12. Gerçekleştirilmiş Güç Kazancı	12
2.1.13. Anten Işıma Direnci	13
2.1.14. Anten Güç Verimliliği	13
2.1.15.Gerçekleştirilmiş Anten Güç Verimliliği	14
2.1.16. Etkin Anten Açıklığı	14
2.1.17. Maksimum Etkin Anten Açıklığı	15
2.1.18. Anten Yansıma Katsayısı	15
2.1.19. Anten Gerilim Duran Dalga Oranı.....	15
2.1.20. Geri Dönüş Kaybı	16
2.1.21. Frekans Band Genişliği	17
2.1.22. Açısal Işıma Açıklığı	17
2.1.23.Kayıp Faktörü	1
2.2.Anten Çeşitleri.....	18
2.2.1.Tel Antenler	18
2.2.2. Doğrusal Tel Antenler	18
2.2.3. Eğrisel Tel Antenler	19
2.2.4. Reflektörlü Ve Metalik Lensli Antenler.....	20
2.2.5.Mikroşerit Yama Antenler	20
2.3. Mikroşerit Yama Anten Yapıları.....	21
2.3.1.Mikroşerit Yama Antenler Hakkında Genel Bilgi.....	21
2.3.2. Mikroşerit Yama Antenlerin Band Genişliği.....	24
2.3.3.Mikroşerit Yama Antenleri Besleme Teknikleri.....	24
2.3.4. Mikroşerit Yama Antenlerin Uygulama Alanları.....	28
2.3.5.Mikroşerit Yama Anten Analizi.....	29

2.4. Wimax IEEE Standartları.....	31
2.5. L Şelinde Ve Delik Açılarak Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler.....	37
3. DÖRT REZONANSLI MİKROŞERİT YAMA ANTENİN TASARIM	
ADIMLARI.....	42
3.1. Anten Tasarımının 1. Adımı.....	42
3.2. Anten Tasarımının 2. Adımı.....	52
3.3. Anten Tasarımının 3. Adımı.....	74
4.SİMÜLASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE	
DEĞERLENDİRMELER.....	87
5.KAYNAKLAR.....	88
6.ÖZGEÇMİŞ.....	90

KISALTMALAR

CPW : Düzlemsel Dalga Klavuzu

Non-TEM : Enine Elektromagnetik

MIC : Mikrodalga Tümlşik Devresi

RCS : Radar Kesit Alanı

HFSS : Yüksek Frekans Yapı Simulatörü

ŞEKİLLER

Sayfa No.

Şekil 2.1. Verici ya da alıcı anten.....	3
Şekil 2.2. Tek merkez frekanslı çift yönlü iletimde antenin rolü.....	4
Şekil 2.3. Çift merkez frekanslı beklemeli veri iletiminde antenin rolü.....	4
Şekil 2.4. Çift merkez frekanslı beklemeli veri iletiminde antenin rolü.....	5
Şekil 2.5. Çift merkez frekanslı beklemesiz veri iletiminde antenin rolü.....	5
Şekil 2.6. Alıcı antenin devre eşdeğeri.....	7
Şekil 2.7. Verici antenin devre eşdeğeri.....	8
Şekil 2.8. Mikroşerit yama anten yapısı.....	20
Şekil 2.9. Mikroşerit Anten ve Koordinat Sistemi.....	22
Şekil 2.10. Mikroşerit iletim hattı beslemeli, mikroşerit yama antenin geometrisi ve eşdeğer devresi	26
Şekil 2.11. Mikroşerit Antenleri Besleme Teknikleri.....	27
Şekil 2.12. Dikdörtgen Mikroşerit Yama.....	31
Şekil 2.13. WiMAX Standartları.....	35
Şekil 2.14. WiMAX Standartlarının Özellikleri.....	36
Şekil 2.15. Antenin gövdesinde delik açılarak rezonans frekansı arttırılan anten.....	37
Şekil 2.16. 3 rezonanslı delikli anten.....	38
Şekil 2.17. L bacaklı antenin üstten görünümü.....	38
Şekil 2.18. Antenin üstten görünümü.....	39
Şekil 2.19. L ve J şeklinde ek ve delikleri bulunan antenin üstten görünümü.....	40
Şekil 2.20. U şeklinde delikler açılmış antenin üstten görünümü.....	40
Şekil 2.21. L şeklinde tasarlanan antenin geometrik görünümü.....	41
Şekil 2.22. L şeklinde tasarlanan antenin geometrik görünümü.....	41
Şekil 3.1. Sonnet yazılımının logosu.....	42
Şekil 3.2. Yandan beslemeli antenin üstten görünümü.....	45
Şekil 3.3. Yandan beslemeli antenin 3 boyutlu üstten görünümü.....	46
Şekil 3.4. Köşe beslemeli antenin üstten görünüm.....	46
Şekil 3.5. Köşe beslemeli antenin geri dönüş kaybı.....	47
Şekil 3.6. Köşe beslemeli antenin kazancı.....	47
Şekil 3.7. Yuvarlak beslemeli antenin geri dönüş kaybı.....	49
Şekil 3.8. Yuvarlak beslemeli antenin kazancı.....	49
Şekil 3.9. Köşe beslemeli antenin akım yoğunluğu.....	51
Şekil 3.10. Prop beslemeli beslemeli antenin akım yoğunluğu.....	51
Şekil 3.11. Yama antenin üstten görünümü.....	52
Şekil 3.12. Yama antenin 3 boyutlu görünümü.....	52
Şekil 3.13. Yama antene eklenen ilk bacaklar.....	53
Şekil 3.14. Yama antene eklenen ikinci bacaklar.....	53
Şekil 3.15. Yama antene eklenen üçüncü bacaklar.....	53
Şekil 3.16. Yama antene eklenen dördüncü bacaklar.....	54
Şekil 3.17. Antenin 3 boyutlu üstten görünümü.....	54
Şekil 3.18. Yama antenin geri dönüş kayıpları.....	56
Şekil 3.19. 2 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları.....	56
Şekil 3.20. 4 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları.....	57

Şekil 3.21. 6 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları.....	57
Şekil 3.22. 8 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları.....	58
Şekil 3.23. Yama antenin giriş empedansı gerçel değerleri.....	58
Şekil 3.24. 2 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri.....	59
Şekil 3.25. 4 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri.....	59
Şekil 3.26. 6 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri.....	60
Şekil 3.27. 8 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri.....	60
Şekil 3.28. Yama antenin giriş empedansı imajiner değeri.....	61
Şekil 3.29. 2 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri.....	61
Şekil 3.30. 4 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri.....	62
Şekil 3.31. 6 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri.....	62
Şekil 3.32. 8 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri.....	63
Şekil 3.33. Yama antenin kazancı.....	64
Şekil 3.34. 2 bacaklı antenin kazancı.....	65
Şekil 3.35. 4 bacaklı antenin kazancı.....	66
Şekil 3.36. 6 bacaklı antenin kazancı.....	68
Şekil 3.37. 8 bacaklı antenin kazancı.....	69
Şekil 3.38. 4.475 GHz’de yama anten 1. Rezonans.....	71
Şekil 3.39. 8.85 GHz’de yama anten 2. Rezonans.....	71
Şekil 3.40. 4.5 GHz’de 2 bacaklı anten 1.Rezonans.....	71
Şekil 3.41. 8.78 GHz’de 2 bacaklı anten 2.Rezonans.....	71
Şekil 3.42. 4.56 GHz’de 4 bacaklı anten 1.Rezonans.....	71
Şekil 3.43. 6.78 GHz’de 4 bacaklı anten 2.Rezonans.....	71
Şekil 3.44. 9.08 GHz’de 4 bacaklı anten 3.Rezonans.....	72
Şekil 3.45. 4.66 GHz’de 6 bacaklı anten 1. Rezonans.....	72
Şekil 3.46. 7.04 GHz’de 6 bacaklı anten 2.Rezonans.....	72
Şekil 3.47. 9.12 GHz’de 6 bacaklı anten 3.Rezonans.....	72
Şekil 3.48. 4.46 GHz’de 8 bacaklı anten 1.Rezonans.....	73
Şekil 3.49. 5.82GHz’de 8 bacaklı anten 2.Rezonans.....	73
Şekil 3.50. 7.06 GHz’de 8 bacaklı anten 3. Rezonans.....	73
Şekil 3.51. 9.58 GHz’de 8 bacaklı anten 4. Rezonans.....	73
Şekil 3.52. 6 delikli anten yapı geometrisi.....	74
Şekil 3.53. 4 delikli anten yapı geometrisi.....	74
Şekil 3.54. Açılan 6 slot için çıkarılan parçaların her biri.....	75
Şekil 3.55. Açılan 6 slot için çıkarılan parçaların her biri.....	75
Şekil 3.56. 6 delikli antenin üstten görünümü.....	76
Şekil 3.57. 4 delikli antenin üstten görünümü.....	76
Şekil 3.58. 6 delikli antenin geri dönüş kayıpları.....	79
Şekil 3.59. 4 delikli antenin geri dönüş kayıpları.....	79
Şekil 3.60. 6 delikli antenin real giriş empedansı.....	80
Şekil 3.61. 4 delikli antenin real giriş empedansı.....	80
Şekil 3.62. 6 delikli antenin imajiner giriş empedansı.....	81
Şekil 3.63. 4 delikli antenin imajiner giriş empedansı.....	81
Şekil 3.64. 6 delikli antenin kazancı.....	82
Şekil 3.65. 4 delikli antenin kazancı.....	83
Şekil 3.66. 4.44 GHz’de 6 delikli anten 1.rezonans.....	85

Şekil 3.67. 6.38 GHz’de 6 delikli anten 2.rezonans.....	85
Şekil 3.68. 7.00 GHz’de 6 delikli anten 3.rezonans	85
Şekil 3.69. 9.22 GHz’de 6 delikli anten 4. rezonans.....	85
Şekil 3.70. 4.42 GHz’de 4 delikli anten 1.rezonans	85
Şekil 3.71. 6.34 GHz’de 4 delikli anten 2.rezonans.....	85
Şekil 3.72. 6.96 GHz’de 4 delikli anten 3.rezonans.....	86
Şekil 3.73. 9.12 GHz’de 4 delikli anten 4.rezonans.....	86

TABLolar

	Sayfa No.
Tablo 3.1. Referans 9900 mil.....	43
Tablo 3.2. Referans 10000 mil.....	43
Tablo 3.3. Referans 10100 mil.....	44
Tablo 3.4. Referans 10200 mil.....	44
Tablo 3.5. Farklı referans noktalarındaki frekans kaymaları.....	45
Tablo 3.6. Prop beslemeli anten kazancının değişik theta değerlerindeki değişimi.....	48
Tablo 3.7. Farklı dikdörtgen besleme değerlerinin Kazanç , Giriş Empedansı , Geri dönüş kaybı ve taşıyıcı frekans değerleri üzerindeki etkisi.....	48
Tablo 3.8. Farklı yuvarlak besleme değerlerinin Kazanç , Giriş Empedansı , Geri dönüş kaybı and taşıyıcı frekans değerleri üzerindeki etkisi.....	50
Tablo 3.9. Yuvarlak ve köşe beslemeli antenin değişik theta değerlerindeki değişim.....	50
Tablo 3.10. Dikdörtgen ve köşe beslemeli antenin değişik theta değerlerindeki değişim.....	50
Tablo 3.11. Bacaklar eklendikçe frekans ve geri dönüş kaybı parametrelerin değişimi.....	55
Tablo 3.12. Yama antenin band genişlikleri.....	55
Tablo 3.13. Eklenen bacak sayısına göre değişen empedans değerleri.....	63
Tablo 3.14. Eklenen bacak sayısına göre değişen frekans kaymaları.....	64
Tablo 3.15. Yama antenin E Theta Kazançları.....	65
Tablo 3.16. İki bacaklı antenin E Theta Kazançları.....	66
Tablo 3.17. 4 bacaklı antenin E Theta Kazançları.....	67
Tablo 3.18. 6 bacaklı antenin E Theta Kazançları.....	68
Tablo 3.19. 8 bacaklı örümcek görünümlü antenin E Theta Kazançları.....	70
Tablo 3.20. 6 delikli antenin parametrik değişimleri.....	77
Tablo 3.21. 4 delikli antenin parametrik değişimleri.....	78
Tablo 3.22. 6 delikli örümcek görünümlü antenin E Theta Kazançları.....	82
Tablo 3.23. 4 delikli örümcek görünümlü antenin E Theta Kazançları.....	84

DENKLEMLER

Sayfa No.

2.1.Kalite Faktörü	9
2.2.Etkin Uzunluğu	10
2.3.Anten Işıma Faktörü.....	10
2.4.Işıma Güç Yoğunluğu	10
2.5.Işıma Şiddeti Yoğunluğu	11
2.6.Yönlendiricilik Kazancı.....	11
2.7. Şiddeti Yoğunluğu	12
2.8.Güç Kazancı.....	12
2.9. Gerçekleştirilmiş Güç Kazancı.....	13
2.10. Anten Işıma Direnci.....	13
2.11. Anten Güç Verimliliği.....	13
2.12. Gerçekleştirilmiş Anten Güç Verimliliği.....	14
2.13. Antenin Etkin Açıklığı.....	14
2.14. Maksimum Etkin Anten Açıklığı.....	15
2.15. Anten Yansıma Katsayısı.....	15
2.16. Anten Gerilim Duran Dalga Oranı.....	16
2.17. Geri Dönüş Kaybı.....	16
2.18. Frekans Band Genişliği.....	17
2.19. Çalışma Merkez Frekansı.....	17
2.20. Normalize Frekans Band Genişliği.....	17
2.21. Kayıp Faktörü.....	18
2.22. Akım Dağılımı.....	19
2.23.Elektrik Alan.....	19
2.24.Manyetik Uzak Alanları.....	19

GENEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Zeliha Merve ŞENCAN
Anabilim Dalı : Elektrik Elektronik Mühendisliği
Programı : Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Taha İMECİ
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Temmuz 2012

ÖZET

DÖRT REZONANSLI MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN İNCELEMESİ, TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Mikroşerit anten teknolojisi son yılların en hızlı gelişen ve anten teknolojilerinde gündem olan bir konudur. Özellikle akademik ve ticaret alanında önemlidir. Bu konuda yazılmış binlerce makale ve tasarım mevcuttur.

Bu çalışmada örümcek şeklinde mikroşerit yama anten tasarımının parametrik çalışmaları, optimizasyonu ve simülasyonu gösterilmiştir. Frekans aralığı 4 – 10 GHz arasında değişen, 4 rezonanslı ve maksimum kazancı 11 dB olan mikroşerit yama antenin sonuçları 3 boyutlu elektromanyetik simülasyon yazılımı olan Sonnet ile gösterilmiştir. Anten gövdesinde yapılan boyut değişiklikleri ve açılan deliklerin parametreler üzerindeki değişimi tablolar ile gösterilmiştir. Tasarlanan anten bir çok IEEE 802.11 bandı uygulamalarında, WLAN ve WiMAX sistemlerinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler – Mikroşerit yama anten, kablosuz, kazanç, Sonnet yazılımı.

GENERAL INFORMATION

Name and Surname : Zeliha Merve SENCAN
Field : Electrical and Electronics Engineering
Program : Electronics and Communication Engineering
Supervisor : Assist. Prof.Dr. Taha IMECI
Degree Awarded and Date : Master of Science – Julay 2012

ABSTRACT

Microstrip antenna technology has been most rapidly developing topic in the antenna field in years. Specially on academic and commercial field. There are a thousands of journals, papers and designs about microstrip technologies.

This is a microstrip patch antenna with a spider shape which conducts parametric study, optimization, and presents simulated results. Results show quad-band resonances in the frequency range of 4–10 GHz which have a maximum radiation pattern gain of 11 dB. Simulation results are made with help of a 3-D planar electromagnetic simulation tool, called Sonnet Suites. A parametric study on different size of the slots on the patch is performed and results presented in tables. The antenna can be used in most of the IEEE 802.11 bands for wireless applications on both WLAN and WiMAX systems.

Index Terms—Microstrip Patch Antenna, Wireless, Gain, Radiation pattern, Sonnet Suites.

1.GİRİŞ

Bugün bir çok alanda kullanılan mikroşerit yama antenler 1950’li yıllarda keşfedildi. 1970 li yıllarda ise uygun dielektrik, daha düşük kayıplar ve bunun gibi bir çok özellikte araştırmalar devam etti.

Mikroşerit antenler geometrik yapıları, hafiflikleri, küçük hacimleri, ucuza üretilibilmeleri, her türlü yüzeye kolay uygulanabilirlikleri ve her daim gelişme içerisinde olmalarından dolayı günümüzde popüler bir anten çeşididir. bu anten yapısını popüler kılan bu özelliklerinin yanı sıra düşük verimliliği, dar yapılı frekans bandının olması ve düşük güçlü yapıda olmaları gibi bazı dezavantajları da mevcuttur.

Basit yapılı mikroşerit yama antenler genellikle antenin gövdesine oranla çok ve dar bir iletken mikroşerit hat ile ya da uygun bir noktadan prop ile beslenir. Tezdeki ilk denememizde anteni propla yandan besledik. Daha sonraki adımlarda köşeden besleyerek aralarındaki farkları gözlemledik. Band genişliğini ve rezonans değerlerini arttırmak için antende delik açmayı denedik.

Mikroşerit yama anten tasarımında öncelikle kullanılacak olan dielektrik değerlerini seçtik. Dikdörtgen yama antenin boyutlarını hesapladık. Antenin uzunluğu rezonans frekansının dalga boyu ile doğru orantılı, genişliği ise rezonans giriş empedansı ile ters orantılıdır. Kullanılan dielektik sabiti ve yüksekliği de anten boyunu etkileyen faktörlerdendir.

1.1. Tezin Amacı

Pek çok pratik tasarım için, mikroşerit antenlerin avantajları dezavantajlarına göre daha ağır gelir. Araştırma ve geliştirmelerin sürmesi ve mikroşerit yama antenlerin pek çok uygulama için alışılmış antenlerin yerine eninde sonunda geçmesi beklenebilir. Mikroşerit antenlerin bazı uygulama alanları ise şöyledir: kablosuz sistemler, uydu haberleşmesi, silahların otomatik işlenmesi, biyomedikal ışınlayıcı, çevresel enstrümantasyon, uzaktan algılama, güvenlik sistemleri ve şifreleme. Bu imkanların fakedilişinin artmasıyla bu uygulamaların sayısında artacaktır. (Tansarıkaya,2007)

Bu tezin hazırlanmasındaki amaç farklı rezonanslarda çalışabilen antenin güvenlik sahalalarında kullanılabilirliği, herhangi bir alanda geliştirilebilmesi ve bilim adına yararlı bir çalışmada yapmış olmasıdır.

1.2. Teze Genel Bakış

Tezi yazmaya başlarken ilk bölümde mikroşerit yama antenlerin yapısından, avantajlarından, kullanılabilirliklerinden bahsettik.

İkinci bölümde ise anten tanımlamaları, anten çeşitleri, mikroşerit yama anten tanımlamaları ve iyileştirmeleri son olarak da IEEE standartlarını açıkladık.

Üçüncü bölümde de anten tasarım adımlarını detaylı olarak inceledik. Anten yapısındaki değişikliklerin gözlemlediğimiz parametreler üzerindeki değişimlerini gözlemledik. Bu parametreler başta geri dönüş kaybı olmak üzere, anten kazancı, taşıyıcı frekansları, giriş empedansı değerleridir. Son olarak geometrisini sabitlediğimiz anten yapısında açtığımız deliklerin parametrik çalışmasını inceledik.

Dördüncü ve son kısımda ise elde ettiğimiz sonuçların karşılaştırmasını ve değerlendirmesini yaptık.

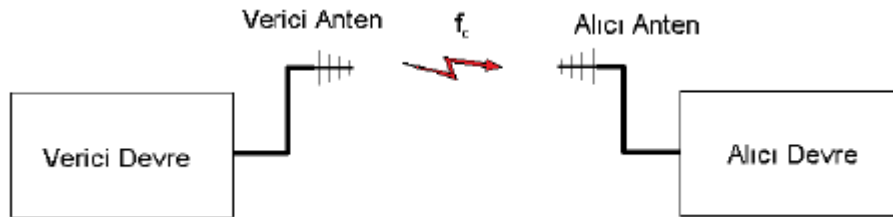
2. TASARIM TANIMLAMALARI

Bu bölümde Mikroşerit yama antenimizin tasarımından önce anten ile ilgili açıklayıcı detaylara yer verdik.

2.1.1. Anten Nedir?

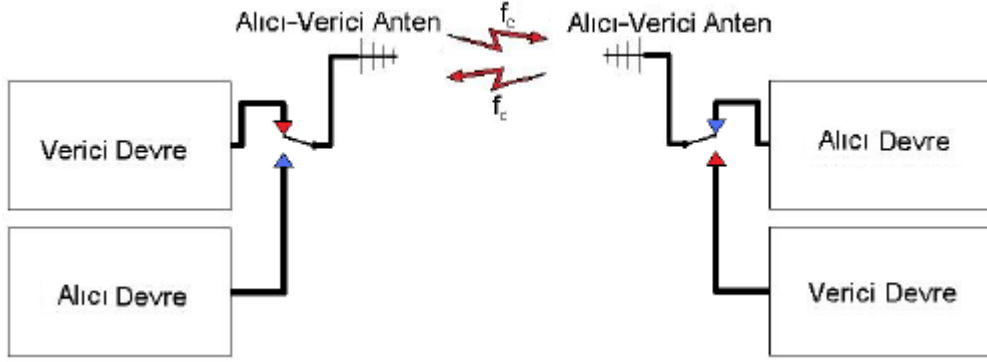
Anten, haberleşme sistemlerinde genel olarak elektromanyetik dalgalar ve elektriksel işaretler arasındaki dönüşümden sorumlu devre elemanıdır. İletim kanalı olarak boş uzay veya atmosferi kullanan haberleşme sistemlerinin, bu kanala açılan arayüzüne anten denir. Buna göre bir antenin kullanımı verici anten (transmitter antenna), alıcı anten (receiver antenna) veya verici-alıcı anten (trancieverer antenna) karakteristiklerinden birine uyabilir.

Verici anten, adından da anlaşılacağı üzere elektriksel işareti, elektromanyetik dalgaya çevirip iletim ortamına aktarmakla yükümlüdür. Alıcı anten ise, verici anten tarafından gönderilmiş elektromanyetik dalgayı toplayarak kendisine bağlı devrede elektriksel işaret indüklemekle mükelleftir. Bir anten resiprokluk özelliğinden dolayı hem verici, hem de alıcı anten olarak kullanılabilir. Aşık ki her iki karakteristiği de aynı anda göstermesi beklenen alıcı-verici anten kullanan sistemlerde, gönderilen ve alınan işaretlerin karışmaması için bir tür çoğullama tekniği kullanılması icap eder.



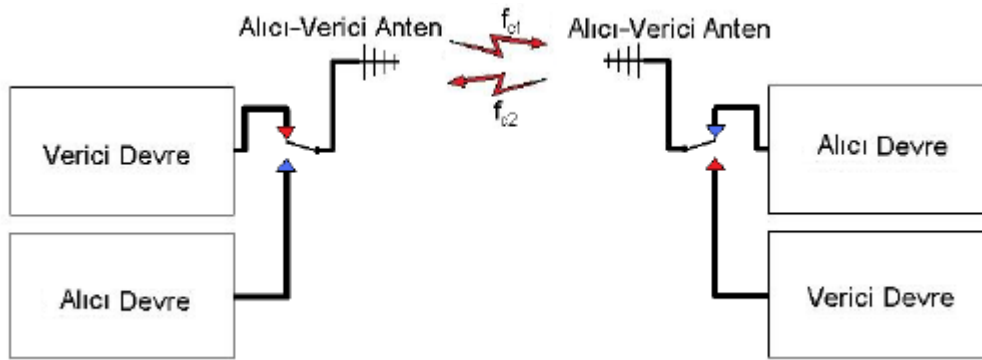
Şekil 2.1 - Verici ya da alıcı anten

Tek yönlü, tek merkez frekanslı veri iletiminde bilgi tek bir merkez frekansı etrafında yer alan bir banda yayılmış vaziyette, vericiden alıcıya taşınır. Burada antenler sadece verici veya alıcı rolü oynarlar.



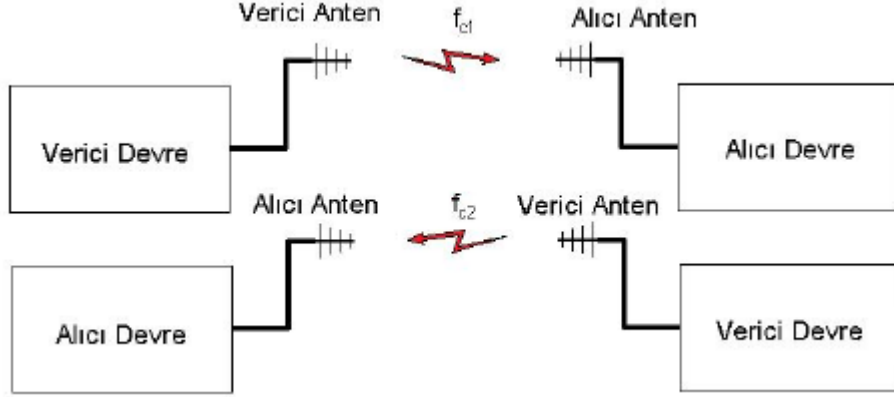
Şekil 2.2 - Tek merkez frekanslı çift yönlü iletimde antenin rolü

Tek merkez frekanslı çift yönlü veri iletiminde bilgi yine tek bir merkez frekansı etrafında yer alan bir banda yayılmış vaziyette gönderilir. Yalnız burada bir taraf veri gönderirken diğer taraf anten ile alıcı devre arasında bağlantı kurar, iki taraf da kanala işaret göndermez. Burada her iki tarafta da “verici veya alıcı” olma durumunu anahtarlayan bu devrenin eşzamanlanması sorunu vardır.



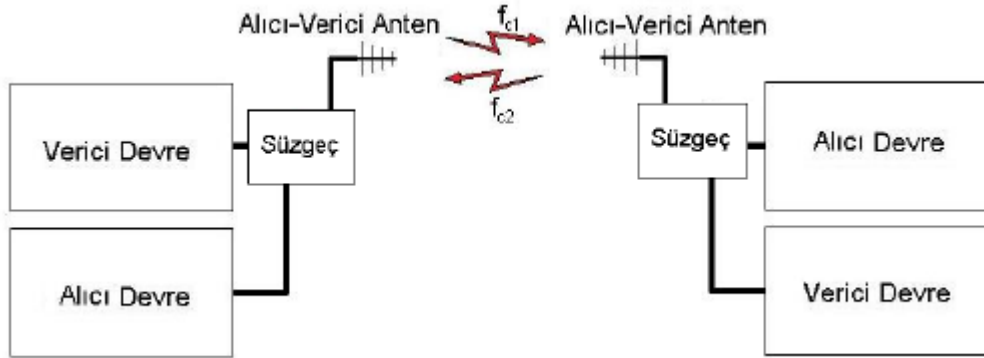
Şekil 2.3 - Çift merkez frekanslı beklemeli veri iletiminde antenin rolü.

Çift merkez frekanslı beklemeli veri iletiminde bilgi karşılıklı birer merkez frekans etrafında yer alan bantlara yayılmış vaziyette gönderilir. Bu yapıda her ne kadar iki taraf da farklı frekansların etrafına yerleştirilmiş işaretler gönderiyor olsa da yine de aynı anda kanala işaret verilmesi söz konusu değildir, karşılıklı birbirini bekleme söz konusudur. Genel olarak gezgin haberleşen telsizlerin rölelerinde tercih edilen bir yapıdır. Burada karşılıklı sistemlerdeki antenler alıcı-verici anten tipindedir.



Şekil 2.4 - Çift merkez frekanslı beklemeli veri iletiminde antenin rolü

Çift merkez frekanslı bağımsız veri iletiminde bilgi karşılıklı birer merkez frekans etrafında yer alan bantlara yayılmış vaziyette gönderilir. Bu yapıda gönderici ve alıcı devreler antenlerden daha önce ayrılmış olduğu için antenlerin rolü ya verici ya da alıcı anten tipindedir. Sistemde herhangi bir bekleme söz konusu değildir, zira gönderme ve alma devreleri ile frekansları birbirinden farklıdır. Kanalda iki frekanstan dalgalar aynı anda bulunabilir.



Şekil 2.5 - Çift merkez frekanslı beklemesiz veri iletiminde antenin rolü

Çift merkez frekanslı beklemesiz veri iletiminde bilgi karşılıklı birer merkez frekans etrafında yer alan bantlara yayılmış vaziyette gönderilmektedir. Sistem beklemesizdir, zira verici ve alıcı devreye ulaşacak işaretlerin iletimi bir süzgeç ve yönlendirici ile denetlenir. Burada antenler alıcı-verici antenlerdir. Kanalda aynı anda iki merkez frekanslı işaret süperpoze olmuş vaziyette bulunabilir.

2.1.2. Bir Anteni Tanımlayan Karakteristik Özellikler

Genel olarak,

$Z_A = R_A + jX_A$: Anten empedansı (ohm)

$R_A = R_r + R_L$: Anten rezistansı (ohm)

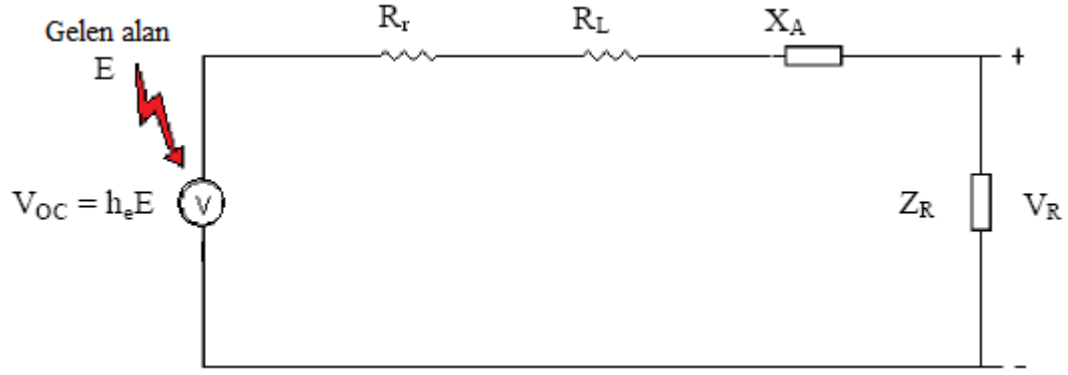
R_r : Radyasyon rezistansı (ohm)

R_L : Kayıp rezistansı (ohm)

X_A : Anten reaktansı (ohm)

olmak üzere, alıcı ve verici anten tipleri için sırasıyla devre eşdeğeri aşağıdaki şekillerde görülmektedir.

Kaynak empedansının sanal kısmı anten giriş empedansının sanal kısmını yok edecek şekilde (örneğin biri endüktif diğeri kapasitif) ise devrede güç birikimi söz konusu olmaz. Ayrıca kayıpların minimize edilmesi durumunda R_L sıfır kabul edilirse antenin kaynaktan çekeceği gücün tamamı ışıyan güç olur ki idealde istenen durum budur. Genelde kaynak direnci ve iletim hattı karakteristik empedansı 50Ω seçilir ve hesaplar ona göre yapılır.



Şekil 2.6 - Alıcı antenin devre eşdeğeri

Uzaydan kaptığı elektromanyetik enerjiyi uçlarına bir V_{OC} gerilimi şeklinde aktaran alıcı anten bu enerjiyi alıcı devre girişini temsil eden bir Z_R empedansı üzerinde harcamaktadır. Yükün gördüğü anten empedansı ise Z_A ise yine yük, iletim hattı ve anten empedansı arasında uyum olması durumunda antenden maksimum güç çekilmektedir. Antenin etkin yüzeyi yüksek olup ortamdaki yüksek elektromanyetik güç çekmesine karşın bunun tamamını alıcı devreye aktarması için empedans uyumu şarttır. İdealde hesaplar iletim hattı karakteristik empedansının ve yükün 50Ω olmasına göre yapılır. [3]

Alıcı antenin devre eşdeğeri,

$V_{OC} = h_e E$: Gelen dalga ile indüklenen gerilim (V)

h_e : Etkin anten uzunluğu (m)

E : Gelen dalganın elektrik alan şiddeti (V/m)

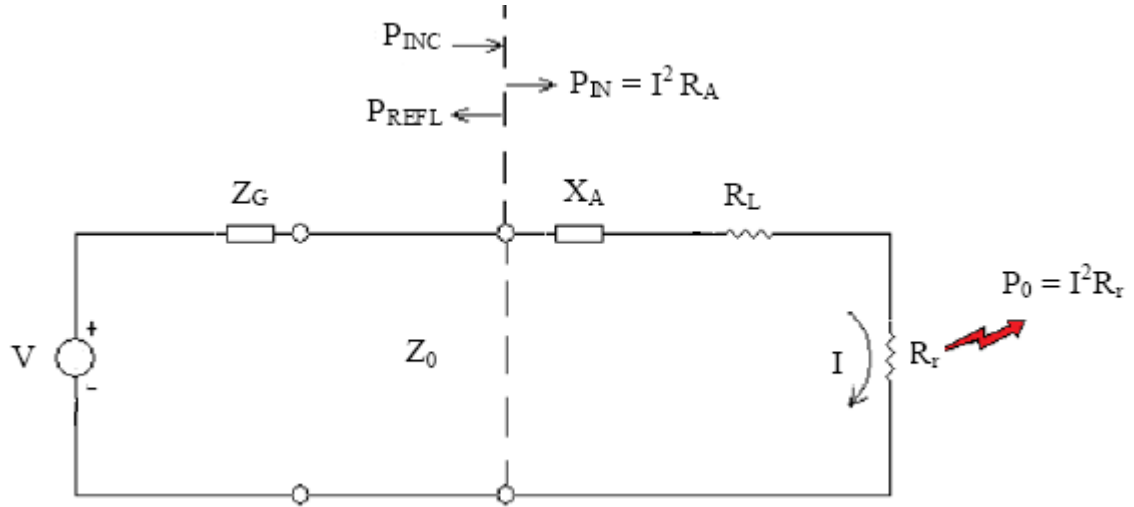
V_R : Alıcı devreye aktarılan gerilim (V)

$Z_R : R_r + jX_R$: Alıcı devre giriş empedansı (ohm)

R_r : Alıcı devre giriş rezistansı (ohm)

X_R : Alıcı devre giriş reaktansı (ohm)

olduğunu göz önüne almalıyız.



Şekil 2.7 - Verici antenin devre eşdeğeri

Verici antenin devre modeli,

V : Verici devrenin çıkış gerilimi (volt)

Z_G : Verici devrenin empedansı (ohm)

P_{INC} : Antenin girişine ulaşan güç (watt)

P_{REFL} : Anten girişinden verici devreye geri dönen güç (watt)

$P_{IN} = P_{INC} - P_{REFL}$: Antenin giriş gücü (watt)

$P_0 = I^2 R_r$: Toplam ışıma gücü (watt)

I : Antenin giriş akımı (amper)

Z_0 : Antene giden hattın karakteristik empedansı (ohm)

olduğunu göz önüne almalıyız.

2.1.3. Anten parametreleri

Tüm anten yapılarında olduğu gibi mikroşerit yama antenlerde de yapının karakteristiği tartışılırken belli başlı anten parametrelerinden söz edilir. Kalite faktörü, bant genişliği ve verimlilik de bunlardan bazılarıdır. Ancak buradaki sorun bu parametrelerin ayrı ayrı ele alınıp arzu edilen seviyelere çekilmesinin mümkün olmayışıdır. Herhangi bir parametre üzerinde yapılacak bir iyileştirme, diğer parametrenin olumsuz etkilenmesine neden olarak anten karakteristiğinin bozulmasına

sebepe olabilmektedir. Kalite faktörü genel anlamı ile anten kayıplarını temsil eder ve ışıma, iletkenlik, dielektrik ve yüzey dalgası kayıplarının bütünü olarak düşünülebilir. Bu nedenle kalite faktörü ϑ_t tüm kayıplardan etkilenir ve aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$\frac{1}{\vartheta_t} = \frac{1}{\vartheta_{rad}} + \frac{1}{\vartheta_c} + \frac{1}{\vartheta_d} + \frac{1}{\vartheta_{sw}} \quad (2.1)$$

ϑ_t = Toplam kalite faktörü

ϑ_{rad} = Işıma (boş uzay) kayıpları kalite faktörü

ϑ_c = İletken kayıpları kalite faktörü

ϑ_d = Dielektrik kayıpları kalite faktörü

ϑ_{sw} = Yüzey dalgaları kalite faktörü

Bahsi geçen kalite faktörlerinin her biri kendine has parametrelere bağlıdır ve bütün yapı düşünüldüğünde en küçük değişikliğin bile kalite faktörünü etkileyeceği gözden kaçmamalıdır. [2]

2.1.4. Anten Polarizasyonu

Polarizasyon, bir elektromagnetik dalganın elektrik alan vektörünün doğrultusudur; bu doğrultu, bir dalganın elektrikselse alanının titreşim düzlemi olarak tanımlanabilir. Elektromagnetik dalgalar yatay, düşey, dairesel ve eliptik polarizasyonlu olabilirler. Bir antenin polarizasyonu ise yayınladığı elektromanyetik dalgaların, uzak alan analizinde baskın kalacak olan elektrik alan vektörünün doğrultusu ile belirlenmektedir. Birbiriyle özdeş olmayan fakat aynı frekans bölgesinde çalışan iki anten kullanılarak veri gönderilmek isteniyorsa, polarizasyonlarının çakıştığından emin olmak gerekir, aksi halde veri iletiminin başarı oranı çok düşük olacaktır.

2.1.5.Etkin Anten Uzunluğu

Bir antenin etkin uzunluğu, elektromanyetik dalga alacak Şekilde devreye alındığında, antenin polarizasyonu doğrultusunda gelen elektrik alanın Şiddeti E, antenin çıkıŐında indüklenen etkin gerilim V_{OC} olmak üzere,

$$h_e = \frac{V_{OC}}{E} \quad (2.2)$$

olarak tanımlanır. Birimi metredir.

2.1.6.Anten IŞıma Faktörü

Bir antenin ışıma faktörü, elektromanyetik dalga yayınlayacak Şekilde devreye alındığında, antenin polarizasyonu doğrultusunda yayınladığı elektrik alan Şiddeti E ve antenin girişine uygulanan etkin gerilim V_R olmak üzere,

$$F_A = \frac{E}{V_R} \quad (2.3)$$

olarak tanımlanır. Birimi (1/metre)'dir.

2.1.7.IŞıma Güç Yoğunluğu

Bir antenin yayınladığı elektrik alanın Şiddeti E, manyetik alan Şiddeti H olmak üzere (tanım uzak alan analizi için geçerlidir),

$$S(r, \theta, \varphi) = \frac{E^2(r, \theta, \varphi)}{120\pi} = 120\pi H^2(r, \theta, \varphi) \quad (2.4)$$

olarak tanımlanır. Uzak alanda E ve H, ölçüm konumunun yer vektörü r olmak üzere, $1/r$ ile orantılı olarak deęiŐtięinden, güç yoğunluğu $1/r^2$ ile orantılı olarak değişir. Birimi ($watt/metre^2$)'dir.

2.1.8. Işıma Şiddeti Yoğunluğu

Bir antenin yayınladığı elektrik alanın şiddeti E, manyetik alan şiddeti H olmak üzere (tanım uzak alan analizi için geçerlidir),

$$U(\theta, \varphi) = r^2 S(r, \theta, \varphi) = r^2 \frac{E^2(r, \theta, \varphi)}{120\pi} = r^2 120\pi H^2(r, \theta, \varphi) \quad (2.5)$$

olarak tanımlanır. Aslında ışıma şiddeti yoğunluğu, ışıma güç yoğunluğunun gözlem konumundan bağımsızlaştırılmış halidir. Bu hali ile antenin birim steradyan başına yayınladığı güç olarak da tanımlanabilir. Yani antenin merkezinde yer aldığı bir küre üzerinde ışıma şiddeti yoğunluğu integre edilir ise, antenin yayınladığı toplam güce ulaşılır. Işıma şiddeti yoğunluğunun birimi ($\frac{watt}{steradyan^2}$) 'dir.

2.1.9. Yönlendiricilik Kazancı

Bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğu $U(\theta, \varphi)$, yayınladığı toplam güç P_0 olmak üzere,

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_0} \quad (2.6)$$

olarak tanımlanan fonksiyona söz konusu antenin 'yönlendiricilik kazancı' denir. Yönlendiricilik kazancı, ışıma şiddeti yoğunluğunun, söz konusu gücü bir izotropik anten yayınlıyor olsaydı, oluşacak olan ışıma şiddeti yoğunluğuna göre normalize edilmesi ile elde edilen fonksiyondur. Zira izotropik anten, gözlem doğrultusundan bağımsız olarak, her yöne aynı ışıma şiddetinde dalga yayınlayabilen anten olarak tanımlanır ve ışıma şiddeti yoğunluğu,

$$U_{iso} = \frac{P_0}{4\pi} \quad (2.7)$$

dir. Kazanç aslında bir tür kuvvetlendirme değil de bütün yönlere ışıma yapsaydı yaşanacak olan kayba nazaran bir kazanç olduğunu anlatmak için kullanılır.

2.1.10.Yönlendiricilik

Bir antenin yönlendiriciliği, yönlendiricilik kazancının maksimum değeri olarak tanımlanır. Antenden antene değişmekle birlikte, belli bir anten için sabit bir değerde, gözlem noktasından bağımsız ve birimsiz bir büyüklüktür. Antenin ana ışıma lobuna aktarabildiği gücün bir ölçüsü olarak önemli bir parametre olmaktadır.

2.1.11.Güç Kazancı

Bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğu $U(\theta, \varphi)$, antene giren güç P_{IN} olmak üzere,

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{IN}} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanan fonksiyona antenin güç kazancı denir. Bu fonksiyon eğer aynı giriş gücü kayıpsız bir izotropik antene gelseydi ortaya çıkacak olan duruma göre varsayılan nispi kazancı ifade eder. Burada empedans uyumsuzluğundan doğabilecek kayıplar göz önüne alınmamış olduğundan devreden bağımsız bir kazanç tanımı mevcuttur (Isıl kayıplar tanıma dahildir). Güç kazancı birimsizdir.

2.1.12. Gerçekleştirilmiş Güç Kazancı

Bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğu $U(\theta, \varphi)$, antene gönderilen toplam güç P_{INC}

$$P_{INC} = P_{IN} + P_{REFL} \text{ olmak üzere,}$$

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{INC}} \quad (2.9)$$

olarak tanımlanan fonksiyona antenin güç kazancı denir. Bu fonksiyon antenin güç kazancını daha gerçekçi hale getirmek için empedans uyumsuzluklarından doğan geri dönüş kayıplarının da hesaba dahil edilmesi sonucu ortaya çıkar. Devreye alınmamış bir anten için tanımlanamayacağı aşikar olan bu büyüklük, anteni besleyecek olan hattın karakteristik empedansına da bağlılık gösterir.

2.1.13. Anten Işıma Direnci

Bir antenin dışarı yayınladığı toplam güç P_0 ve devreden çektiği akımın etkin değeri I olmak üzere,

$$R_r = \frac{P_0}{I^2} \quad (2.10)$$

olarak tanımlanan büyüklüğe antenin ışıma direnci denir. Bu büyüklük, antene verilen akımın, ne kadar güçlü bir dalga yayınlanmasına sebep olduğuna dair bilgi verir. Birimi ohm'dur.

2.1.14. Anten Güç Verimliliği

Bir antene giren güç P_{INC} , antenin yayınladığı toplam güç P_0 , ısı kayıp direnci R_L ve ışıma direnci R_r olmak üzere,

$$\alpha_r = \frac{P_0}{P_{IN}} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.11)$$

olarak tanımlanan büyüklüğe antenin güç verimliliği veya ışıma verimliliği denir. Anten güç verimliliği birimsiz bir parametredir. Tanım aralığı $[0;1)$ 'dir.

2.1.15. Gerçekleştirilmiş Anten Güç Verimliliği

Bir antene gönderilen toplam güç P_{INC} , antenin yayınladığı toplam güç P_0 olmak üzere,

$$\alpha_r = \frac{P_0}{P_{INC}} \quad (2.12)$$

olarak tanımlanan büyüklüğe antenin gerçekleştirilmiş güç verimliliği denir. Gerçekleştirilmiş anten güç verimliliği parametresinde antenin bağlandığı devre ile varabilecek empedans uyumsuzlukları da hesaba katılır. Anten güç verimliliği ile gerçekleştirilmiş anten güç verimliliği arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur.

$$0 \leq \alpha_T \leq \alpha_r < 1$$

2.1.16. Etkin Anten Açıklığı

Elektromanyetik dalga yakalamak üzere devreye alınmış bir antende alınan gücün, gelen dalganın güç yoğunluğuna oranına söz konusu antenin etkin açıklığı denir.

P_R : Alınan güç

S : Gelen dalganın güç yoğunluğu

$$A_e = \frac{P_R}{S} \quad (2.13)$$

Etkin açıklığın birimi metredir.

2.1.17. Maksimum Etkin Anten Açıklığı

Uygun empedans ile devreye alınmış bir antenin etkin açıklığına maksimum etkin anten açıklığı denir. Maksimum etkin anten açıklığı aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$A_{em} = \frac{A_e}{\alpha_r} \quad (2.14)$$

Maksimum etkin anten açıklığının birimi metredir.

2.1.18. Anten Yansıma Katsayısı

Bir antenin girişine ulaşan gerilim V_{INC} , antenden geri dönen gerilim V_{REFL} , Z_A antenin empedansı ve Z_0 antenin besleme hattının karakteristik empedansı olmak üzere,

$$\rho = \frac{V_{REFL}}{V_{INC}} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (2.15)$$

olarak tanımlanan orana antenin yansıma katsayısı denir. Empedans uygun sonlandırılırsa ($Z_A = Z_0$) anten yansıma katsayısı sıfır olur, bu durumda gelen güç tamamen antene aktarılır, sadece antenin ısı kayıplarından dolayı enerji sarfıyatı yaşanır. Eğer antenin iç direnci sıfır olursa, anten yansıma katsayısı -1'e eşit olacak, gelen işaret toplamaya göre tersinerek geri dönecektir. Eğer antenin iç direnci sonsuz olursa, anten yansıma katsayısı 1'e eşit olacak, gelen işaret aynen geri dönecektir. Anten yansıma katsayısı birimsiz bir parametredir.

2.1.19. Anten Gerilim Duran Dalga Oranı (V_{SWR})

Anten giriş empedansı genelde uçlarına bağlanan besleme kaynağının empedansından farklı olduğundan kaynak, iletim hattı ve anten arasında bir empedans uygunsuzluğu söz konusudur. Bu farkın belirlediği oranda antene gelen gücün bir kısmı

geri yansımaktadır. Aynı şekilde kaynak ucunda da bir uyumsuzluk söz konusu olduğundan burada da bir güç yansıması olmaktadır. DDO, anten girişinde geri yansıyan gücü belirten bir parametredir.

Empedans uygunlaştırılması yapılmamışsa bir antene gelen ve antenden yansıyan gerilim dalgalarının süperpozisyonu sonucunda duran dalgalar oluşabilir. Bu durumda oluşan duran dalgada gerilimin maksimum değeri V_{MAX} , minimum değeri V_{MIN} ve anten yansıma katsayısı ρ_V olmak üzere, antenin duran dalga oranı,

$$\Gamma = \frac{V_{MAX}}{V_{MIN}} = \frac{1+|\rho_V|}{1-|\rho_V|} \quad (2.16)$$

eşitliği ile tanımlanır. Uygun empedans ile devreye alınan antenlerde Γ 'nin değeri 1 olur, empedansın en uygunsuz olduğu haller için ise ($\rho_V = -1$ veya $\rho_V = 1$) Γ sonsuza gider. Γ birimsiz bir parametredir.

2.1.20. Geri Dönüş Kaybı

Geri dönüş kaybı, antene gönderilen gücün ne kadarının geri döndüğünün bir ölçüsüdür. Esasında birimsiz olan bu büyüklüğün logaritmik skalaya indirildiğini anlatmak için dB birimi ile anılır. Bir antenin geri dönüş kaybı -9.95'in altına düşmüşse, o anten-, o frekans bölgesinde çalıştırılabilir.

$$L_R = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{REFL}}{P_{INC}} \right) = 20 \log_{10} (|\Gamma|) \quad (2.17)$$

2.1.21. Frekans Band Genişliği

Antenin elektromanyetik dalga yayınlatabildiği veya yakalayabildiği frekans bandının genişliğine frekans band genişliği denir. Antenin geri dönüş kaybının -10^3 'un altında kaldığı frekans bölgesinin maksimum değeri f_{MAX} ve minimum değeri f_{MIN} ise, band genişliği,

$$BW = f_{MAX} - f_{MIN} \quad (2.18)$$

olarak tanımlanır. Bunun yanında bu frekans bandının orta noktasına antenin çalışma merkez frekansı denir ve

$$f_C = \frac{f_{MAX} + f_{MIN}}{2} \quad (2.19)$$

olmaktadır. Band genişliğinin, bu çalışma frekansına göre normalize edilmesiyle elde edilen normalize frekans band genişliği (BW_N) diye bir parametre de mevcuttur.

$$BW_N = \frac{2(f_{MAX} - f_{MIN})}{f_{MAX} + f_{MIN}} \quad (2.20)$$

2.1.22. Açısal Işıma Açıklığı

Antenin bulunduğu yatay düzlemi tarayan ϕ açısının belirli değerleri için yönlendiricilik kazancının maksimum olduğu aralığı içeren ve bu değerlerin yarısına düştüğü noktalarda son bulan açısal bölgedir. Açısal ışımaya açıklığı, benzer şekilde düşey düzlem için de belirlenebilir, pratikte genellikle yatay düzlemde hesaplanır. Bir antenin açısal ışımaya açıklığı ne kadar yüksek ise, o kadar çok yöne işaret gönderebileceği veya o kadar çok yönden işaret yakalayabileceği söylenebilir.

2.1.23.Kayıp Faktörü

Bir antene gelen gücün ne kadarının amaca hizmet etmeyen ışımaya gittiğinin göstergesi olan bir parametredir. Anten beslemesindeki kayıpların yanı sıra, anteni oluşturan parçalar arasındaki geçiş noktalarındaki kayıpların da hesaba katılması ile elde edilir. Buna göre, kayıp faktörü hesap edilirken,

$$L_F = -10 \log \left(\frac{P_{INC} - P_0}{P_{INC}} \right) = -10 \log \left(\frac{P_{INC} - I^2 R_r}{P_{INC}} \right) \quad (2.21)$$

L_F 'nin değerinin büyük olması bir anten için işaretleşme kalitesinin düşük olacağını söyler.

2.2.Anten Çeşileri

2.2.1.Tel Antenler

Tel antenler, geometrilerine göre iki farklı kısım halinde incelenebilir: Doğrusal Tel Antenler ve Eğrisel Tel Antenler.

2.2.2. Doğrusal Tel Antenler

Değişken akımla indüklenen, biri işaret, diğeri toprak ucu olmak üzere iki ucu bulunan, açık devre ile sonlanıyormuş gibi görünen tel antenlere lineer tel antenler denir. En yaygın örneği yarım-dalga dipol antendir. İşaret ucunun tel olup da toprak girişinin iletkenliği yüksek bir metal plakaya bağlandığı halineyse monopol tel anten denir. Analiz bakımından dipol antenden tek farkı daha az akım çekmesi, dolayısıyla daha az gücü elektromanyetik dalgaya aktarabilmesindedir, anten paterni dipolün aynısıdır.

Örnek olarak sonlu büyüklüklü (ℓ) bir dipolün analizi verilebilir. Söz konusu dipolün z eksenine üzerine, besleme noktası orijine gelecek şekilde yerleştirildiğini ve xy

düzleminin dipolü tam ortasından ikiye ayırdığını varsayalım. Dipolü tam ortasından ω açısal frekansına sahip bir sinüzoidal gerilim işareti ile uyarıyor olursak akım dağılımı aşağıdaki gibidir,

$$\vec{I}(\dot{x} = 0, \dot{y} = 0, \dot{z} = 0) = \begin{cases} \vec{e}_z I_0 \sin \left[k \left(\frac{\ell}{2} - \dot{z} \right) \right], & 0 \leq \dot{z} \leq -\frac{\ell}{2} \\ \vec{e}_z I_0 \sin \left[k \left(\frac{\ell}{2} + \dot{z} \right) \right], & -\frac{\ell}{2} \leq \dot{z} \leq 0 \end{cases} \quad (2.22)$$

Bu akım dağılımından yola çıkılarak yapılan hesaplar sonucunda elektrik ve manyetik uzak alanları aşağıdaki formda bulunur.

$$\vec{E}_\theta = i\eta \frac{I_0 e^{-ikr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{k\ell}{2} \cos(\theta)\right) - \cos\left(\frac{k\ell}{2}\right)}{\sin(\theta)} \right] \vec{e}_\theta \quad (2.23)$$

$$\vec{H}_\phi = i \frac{I_0 e^{-ikr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{k\ell}{2} \cos(\theta)\right) - \cos\left(\frac{k\ell}{2}\right)}{\sin(\theta)} \right] \vec{e}_\phi \quad (2.24)$$

E ile H birbirine diktir ve $1/r$ ile orantılı olarak değişmektedir, E'nin genliği, H'nin genliğinin ortamın karakteristik empedansı katıdır. Ayrıca aşıkardır ki antenin paterni dipolün boyu ile doğrudan ilişkilidir.

2.2.3. Eğrisel Tel Antenler

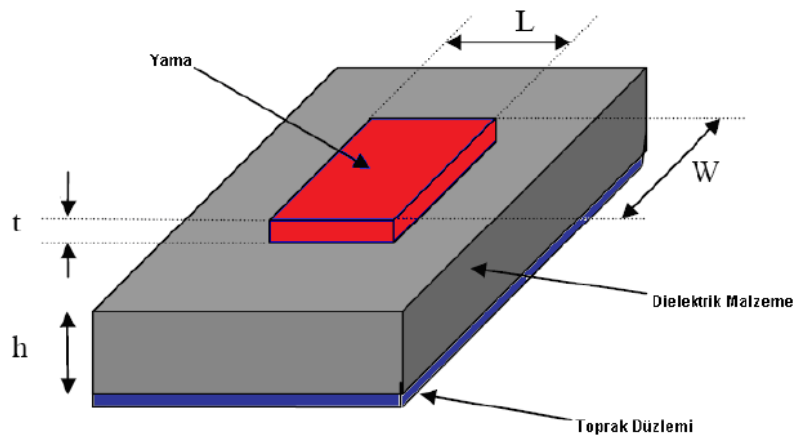
Doğrusal tel antenlerden farklı olarak akımı bir doğru üzerine yerleştiremeyecek bir tel üzerinden akıtmak vasıtası ile elektromanyetik dalga yayınlılar. Bunlara örnek olarak kapalı bir çevrim yapan çevrimsel antenleri (kısa devre ile sonlanıyormuş gibi) ve helix antenleri gösterebiliriz.

2.2.4. Reflektörlü Ve Metalik Lensli Antenler

Bu tip antenler esasında ışımının sağlandığı bir tür dipol veya çevrimsel antenin çevresinin antenin yönlendiriciliğini artıracak şekilde yeniden düzenlenmesi ile elde edilirler. Genel olarak metaller elektromanyetik dalgaları yansıtıkları için, optik yasalarına benzer bir şekilde metal yüzeyler ayna gibi kabul edilerek yapılan tasarımlarla dalgalar toplanıp odaklanarak yönlendiricilik kazancı yükseltilmiş olur. Tek başına bir horn'un, parabolik 'tabağın' veya lensli yapının elektromanyetik dalga yayınlama kabiliyeti mevcut değildir. Bu yüzden bu tip antenleri yardım alan antenler olarak adlandırabiliriz. (Tansarıkaya, 2007)

2.2.5. Mikroşerit Yama Antenler

Mikroşerit yama anten, en temel biçimiyle iki paralel iletkenin ince bir dielektrik profil ile birbirinden ayrılmasıyla oluşur. Üst yüzeyde ışıma amaçlı, alt yüzeyinde topraklama amaçlı paralel iletken metaryaller kullanılır. Bakır veya altın gibi iletkenlik özelliği taşıyan metaryellerin, çeşitli şekilleri baz alınarak farklı özelliklerde ışıyan antenler elde edilebilir. Şekil'de mikroşerit yama antenin yapısı gösterilmektedir. (Özdemir D, 2009)



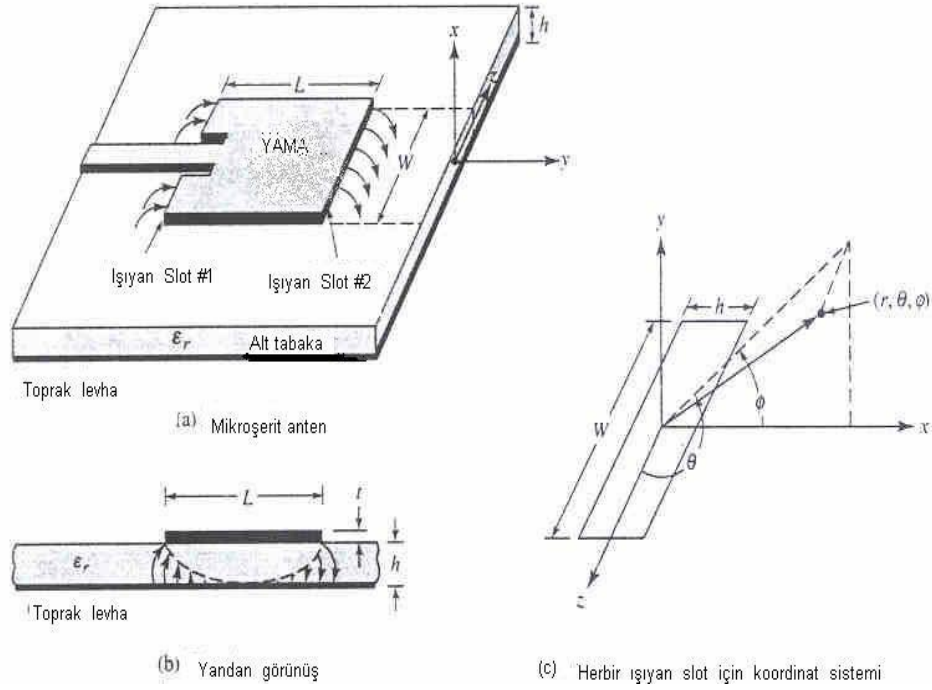
Şekil 2.8 - Mikroşerit yama anten yapısı

2.3. Mikroşerit Yama Anten Yapilari

Mikroşerit yama anten kavramı ilk kez 1953 yılında Deschamps tarafından ortaya atıldı. Daha sonra Gutton ve Baissinot bir mikroşerit antene patent almışlardır. Buna rağmen geniş bir değer aralığındaki dielektrik sabitli, bakır ya da altınla kaplanmış alt tabaka için fotogravür tekniklerinin, kullanılabilir ısıl ve mekanik özelliklerinin, düşük kayıp oranlarının geliştirilerek teorik modelleri kadar iyi pratik antenler üretilene kadar yirmi yıl geçti. Bunun başlıca nedeni iyi dielektrik tabanların mevcut olmamasıdır. Bu tabanların gelişimi ile mikroşerit anten de hızlı bir gelişim içine girmiştir. İlk pratik antenler 1970' lerin başlarında, Howel ve Munson tarafından geliştirildi. O zamandan beri, mikroşerit antenlerin, hafiflik, küçük hacim, ucuzluk, yüzeysel görünüş, baskı devrelere uygunluk gibi sayısız avantajı kullanarak yapılan araştırma ve geliştirmeler; mikrodalga antenlerinin geniş alanında, mikroşerit yama antenlerin ayrı bir dal olarak yer almasına ve değişik uygulamalara kılavuzluk etmesine öncü olmuştur. (Tansarıkaya, 2007)

2.3.1.Mikroşerit Yama Antenler Hakkında Genel Bilgi

Şekil 2.9' da görüldüğü gibi, bir mikroşerit antenin basit görünüşü, alt tarafında bir toprak levhası bulunan dielektrik alt tabaka ile ($2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$) diğer tarafı üstündeki ışınım yapan yamadan oluşur. Mikroşerit anten, mikroşerit transmisyon hatlarının bir uzantısı olarak düşünülebilir. Bu hatlar non-TEM (Enine elektromagnetik) dalgaların iletimine imkan sağlar.



Şekil 2.9 - Mikroşerit Anten ve Koordinat Sistemi

Genelde anten yapısının yama ve toprak kısmı bakırdır. Dielektrik taban ise çok geniş bir aralıkta dalgalanan özelliklere sahip isteğe göre seçilen yalıtkan bir malzemedir. Yama kısım ve toprak kısım birlikte bir iletim hattı oluşturarak quasi-TEM dalgalarla oluşan enerji için klavuz görevi görürler. Dielektrik malzemenin kalınlığı genellikle 0.005 cm ile 0.635 cm arasında değişir. Mikrodalga devreleri için alumina, quartz, PTFE gibi malzemeler kullanılır fakat bunlar pahalı oldukları için genellikle tercih edilmezler. Yüksek frekanslarda entegre devrelerle birleştirilme kolaylığı sağlamak amacıyla FR-4 malzeme kullanılır. Bakır yamanın kalınlığı genellikle 0.035 mm ile 0.070 mm arasında değişir. Dielektrik tabanların elektriksel özellikleri dielektriksabiti ve kayıp tanjantı ile belirlenir. Bu kayıp tanjantı ne kadar büyük olursa anten verimi de o derece düşük olur. Bu nedenle çoğu zaman düşük tanjantlı malzemeler tercih edilir.

Gerçekte, tüm bu sistem, bütün yanal yüzeyi açık olan bir rezonatördür. Mikroşerit antenlerden radyasyon, toprak levhası ve mikroşerit anten iletkeninin kenarı

arasındaki saçak alanlarından yayımlanır. Sınır şartı, ilk yaklaşıklıkla, açık alan yanal yüzeydeki teğetsel Magnetik alan bileşenlerinin sıfır olmasıdır. Böylece, herhangi bir mod için, alan bileşenleri ifade edilebilir. Rezonatör, uygulamada bir mikroşerit hatla beslendiğinden, içinde alt ve üst plakalara dik bir Elektrik Alan bileşeni vardır. Yani bu doğrultu esas alınarak bulunacak çözüm bir TM modudur.

Uzaya ışınlanan alan, rezonatörün çevresindeki alanlar tarafından oluşturulur. Bu sebepten, bu alanların, hassas bir çözümle ifadesi gerekir. Mikroşerit yama antenlerin, anten yapıları içinde önemli bir gelişme ve yenilik sağlamasının asıl nedeni daha çok elektriksel olmayan özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Mikroşerit yama antenler düşük bir profil ve ağırlığa sahiptir, mikrodalga tümleşik devrelerine (MIC) rahatlıkla uyum sağlayabilir. Küçük olmalarından dolayı ve devre elemanlarıyla aynı dielektrik katmanı paylaşabilmeleri nedeniyle kolayca entegre devre yapılarına uyum sağlayabilir ve taşınabilir cihazların boyutlarını büyütmezler. Eğer malzeme ve fabrikasyon giderleri engelleyici değilse sistem çok ucuza mal edilebilir. Elektriksel performansı, tel veya açıklık gibi geleneksel anten sistemleriyle karşılaştırıldığında ise temel mikroşerit antenler: `dar band genişliği`, `yüksek besleme devre kayıpları`, `düşük çapraz polarizasyon` ve `düşük güç kontrolü kapasitesi` gibi dezavantajlara sahiptirler. Detaylı araştırma ve geliştirmeler bu engellerin çoğunun temel mikroşerit elemanlar üzerine yapılabilecek eklemeler ve değişikliklerle yok edilebileceğini veya en azından azaltılabileceğini gösterdi. Yama antenlerin bazı temel özellikleri; düşük profil form faktörü, düşük ağırlık, yüksek olmayan maliyetler, yerleşme yapısı bakımından uyumluluk, düzlemsel devrelere kolay entegrasyon, doğrusal ikili ve dairesel polarizasyon yeteneği ve çok yönlü besleme geometrileridir. Yama antenlerin tüm bu özelliklerine rağmen, bu teknolojinin en kısıtlayıcı yanı temel mikroşerit elemanların band genişliğidir. (Tansarıkaya, 2007)

2.3.2. Mikroşerit Yama Antenlerin Band Genişliği

Dipol, yarık ve dalga kılavuzu anten elemanlarının çalıştıkları band genişlikleri %15–50 arasında değişirken, geleneksel mikroşerit yama elemanlarının çok düşük yüzdeli bir band genişliği empedansı vardır. Alt katman kalınlaştıkça ve dielektrik katsayısı düştükçe band genişliği artar. Her iki eğilim de yama akımının alt katmandaki toprak düzlemindeki negatif görüntüsünün yakınlığı nedeniyle rezonatörün artan Q suyla açıklanabilir. Band genişliği için, düşük dielektrik sabitli kalın bir anten alt katmanı kullanmak tercih edilir. Ancak endüktif yükleme ve düzlemsel mikroşerit devrelerden gelebilecek sahte ışımlar nedeniyle bir mikroşerit anten alt katmanının kalınlığı 0.02λ veya daha düşüktür. Temel elemanın band genişliğinin sınırlı olması, son 15 yılda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları sonunda mikroşerit anten band genişliğinin yükseltilmesi için bir çok tekniğin oluşmasına yol açtı, böylece %10-40'lık empedans band genişliği aşılabildi. Mikroşerit anten band genişliğinin geliştirilmesine yönelik düzinelerce teknik bulunmuştur ve bunları üç kanonik yaklaşıma göre kategorize edebiliriz: uyum devreleri kullanarak empedans uydurma, yığılmış veya parazitik elemanlarla ikili rezonanslar, kayıplı elemanlar ekleyerek verimi düşürme. (Tansarıkaya, 2007)

2.3.3. Mikroşerit Yama Antenleri Besleme Teknikleri

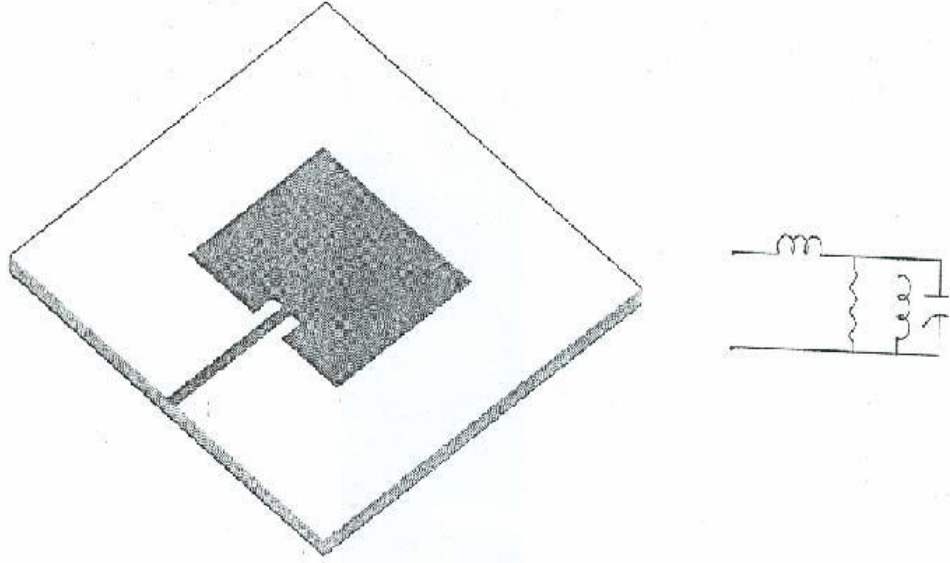
Mikroşerit yama antenlerin pek çoğu, dielektrik alt tabakanın bir yüzünde ışınlam yapan elemanlara sahiptirler, bu nedenle mikroşerit hatla ya da koaksiyel bir hatla beslenebilir. Besleme yöntemi antenin giriş empedansını ve polarizasyonunu belirler. Düzlemsel baskı devre antenleri beslemek için üç adet genel yöntem vardır. Bunlardan birincisi koaksiyel kablo ile beslemektir. Koaksiyel beslemenin avantajı antenin giriş empedansına kolay uydurulması ve pateni bozabilecek parazitik yayılımın en az seviyede olmasıdır. İkinci yöntem mikroşerit hatlarla besleme devresi kurmaktır. Parazitik yayılımı fazla olmasına rağmen bu yöntem kolay üretilmesi nedeniyle tercih edilir. Üçüncü metod ise ayrık kuplaj metodudur. Besleme tekniklerini biraz daha açacak olursak: Yayılım besleme

devresinden ayrı tutulduğu için ilk iki yöntemin avantajlarını içerir. Besleme hattı ve anten arasında genellikle bir uydurmaya gereksinim duyulur, çünkü anten giriş empedansı, alışılmış 50 Ω 'luk hat karakteristik empedansından farklıdır. Uydurma, besleme hattının yerinin uygun şekilde seçilmesiyle yapılabilir. Yine de beslemenin yeri ışıma karakteristiğine etki edebilir. Mikroşerit ve koaksiyel beslemeler için, Green fonksiyonu tekniği, besleme yerinin etkisinin hesaplanması için kullanılabilir. Şekil 2.10'da mikroşerit antenlerin belli başlı besleme teknikleri verilmiştir.

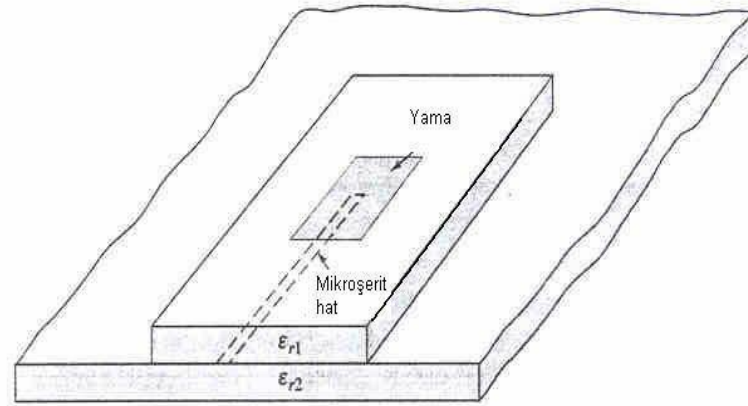
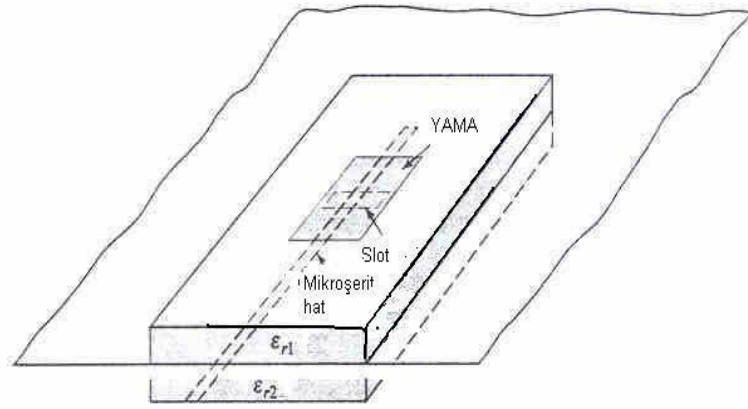
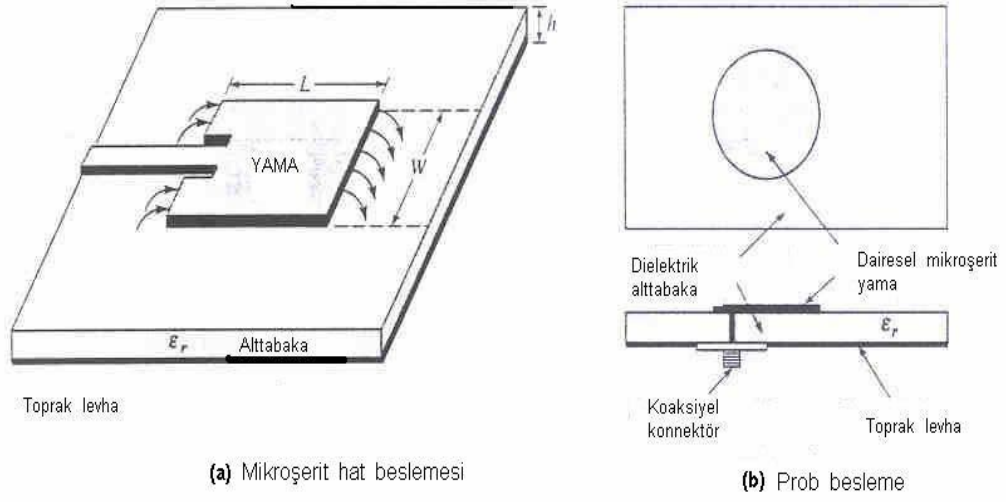
Besleme hattının miktarı rezonansa empedans seviyesini kontrol eder. (Empedans denetimi için koaksiyel prob beslemesinin yerleştirilmesine benzer bir şekilde.) Bu elemanın eşdeğer devresi mikroşerit besleme hattının yakın alan etkisini temsil eden seri endüktans + paralel RLC rezonans devresidir. (Aynı eşdeğer devre probe-beslemeli mikroşerit antenler için de uygulanabilir. Probe ve hat besleme, alanın eşdeğer elektrik akımı ve yama (patch) rezonatörün aynı yöndeki elektrik alanı arasındaki kuplajdan yama elemanını uyarır. Bu, yamanın merkezinin altında bir maksimuma sahiptir. Mikroşerit antenin bir mikroşerit iletim hattıyla beslenebilmesi, elemanın bir diziyle veya aktif devreyle tümleştirilmesinde özellikle yararlıdır. Doğrudan temaslı koaksiyel prob ve mikroşerit hat beslemeleri basitlik gibi bir avantaja sahiptirler fakat bazı dezavantajları da vardır. İnce bir alt tabakadan dolayı bandgenişliği sınırlanmıştır. Buna ek olarak, bu beslemelerin Elektrik alan düzlemindeki asimetrisi çapraz polarizasyona neden olan yüksek dereceli modlar üretmektedir. Koaksiyel besleme durumunda, lehimleme gereksinimi güvenilirliği düşürebilir ve çok sayıda eleman kullanılıyorsa maliyet artabilir.

Bir mikroşerit anten elemanını değişik şekillerde, temas etmeyen, beslemeleri kullanarak da beslemek mümkündür. Şekil 2.10'da gömülü mikroşerit iletim besleme hattını barındıran 2 katmanlı bir alt tabakaya sahip yakınlık (proximity) beslemesi görülmektedir. Işıma yapan yama, mikroşerit besleme hattının üzerine yerleştirilmiş bir alt tabakanın tepesinde bulunmaktadır. Besleme hattı yamanın altında açık devre yan hatla sonlandırılmaktadır. Yakınlık (proximity) kuplajı literatürde elektromanyetik

kuplaj olarak da adlandırılmaktadır fakat bu terim, tüm besleme yöntemlerinin rahatlıkla “elektromanyetik” olarak sınıflandırılabilmesi için düşünülürse, daha az açıklayıcı olmaktadır. Yakınlık kuplajı yamanın, nispeten kalın bir alt tabakanın üzerine yerleştirilmesine imkan verme avantajına sahiptir. Bu band genişliğini iyileştirmektedir. Ayrıca besleme hattı daha ince bir alt tabaka görmektedir. Bu da sahte ısıma ve kuplajı azaltmaktadır. Fabrikasyon, tek tabaka koaksiyel veya hat beslemesinden daha zordur. Bunun nedeni bağın (bonding) ve 2 alt katmanın birleştirilmesini gerektirmektir. (Tansarıkaya, 2007)



Şekil 2.10 - Mikroşerit iletim hattı beslemeli, mikroşerit yama antenin geometrisi ve eşdeğer devresi .



Şekil 2.10 - Mikroşerit Antenleri Besleme Teknikleri

2.3.4. Mikroşerit Yama Antenlerin Uygulama Alanları

Mikroşerit yama antenler, alışılmış mikrodalga antenlere göre çeşitli avantajlara sahip olduğundan pek çok uygulaması 100 MHz – 50 GHz frekans aralığındadır. Mikroşerit antenlerin, alışılmış mikrodalga antenlerine göre belli başlı avantajlarından bazıları şunlardır:

- Hafiflik, küçük hacim ve düşük profilli yüzeysel görünüme sahiptir .
- Düşük üretim maliyeti, kütleli üretim kolaylığı vardır.
- İnce yapılabilir, bundan dolayı taşıyıcı uzay araçlarının aerodinamiğini bozmaz.
- Antenler, büyük değişiklikler olmadan füze, roket ve uydulara kolayca monte edilebilir.
- Bu antenlerin RCS alanı (Radar Cross Section) düşüktür.
- Besleme yerinde küçük değişikliklerle doğrusal ya da dairesel polarizasyon yapılabilir.
- Mikroşerit yama antenler modüler tasarıma uygundur (Modülatörler, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, osilatörler, kuvvetlendiriciler, karıştırıcılar, faz kaydırıcılar gibi yarı iletken elemanlar doğrudan anten alt tabaka katına eklenebilirler).

Bunlarla birlikte mikroşerit antenler mikrodalga antenleriyle karşılaştırıldığında şu dezavantajlara sahiptir:

- Bant genişlikleri dardır.
- Kayıplar nedeniyle kazançları düşüktür.
- Maksimum kazancın pratik sınırları yaklaşık 20 dB' dir.
- Işıma yapan elemanlar ve besleme arasındaki yalıtım zayıftır.
- Boyuna dizi ışımaya performansı zayıftır.
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarım bir uzaya ışımaya yaparlar.

Pek çok pratik tasarım için, mikroşerit antenlerin avantajları, dezavantajlarına göre daha ağır gelir. Araştırma ve geliştirmelerin sürmesi ve mikroşerit anten

kullanımının artmasıyla , mikroşerit antenlerin pek çok uygulama için alışılmış antenlerin yerine eninde sonunda geçmesi beklenebilir. Mikroşerit antenleri içeren belli başlı bazı sistem uygulamaları şunlardır:

- Kablosuz Sistemler,
- Uydu haberleşmesi,
- Silahların otomatik ateşlenmesi,
- Biomedikal ışınlayıcı,
- Çevresel enstrümantasyon ve uzaktan algılama.

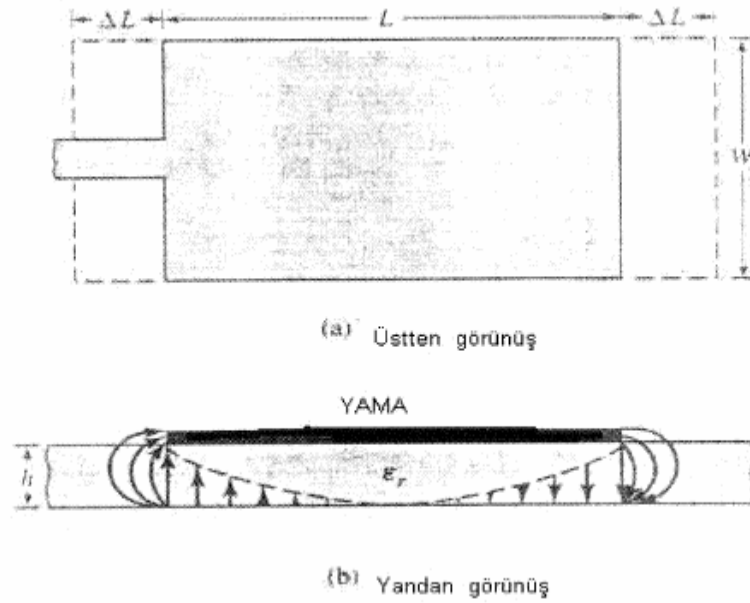
Mikroşerit antenlerin imkanlarının fark edilmesinin artmasıyla, bu uygulamaların sayısı artmaya devam edecektir.

2.3.5.Mikroşerit Yama Anten Analizi

Mikroşerit anten, geniş toprak alan üzerinde, arada dielektrik madde ile desteklenmiş metal parçadan oluşur. Elektromagnetik dalga, üst parçadan toprağa dielektrik madde içinden geçerek saçaklanır. Saçaklanma alanı sonucunda topraktan geri yansıyan dalga boşluğa yayılır. Mikroşerit antenler ince profilli, hafif, ucuz, her türlü yüzeye uygun ve kolay üretilebilir olmaları nedeniyle çok yönlü uygulama alanlarına sahiptir. Özellikle mobil uydu haberleşmesinde alıcı anteni olarak tercih edilir. Bu antenlerin en büyük avantajı dar bantlı ve düşük kazançlı olmalarıdır. Anten bandgenişliği, antenin etkili çalıştığı frekans spektrumu olarak açıklanır. Sayısal olarak ifade etmek için antenin tasarlandığı frekans aralığındaki duran dalga oranı ölçü alınır. Ticari anten tasarımlarında anten band genişliği, duran dalga oranının 1.5:1 sınırını aşmadığı aralık olarak önerilir. Klasik bir mikroşerit anten, merkez frekansının %2-3'ü kadar bir band genişliğine sahiptir. bir kişisel uydu haberleşme sisteminde kullanılan 1.5 ve 1.6 GHz spektrum bandında ayırım % 7'dir. Böyle bir antenin, hem uydu göndermeç hem de almaç bandlarında işlevsel olması mümkün değildir. Örnek olarak L-bandında çalışan artırmak için bir çok teknik kullanılır. Bu tekniklerden birisi dielektrik maddenin kalınlığını arttırmaktır. Bu yöntem,

aynı zamanda anten ve besleme hatlarının boyutunun da artmasını gerektirdiğinden ancak bazı özel uygulamalarda tercih edilir. Band genişliğini geliştiren bir diğer popüler yöntem ise anten üzerine uygun boy ve genişlikte yarıklar açmaktır. Bu yöntem aynı zamanda anten boyutlarının azaltılması için de kullanılan bir yöntem olduğundan uygun tasarlanan bir antenle birçok avantaj elde edilir. Mikroşerit antenleri analiz etmek için de pek çok metot vardır. En yaygın olan modeller: transmisyon hat modeli, rezonatör modeli ve tam dalga (full wave) modelidir. Transmisyon hat modeli, diğer modellerden daha az hesaplama gerektirir, bu yüzden incelikleri daha azdır; pek çok mühendislik uygulaması için uygun sonuçlara ulaştırır, ancak bu yöntemle kuplajı modellemek zordur. Transmisyon hat modeli ile rezonatör modelini karşılaştırdığımızda; rezonatör modeli daha hassas hesaplamalar gerektirir, bununla birlikte iyi fiziksel yaklaşımlar verir, ancak kuplajı modellemek bu yöntemde daha zordur. Tasarım uygulamalarında başvurulan bir diğer modelleme olan tam dalga modellemesi çok yönlüdür; tek elementlere, sonlu ve sonsuz dizilere ve kuplaja uygulanabilmesine rağmen en kompleks model olması ve fiziksel yaklaşımlarının doğruluğunun çok iyi olmamasından dolayı kullanımı pek yaygın değildir. Mikroşerit antenler, alışılmış mikrodalga antenlerine göre daha çok fiziksel parametre ile karakterize edilebilir.

Mikroşerit yama antenler herhangi bir geometrik şekil ve boyutta olabilirler. Buna rağmen tüm mikroşerit antenler üç temel kategoriye ayrılabilirler: Mikroşerit yama antenler, mikroşerit yürüyen dalgalı antenler ve mikroşerit yarıklı antenler. En basit mikroşerit anten, yama biçimi Şekil 2.12'de görülen, kuşkusuz arkasında toprak levhası olan ince bir dielektrik alt tabaka üstündeki iletkenle oluşan temel anten elemanıdır. En yaygın olarak kullanılan yapıdır. Yapının sadeliği, dikdörtgen mikroşerit antenin ışınım karakteristiğini saptamak için çok sayıda deneme ve araştırmaya yol göstermiştir. Bu en basit mikroşerit anten yapısını incelemek amacıyla bu bölümde seçtiğimiz model, transmisyon hat modelidir. (Tansarıkaya, 2007)



Şekil 2.12 - Dikdörtgen Mikroşerit Yama

2.4. WiMAX IEEE Standartları

IEEE Standartlar Bürosu 1999 yılında WirelessMAN adı ile bilinen dünya genelinde kablosuz metropol alan ağını yaygınlaştıracak çalışmaları yürütmesi için IEEE 802.16 çalışma grubunu kurdu. Bu çalışma grubu (IEEE 802 LAN/MAN Standartları Komitesi olarak bilinir) 802.16 standartların belirleyecek ancak üretilen ürünlerin testlerini yapmayacaktı. Bu testleri yapacak ve şirketler arasında işbirliğini artıracak WiMAX Forum adı altında bir endüstriyel bir çalışma grubu 2001 nisan ayında kuruldu. WiMAX , “Worldwide Interoperability for Microwave Access” kelimelerinin kısaltmasından oluşmaktadır. WiMAX Forumun¹ amacı IEEE 802.16 standartlarını destekleyen geniş bant kablosuz iletişim cihazlarının birlikte çalışabilirlik yeteneklerini sertifikalaştırmak ve bu teknolojinin gelişmesi için katkı sağlamaktır. Bu nedendir ki bu geniş bant kablosuz iletişim teknolojisi IEEE 802.16 ismi ile değilde WiMAX ismi ile daha çok anılmaktadır. (Tanrıku, 2008)

IEEE'nin 802.16 WirelessMAN grubu IEEE 802.16-2001, ilk standardı, Aralık 2001 kabul etti ve Nisan 2002'de 10-66 GHz frekans bandı olarak yayınladı. Bu yayınlanmış standart kablosuz erişim teknolojinin metropol alanlarda kullanılması öngörüyordu. Dolayısı ile IEEE 802.16 standardı ve uygulanan teknoloji WiMAX ile yüksek veri iletim hızlarında büyük kapsama alanlarında çok sayıda kullanıcıya hizmet verilmesi hedeflenmektedir. Böylece mevcut DSL (sayısal abone hattı), kablo ve Wi-Fi teknolojilerine alternatif olarak kırsal alanlarda kapsamının oluşturulamadığı ve /veya zayıf olduğu bölgeler ile gelişmekte olan bölgelere yüksek hızlarda telsiz haberleşme imkanı sağlanacaktır. Mevcut telsiz teknolojilerle WiMAX teknolojisinin rekabeti gerçek yüksek hızlarda haberleşme ve haberleşme menziline büyümesi olarak gözükmektedir. (Tanrıku, 2008)

Ancak bu frekans aralığı için doğrudan görüş hattı (LOS) gerektiğinden, görüş hattı sağlanamayan ihtiyaçlara cevap veren IEEE 802.16a versiyonu Nisan 2003'te yayınlanmış ve bu versiyondaki frekans aralığı 2-11 GHz'e düşerek lisanslı ve lisanssız olarak kullanılabilir hale gelmiştir. Bu standart, sabit uygulamalar için kablosuz metropol alan ağ teknolojisine odaklanmıştır. Bu teknoloji bir dış anten yardımı ile noktadan çok noktaya (PMP) erişim altyapısını kullanmaktadır. Bu uygulama bant genişliğini 70 Mbps'den en yüksek noktası olan 268 Mbps kadar ulaşılacak bir veri hızını sağlamaktadır.

IEEE'de WiMAX için halihazırda kullanılan standart versiyonu, Haziran 2004'de onaylanan ve IEEE 802.16-2004 olarak da bilinen IEEE 802.16d ve WiMAX'e mobilite özelliğini kazandırmak amacıyla Aralık 2005'de onaylanarak yayınlanan IEEE 802.16e şeklinde bilinmektedir. ETSI ise 2-11 GHz frekans bandı için Avrupa'daki kablosuz şebeke iletişimini tanımlayan ve 802.16 ile aynı olan standardını Kasım 2003'te onaylayarak yayınlamıştır. Sabit, göçebe, taşınabilir ve mobil erişimleri destekleyen WiMAX, 1.25 MHz'den 20 MHz'e kadar bant genişliklerini desteklemektedir. 802.16d versiyonu ile 20 MHz bant genişliğinde 75 Mbps hıza ulaşırken, mobilite özelliğinin eklendiği 802.16e versiyonu ile de 10 MHz bant genişliğinde 30 Mbps hıza ulaşabilmektedir.

İleri hata düzeltme yeteneği, mesafeyi ve kapasiteyi artırmak için kullanılan gelişmiş anten teknikleri desteği, geleneksel TDM (Zaman Bölmeli Çoklama) ses trafiği veya Voice over IP (VoIP, IP üzerinden ses aktarımı) ile video'da ideal taşıma ve veri trafiğinin önceliği gibi gecikme duyarlıklı hizmetler için düşük gecikme süresi sağlamaktadır. Ayrıca kişisel güvenlik ve şifreleme özellikleri ile güvenli iletim desteklenmekte ve kimlik denetimi ile veri şifrelemesi sağlanabilmektedir.

IP tabanlı bir teknoloji olması sayesinde de hem fiber optik bağlantılar, kablolu modemler kullanan koaksiyel sistemler ve DSL bağlantılar gibi kablolu şebekelere hem de 3G şebekelere entegre olabildiğinden çeşitli şekillerdeki hizmet ve şebekelerin yakınsamasını da desteklemektedir. Bu da her zaman her yerde uygun erişimle, kullanıcıların bilgi, eğlence ve multimedya iletişim taleplerinin karşılanması anlamına gelmektedir. Ayrıca wi-fi ile entegrasyonu ile ev-büro içerisinde tam bir kablosuz erişim sağlamaktadır. Telkolar WiMAX teknolojisini son noktadaki kullanıcıları için tercih etmektedirler. Çünkü uzak mesafedeki bu son noktadaki kullanıcılara geniş bant hizmetini ancak kablosuz bir iletişim ile verebilirler. Mobil operatörler ise WiMAX göz ardı edemezler. Mobil operatörler kendi iç ağlarında WiMAX'e entegre olmaya çalışacaklardır. WiMAX IP sürüm 6'yı desteklemektedir. Bu da kablosuz olarak IP olarak çalışan ev – büro cihazlarının uzaktan kontrol edilmesine olanak sağlayacaktır. WiMAX, hem zaman bölmeli çiftleme (TDD) hem de frekans bölmeli çiftleme (FDD) tekniklerini kullanabilirken, 802.16d versiyonunda dikey frekans bölmeli çoklama (OFDM), 802.16e versiyonunda ise ölçeklenebilir dikey frekans bölmeli çoklama (SOFDM) tekniği kullanılmaktadır. WiMAX teknolojisinin en önemli özelliklerinden biri olan, tüm ekipmanların birbiriyle çalışabilirliğini teminen, halihazırda İspanya/Malaga'daki laboratuvar testleri sonucunda verilen WiMAX Forum sertifikasyonu işlemi ise Temmuz 2005'de başlamıştır. Şu anda aktif standartlar farklı gruplar tarafından yürütülmektedir.

Aşağıda yürütülen çalışmalar sıralanmıştır:

1 . Aktif Standartlar

- a. IEEE 802.16e-2005
- b. 802.16f – Yönetimsel Bilgi Tabanı

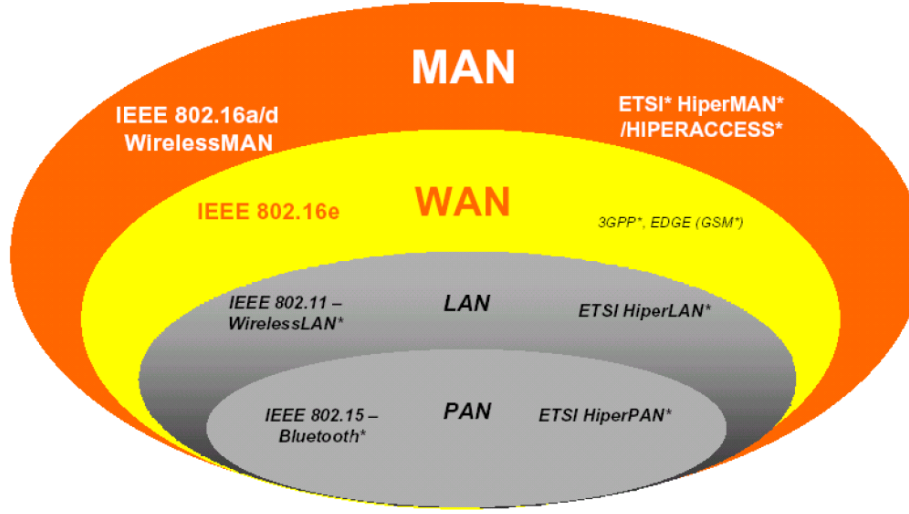
2. Geliştirme Aşamasındaki Standartları

- a. 802.16g – Yönetimsel İşlevler ve Servisler
- b. 802.16k- Köprüleme
- c. 802.16h- Lisansız Erişim İşlemleri için Bir arada çalışma mekanizmasının geliştirilmesi

3. Ön çalışmaları Yapılan Projeler

- a. 802.16i – Mobil Yönetimsel Bilgi Tabanı
- b. 802.16j- Mobil Çokkatlamalı Geçikme

Kısaca WiMAX doğrudan görüş hattı içerisinde bulunmayan (NLOS) alıcı-verici arasında büyük miktarlarda veriyi büyük mesafelere ileten telsiz geniş bantlı haberleşme standardında çalışan sistemdir. Kablo altyapısının olmadığı bütün bölgelerde çalışabilir ve uygulanabilir olmasının yanı sıra mevcut hücreli haberleşme sistemleri ve Kablosuz Ağ (Wi-Fi) sıcak noktaları ile uyumlu çalışması hedeflenmektedir. WiMAX'in uyumlu çalışması hedeflenen telsiz haberleşme standartları şekil 2.13'de verilmektedir.



Şekil 2.13 - WiMAX Standartları [4]

3. WiMAX Standartları Yeni üretilen teknolojiler için standartların geliştirilmesi, teknolojinin pratik kullanımı, mevcut sistemlerle birlikte çalışılabilirliği ve uyumu düşünülerek gerçekleştirilmektedir.

WiMAX Standartları ve Özellikleri:

802.16 a: 2-11GHz frekans aralığını kullanan, sabit bilgisayarlar arasında telsiz internet erişimini sağlayan standart olarak geliştirilmiştir. KabloNET ve DSL'in ulaşamadığı noktalar için uygulanma alanı bulmuştur. Haberleşme için alıcı-verici sistemler arasında doğrudan görüş (LOS) koşullarına gerek duymaz. Söz konusu standart 2.5GHz, 3.5GHz ve 5.8GHz frekanslarının kullanılması ile 50km uzaklıklarda bile 70Mb/s bant genişliğinde internet erişimine olanak tanımaktadır.[5]

802.16 b: Kullanılan spektrum artırılarak 5-6GHz frekans bandına çıkarılmıştır. QoS desteği sağlanmıştır. Böylece WiMAX'in gerçek zamanlı ses ve video uygulamalarında yüksek performansla çalışması mümkün olmaktadır.

802.16 c: 10-66GHz frekans aralığında çalışan WiMAX standardıdır. Farklı üreticilere ait sistemlerin bir arada çalışmasına olanak tanır.

802.16 d: 2003 yılında hazırlanan bu standart 802.16 a standardının eksik (802.16-2004) özelliklerini tamamlamak üzere geliştirilmiştir. Bu standartla alıcı-verici haberleşmesi için doğrudan görüş hattının gerektiği ve gerekmediği koşullarda haberleşme mümkün olmaktadır. Standart OFDM çoğullama tekniğini kullanmaktadır.

Standart	802.16	802.16 a/REVd	803.16 e
Standart Yılı	Eylül 2001	802.16a Haziran 2003 802.16REVd Eylül 2004	2005
Frekans Spektrumu	10-66GHz	<11GHz	<6 GHz
Haberleşme Özelliği	Doğrudan görüş hattı gerektirmekte	Doğrudan görüş hattı gerektirmemekte	Doğrudan görüş hattı gerektirmemekte
Bant Genişliği	28MHz'de 32-134Mbps	20MHz'de 75Mbps	5MHz'de 15Mbps'a kadar çıkabilir
Modülasyon	QPSK,16QAM, 64QAM	OFDM 256, OFDMA, 64QAM,16QAM, QPSK, BPSK	OFDM 256, OFDMA, 64QAM,16QAM, QPSK, BPSK
Hareketlilik	Sabit uygulamalar	Sabit ve taşınabilir uygulamalar	Hareketli uygulamalar
Kanal Bant Genişliği	20,25 ve 28MHz	1.25-20MHz arasında seçilebilir bant genişliği	1.25-20MHz arasında seçilebilir bant genişliği
Hücre Yarıçapı	1.6-5 km	5-8 km Kule yüksekliği, verici gücü ve anten kazancına bağlı olarak 50km'ye kadar hizmet verebilir.	1.6-5 km

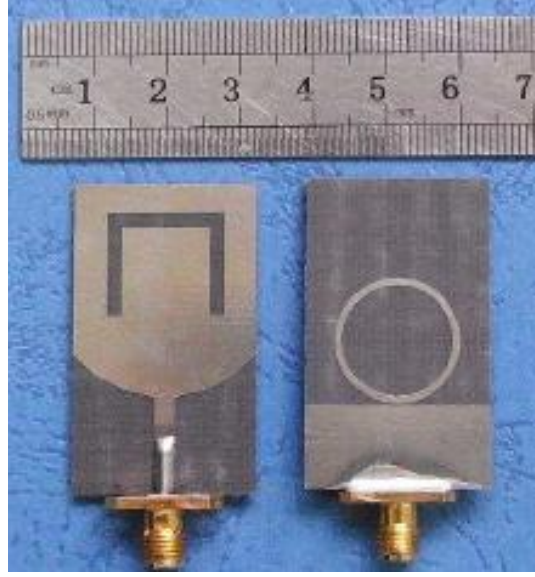
Şekil 2.14 - WiMAX Standartlarının Özellikleri [3]

802.16 e: Önümüzdeki birkaç yıl içinde hazır olması ve ticari olarak kullanıma sunulması planlanan bu standartla, sabit ve hareketli sistemler arasında haberleşme mümkün olacaktır. Hareketli sistemler arasında haberleşmenin sürekliliğinin sağlanabilmesi için hızlı aktarma teknikleri bu standartla sağlanmış olacaktır. Söz konusu standartta belirlenen çalışma aralığı 2.3GHz ve 2.5GHz'dir. Diğer taraftan bu standartla hareket halinde otobüs, tren vb. koşullarda dizüstü bilgisayarlar ve PDA (kişisel asistanlar) ile internet erişimi hedeflenmektedir. Yukarıda belirtilen standartlar arasından belgelendirilerek ticari kullanıma sunulacak olanlar IEEE 802.16d ve 802.16e standartlarıdır. Bir başka deyişle WiMAX farklı kullanıcı taleplerini karşılayabilmek için sabit erişim ve hareketli erişim olmak üzere iki farklı standartla kullanıma

sunulacaktır. Standartların haberleşme özellikleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi şekil-3’de verilmektedir. (Tanrıkulu, 2008)

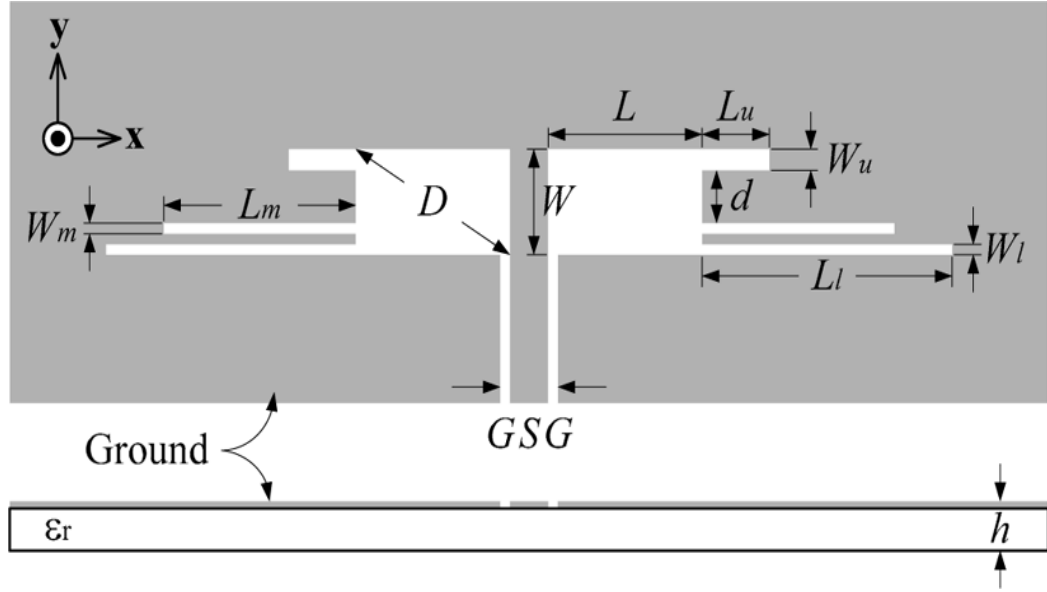
2.5. L Şelinde Ve Delik Açılarak Tasarlanan Mikroşerit Yama Antenler

Daha önceki araştırmaları incelediğimizde rezonans frekansını arttırmak için mikroşerit yama antenin gövdesinde delikler açıldığını gördük. aşağıda resmi verilen WiMAX standartlarına uygun olarak 2 GHz ile 6 GHz arasında çalışan bir mikroşerit yama antendir. (S.-T. Fan ,2010)



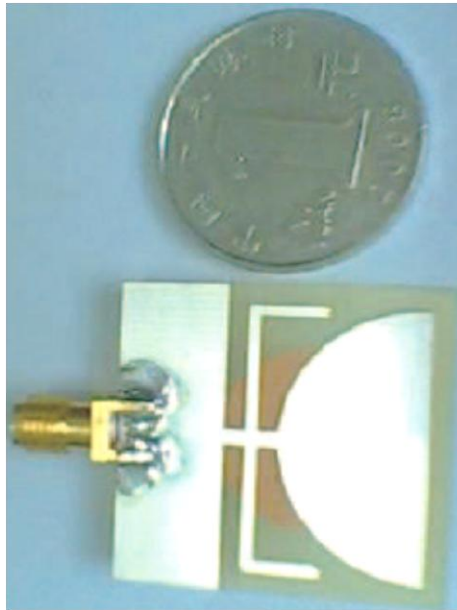
Şekil 2.15 - Antenin gövdesinde delik açılarak rezonans frekansı arttırılan anten

Antenin geometrik yapısı ve kapsama alanının ve diğer bütün parametrelerin belirlenmesinde dielektrik kalınlık önemli rol oynar.



Şekil 2.16 - 3 rezonanslı delikli anten

Bu örnekte dikdörtgen ve simetrik bir yapı görüyoruz. Bu yapı da üç farklı uzunlukta paralel çiftler görünmektedir. Bu örnek bizim örümcek mimarisine benzemekle beraber geometric olarak bacakları düz ve antenin farklı noktalarındadır. Bu antende örümcek yapılı antenimize benzerlik göstermektedir. Yaklaşık -20 dB'lik üç rezonansı vardır ve 2 GHz – 6 GHz civarında çalışır. (Shih-Yuan Chen, 2008)

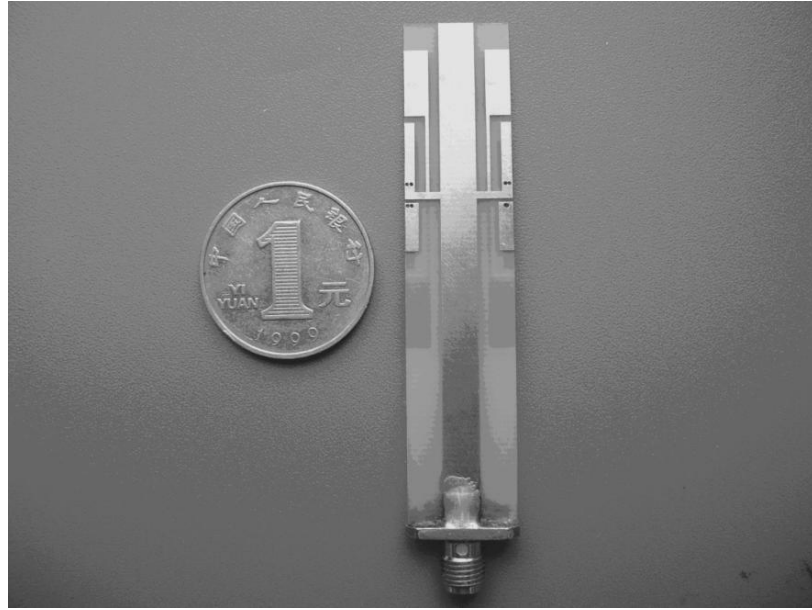


Şekil 2.17 - L bacaklı antenin üstten görünümü

Araştırmalarımız doğrultusunda ana gövdeye eklenebilecek diğer L şeklinde bacakları da başka araştırmacıların da kullandığını gördük.

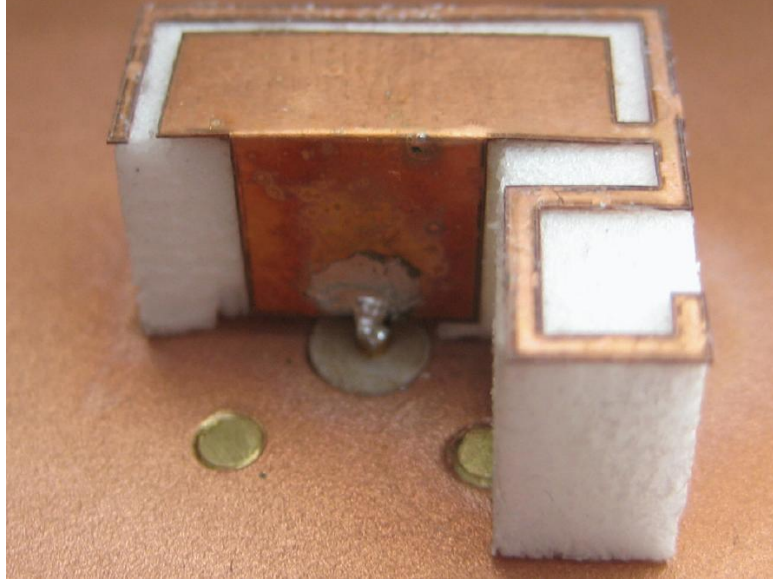
Bu tasarımıda L şeritlerindeli ufak oynamalar çok kuk frekans kaymalarına sebep olmuştur. (L. H. Wen, 2007)

Görüldüğü üzere aşağıdaki örnekten de yine 3 rezonans sağlayan ve farklı ölçülerde sağ ve sol tarafında L bacaklara sahip olan bir anten rneği vardır. (Y.-J. Wu, 2007)



şekil 2.18 - Antenin stten görünümü

Yine antenimizle benzer özellikler gösteren bir anteni aşağıda inceleyebiliriz. Burada da J şeklinde bacaklar eklenmiş antenin gövdesine. Antenin band genişliği ise % 30 civarındadır. (M. Koubeissi, 2009)



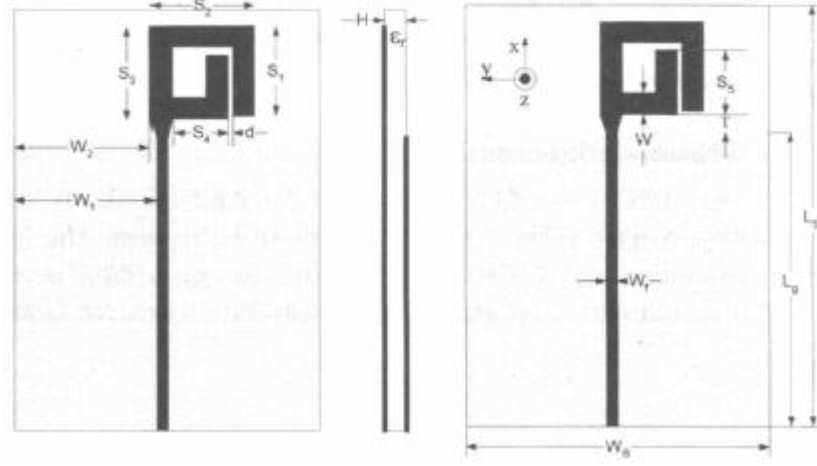
Şekil 2.19 - L ve J şeklinde ek ve delikleri bulunan antenin üstten görünümü

Dört rezonanslı mikroşerit yama antene bir örnekte aşağıdaki gibidir. Burada da görüldüğü gibi U şeklinde slotlar açılmış antenin gövdesine. Bu açılan delikler sayesinde antenin kazancı %30 civarında bir artış gösterdi. Bu örnekte farklı olarak dielektriğin altında köpük kullanılmış. Bu da fabrikasyon esnasında bizim uygulayabileceğimiz örneklerden bir tanesi.(Dalia Mohammed Nashaat, 2005)



Şekil 2.20 - U şeklinde delikler açılmış antenin üstten görünümü

Şekil 2.21’de gösterilen WLAN sistemlerde ideal olarak kullanılabilen çok bandlı bir mikroşerit yama antendir. Bu antende dünya çapında Kabul göre IEEE standartlarına uygun olarak 2 GHz ile 6 GHz arasında çalışır. Bu antenin dielektrik malzemesi FR4’tür. Antenin beslemesi 50 ohm’luk mikroşerit hat ile beslenir. (Yuehe Ge, 2005)



Şekil 2.21 – L şeklinde tasarlanan antenin geometrik görünümü

Kablosuz haberleşme sistemlerinde tasarım mühendisleri tarafından Bluetooth ve WiMAX gibi çeşitli standartlar ve protokolleri destekleyen sistemler geliştirildi. İlk başta iki rezonansı bulunan bu anten yapısındaki parametrelerin modifiye edilmesiyle yani açılan deliklerin eni ve boylarıyla oynanması tasarlanan antenin değişik frekans bandlarında da çalışmasını sağlayabildi dielektrik elemanı olarak RO4003 kullanılmış. Antenin çalışma aralığı ise 2 GHz ile 6 GHz’dir. (M. Roshanaei†, 2005)



Şekil 2.22 – L şeklinde tasarlanan antenin geometrik görünümü

3. DÖRT REZONANSLI MİKROŞERİT YAMA ANTENİN TASARIM ADIMLARI

Bu bölümde anteni hangi elektromanyetik programı ile tasarladığımızı ve tasarım adımlarını inceleyeceğiz.

Anteni tasarlarken kullandığımız Sonnet üç boyutlu elektromanyetik simülasyon yazılımı, Dr. Rautio tarafından bulunmuş ve 1983'ten beri geliştirilmeye devam etmektedir. Bu yazılım Sonnet Software Inc. adı altında New York'ta özel bir şirket olarak elektromanyetik alanında ticari amaçla dünya çapında da kullanılmaktadır. Anten tasarımının yanısıra kuplör, filtre, transmisyon hatları gibi elektromanyetik ile ilgili birçok ortam ve elektronik eleman tasarımı yapılabilmektedir. Dünya çapında kullanılan bir diğer elektromanyetik programlama örnekleri ise ANSYS ve FEKO'dur. Örnekler arttırılabilir.



Şekil 3.1 - Sonnet yazılımının logosu

3.1. Anten Tasarımının 1. Adımı

Anten tasarımına başlarken IEEE'de yayınlanan makaleleri incelendi. Yama anten tasarımı ve L şeklinde ek ekleme stilleri ile daha optimize sonuçlar elde edildi. Bunun doğrultusunda örümceğe benzeterek öncelikle bir mikroşerit yama anten tasarlandı. Anten dikdörtgen bir geometriye sahip olduğu için dikdörtgen bir kutuda tasarıma başlandı (X=22000 mil, Y=42000 mil). Tasarlanan antenin boyutları ise 1120x1440 mil'dir. Antenin dielektriği Arlon Foam Clad olarak seçildi ($\epsilon_r = 1.25$).

Bunun sonucu olarak ilk başa düşük kazanç elde edildi. Daha sonra tasarımın gerçekleştirilmiş olduğu kare kutunun boyutlarıyla oynandı, Tablo 3.1’de görüldüğü gibi daha iyi sonuçlar elde edildi.

Dielektrik kalınlıkları, incelenen örneklerde rasgelenen kalınlıklara benzer seçildi. Sırasıyla 30, 60, 80 ve 120 mil değerleri incelenen dielektrik kalınlıklarıdır. Dielektrik kalınlıkları sabitlendikten sonra propla beslenen antenin besleme noktasındaki referans noktaları değiştirildi.

Referans noktaları ise sırasıyla 9900, 10000, 10100 ve 10200 mil olacak şekilde değiştirildi. Bütün referans değerleri için en uygun dielektrik kalınlığı 80 mil olarak bulundu. Buna göre kazanç, empedans değerleri, geri dönüş kayıpları ve taşıyıcı frekansları bulundu. Referans değerlerine göre bu parametrelerde bazı değişiklikler oldu. Tablo 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4’te bu değerler verildi.

Dielektrik Kal. (mil)	Kazanç(dB) (0^0)	Z_{in} (gerçel) (Ω)	Z_{in} (imajiner) (Ω)	S_{11} (dB)	f_c (Ghz)
30	6.89	48.37	-19.23	-13.36	6.45
60	7.61	42.7	5.88	-19.64	5.71
80	7.61	54.6	0	-27	5.69
120	6.48	75	4.72	-25.25	6.88

Tablo 3.1 - Referans 9900 mil

Dielektrik Kal. (mil)	Kazanç(dB) (0^0)	Z_{in} (gerçel) (Ω)	Z_{in} (imajiner) (Ω)	S_{11} (dB)	f_c (Ghz)
30	9.8	34.72	9.70	-12.7	7.04
60	7.6	42.6	0.49	-21.93	5.72
80	7.53	56	2.67	-22	5.71
120	7.15	88	0	-11.13	5.68

Tablo 3.2 - Referans 10000 mil

Dielektrik Kal. (mil)	Kazanç(dB) (0^0)	Z_{in} (gerçel) (Ω)	Z_{in} (imaginer) (Ω)	S_{11} (dB)	f_c (Ghz)
30	10.03	36	-5	-15.07	7.05
60	7.67	44	0.38	-22.81	5.76
80	7.35	58	4.5	-21.11	5.75
120	6.85	95	-3.7	-10.12	5.71

Tablo 3.3 - Referans 10100 mil

Dielektrik Kal. (mil)	Kazanç(dB) (0^0)	Z_{in} (gerçel) (Ω)	Z_{in} (imaginer) (Ω)	S_{11} (dB)	f_c (Ghz)
30	10.28	35	-5	-14.8	7.07
60	8.01	38.3	-2	-17.38	5.8
80	7.84	50.95	-0.16	-40.377	5.795
120	2.26	82	12	82	5.78

Tablo 3.4 - Referans 10200 mil

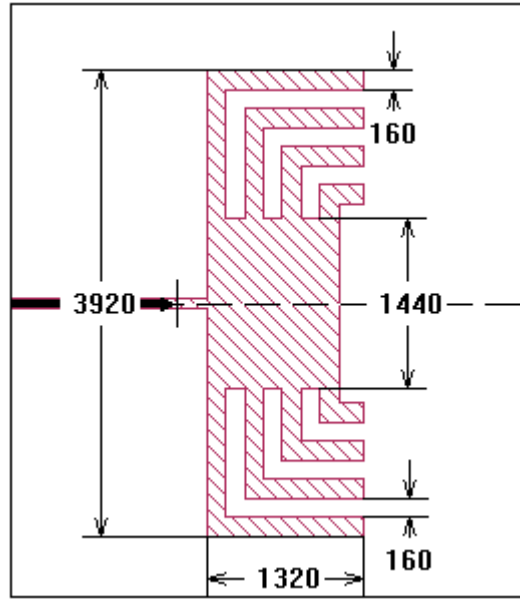
Elde edilen en iyi sonuç görüldüğü gibi besleme referans noktası 10200 mil seçildiğinde, 5.795 GHz’de taşınan bilgi, antenin dielektrik kalınlığı 80 mil iken maksimum kazancı 7.84 dB, giriş empedansı gerçel değeri 50 ohm, giriş empedansının imajiner değeri 0, geri dönüş kaybı -40 dB olarak gözlemlendi.

Referans değeri 9900 mil iken taşıyıcı frekans 5.69 GHz oldu. Sırasıyla referans noktaları 10000, 10100 ve 10200 mile çektildiğinde taşıyıcı frekanslarda sırasıyla 5.71 GHz, 5.75 GHz ve 5.795 GHz’e ulaştı. Bu arada tabloda gösterildiği gibi çok düşük frekans kaymaları oldu taşıyıcı frekansta.

Dielektrik Kalınlığı (mil)	f_c (GHz) Ref. 9000 (mil)	Frekans Kayması (MHz)	f_c (GHz) Ref. 10000 (mil)	Frekans Kayması (MHz)	f_c (GHz) Ref. 10100 (mil)	Frekans Kayması (MHz)	f_c (GHz) Ref. 10200 (mil)
80	5.69	20	5.71	40	5.75	45	5.795

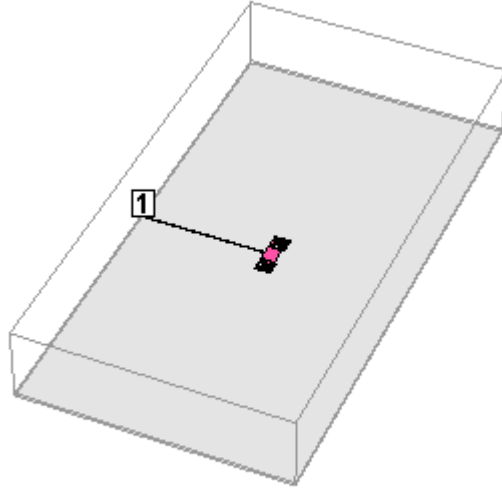
Tablo 3.5 - Farklı referans noktalarındaki frekans kaymaları

Aşağıdaki şekilde tasarlanan yandan beslemeli mikroşerit yama antenin üstten görünümü verilmiştir.



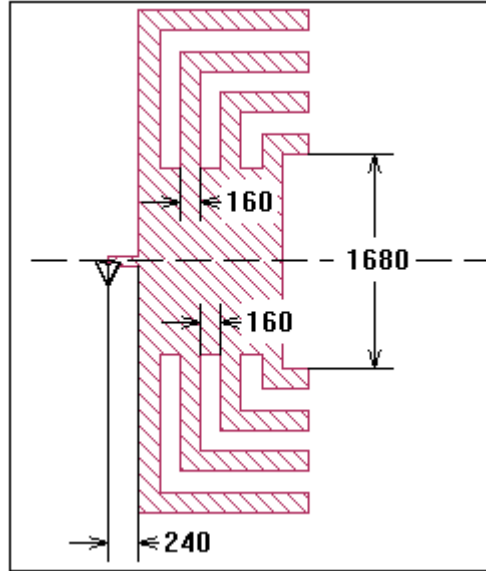
Şekil 3.2 – Yandan prop ile beslemeli antenin üstten görünümü

Şekilde görüldüğü gibi anten ilk denemede yandan referans noktası belirlenerek prop ile beslenmiştir. Antenin ölçümleri mil cinsinden ifade edilmiştir.



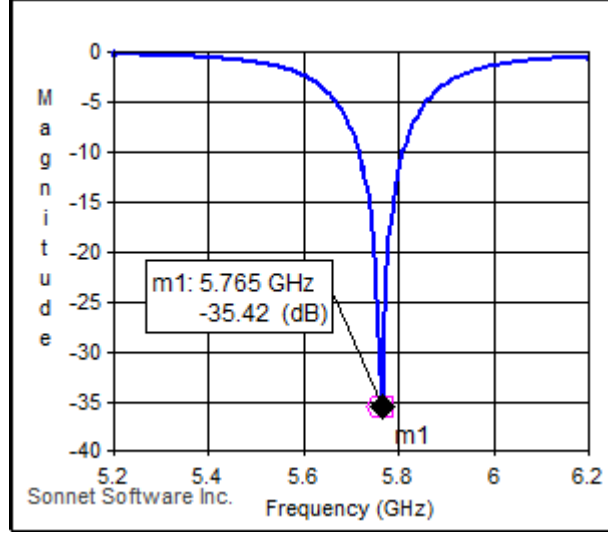
Şekil 3.3 - Yandan prop ile beslemeli antenin 3 boyutlu üstten görünümü

Bu değerleri elde edildikten sonra antenin besleme noktaları ile oynandı. Öncelikte anteni besleyen uzun probu kısaltmak denendi.



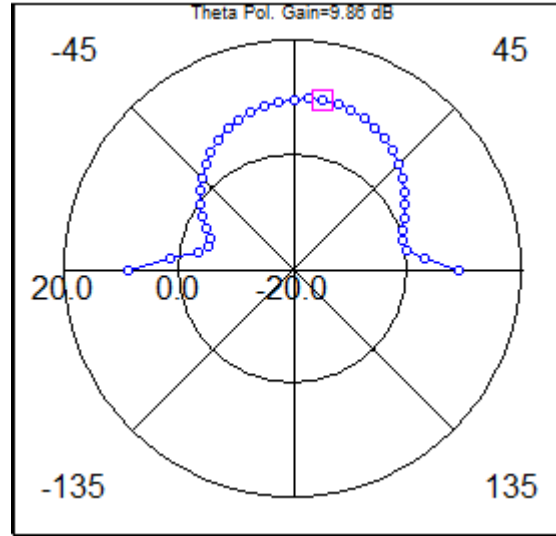
Şekil 3.4 - Köşe beslemeli antenin üstten görünüm

Bir çok denemeden sonra elde edilen en iyi sonuçlar aşağıda aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.5 - Köşe beslemeli antenin geri dönüş kaybı

Şekilde görüldüğü gibi 5.765 GHz’de -35 dB’lik bir geri dönüş kaybı elde edildi. Elde edilen -50 ve +50 theta polarizasyonlu kazanç değerleri ise tabloda verilmiştir.



Şekil 3.6 - Köşe beslemeli antenin malsimum kazancı

θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5
Kazanç(dB)	0.31	2.50	4.43	4.09	5.87	6.58	6.66	8.12	7.38	8.95
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Kazanç(dB)	2.24	4.59	7.23	5.03	7.92	7.65	7.88	8.90	7.95	9.23

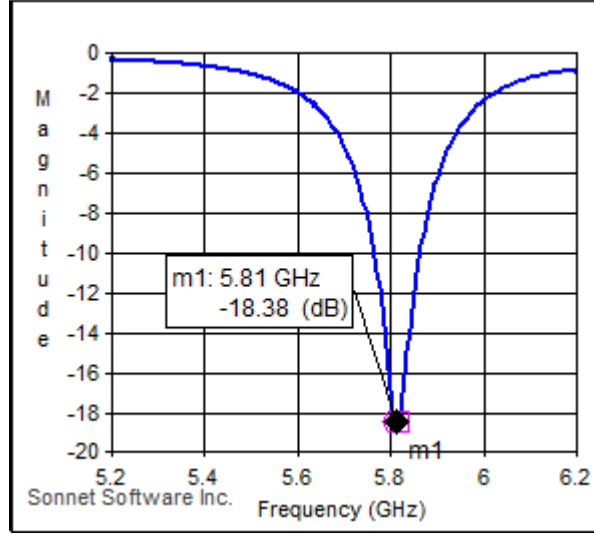
Tablo 3.6 - Prop beslemeli anten kazancının değişik theta değerlerindeki değişimi

Bu sonuçlar doğrultusunda daha iyi sonuçlar elde edebilmek için beslemeyi dikdörtgen yada yuvarlak beslemede yaparak sonuçları tabloda karşılaştırıldı.

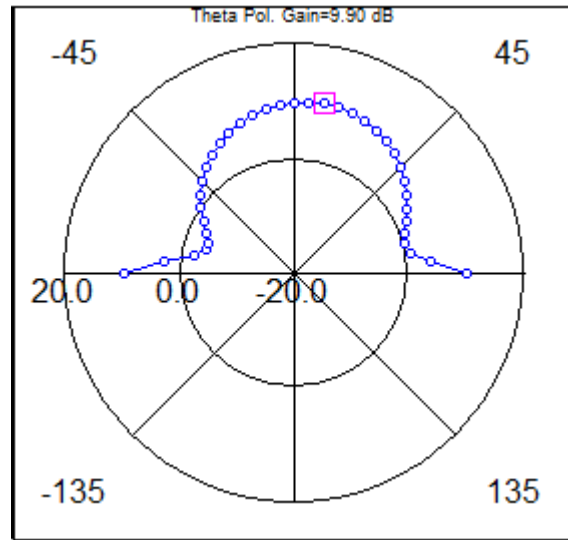
Besleme Değerleri (Eni, Boyu)	Kazanç $\theta(0^{\circ})$ (dB)	Z_{in} (gerçel Ω)	Z_{in} (imaj. Ω)	S_{11} (dB)	f_c (GHz)
(20,10)	9.86	50.59	1.59	-35.42	5.765
(40,20)	9.87	42.75	5.20	-20.35	5.8
(80,40)	9.92	36.9	-5.5	-16.23	5.82
(120,60)	9.98	32.34	-8.5	-11.9	5.85

Tablo 3.7 - Farklı dikdörtgen besleme değerlerinin Kazanç , Giriş Empedansı , Geri dönüş kaybı ve taşıyıcı frekans değerleri üzerindeki etkisi.

Diğer bir besleme şekli olan yuvarlak besleme ile ilgili gözlemler şöyledir:



Şekil 3.7 - Yuvarlak beslemeli antenin geri dönüş kaybı



Şekil 3.8 - Yuvarlak beslemeli antenin kazancı

Şekillerde görüldüğü gibi kazanç değerinde pek bir değişiklik gözlemlenmesede geri dönüş kaybında ciddi bir azalma gözlemlenmiştir.

Besleme Değerleri (Çapı, Kenar sayısı)	Kazanç $\theta(0^\circ)$ (dB)	Z_{in} (gerçekel Ω)	Z_{in} (imaj. Ω)	S_{11} (dB)	f_c (Ghz)
(40,20)	9.92	36.09	-4.29	-15.45	5.83
(50,25)	9.90	39.45	-1.87	-18.37	5.81
(60,30)	9.90	39.27	-3.31	-18.01	5.815
(80,40)	9.92	36	-4.26	-15.45	5.83

Tablo 3.8 - Farklı yuvarlak besleme değerlerinin Kazanç , Giriş Empedansı , Geri dönüş kaybı and taşıyıcı frekans değerleri üzerindeki etkisi.

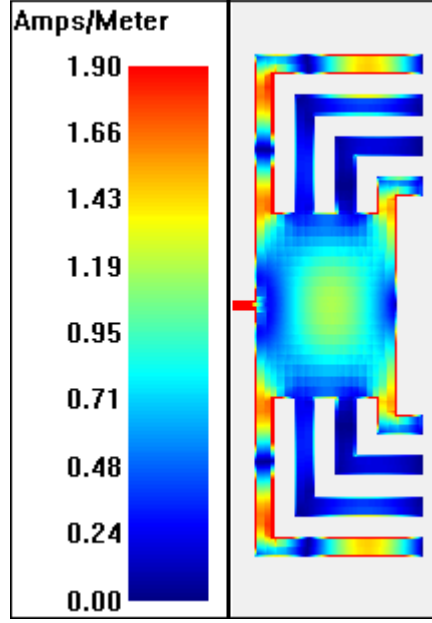
Bu tabloda en uygun besleme değerini bulmak için izlenen adımlar özetlendi. Koyuyla yazılı olan değerler tercih edildi.

$\theta (^\circ)$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5
Gain(dB)	1.26	4.4	5.5	6.6	7.5	8.3	8.9	9.43	9.8	10
$\theta (^\circ)$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Gain(dB)	5.02	4,6	5.7	6.7	7.5	8.3	8.9	9.5	9.8	10

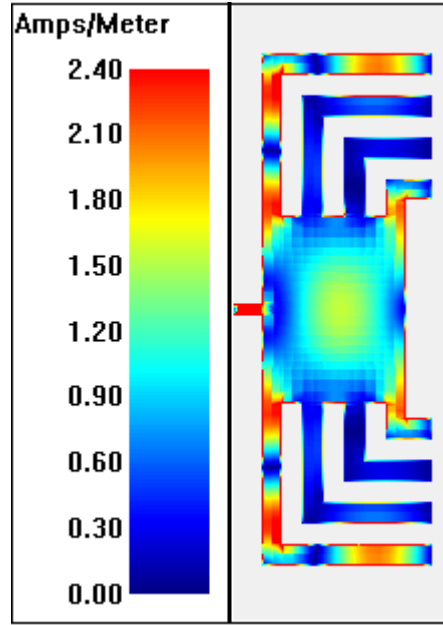
Tablo 3.9 - Yuvarlak ve köşe beslemeli antenin değişik theta değerlerindeki değişim

$\theta (^\circ)$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5
Gain(dB)	1.24	2.6	3.9	5	6.1	7	7.8	8.5	9	9.4
$\theta (^\circ)$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Gain(dB)	4.93	6	7	7.8	8.5	9	9.5	9.7	9.8	9.8

Tablo 3.10 – Dikdörtgen ve köşe beslemeli antenin değişik theta değerlerindeki değişim



Şekil 3.9 - Köşe beslemeli antenin akım yoğunluğu

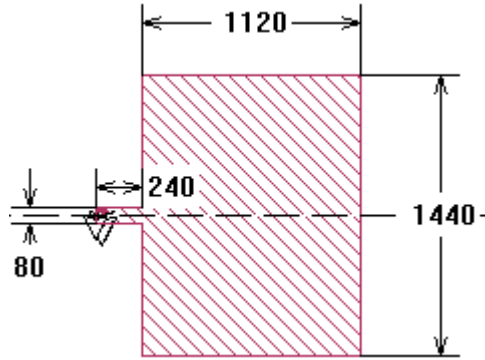


Şekil 3.10 - Prop beslemeli beslemeli antenin akım yoğunluğu

Anten tasarımı için uygun referans uzunlugunu bululduktan sonra bir de farklı besleme çeşitleri denendi.[14]

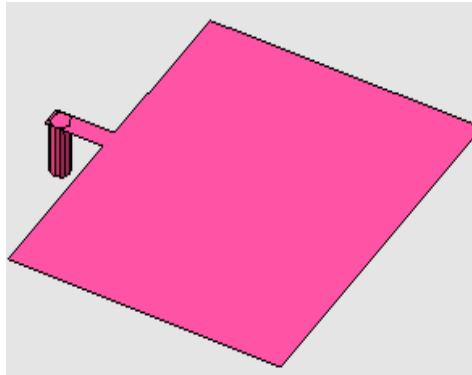
3.2. Anten Tasarımının 2. Adımı

Elde edilen sonuçları iyileştirip yüksek rezonans elde etmek adına bu kez beslemeyi sabit tutup anten gövdesinde oynamalar yapıldı. İlk adımda antenin sadece gövdesi incelendi. Bu kadar işleme tabi tutulan ana antenin bütün değerleri sabitlendi ve bu kez anten hesaplamalarının periyodu arttırıldı. Sadece yama şeklinde iken bile iki rezonans elde edildi. Aşağıdaki şekilde yama antenin mil cinsinden uzunlukları ve üstten görünümünü gösterildi.



Şekil 3.11 - Yama antenin üstten görünümü

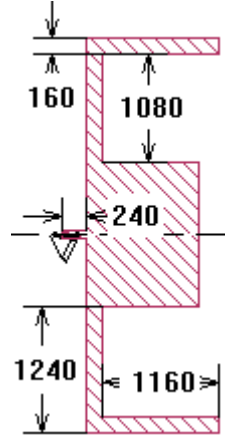
İncelenen yama antenin 3 boyutlu görünümü şekilde verilmiştir.



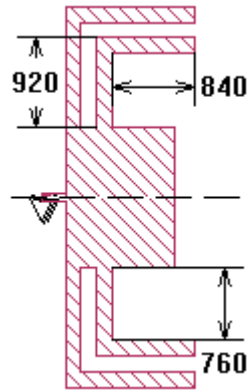
Şekil 3.12 - Yama antenin 3 boyutlu görünümü

Bu noktadan sonra yama antenin ana yapısına L şeklinde bacaklar tek tek eklendi. Bu eklenen bacaklar rezonans sayısını artırmaya yaradı. Fakat bu bacaklar

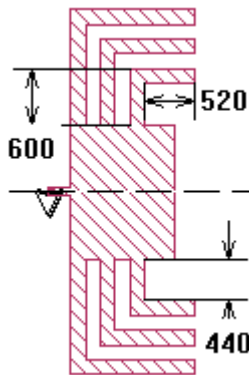
rezonans frekanslarında küçük kaymalara neden oldu. Sırasıyla aşağıda verilen şekiller eklenen bacakları ve mil cinsinden uzunluklarını göstermektedirler.



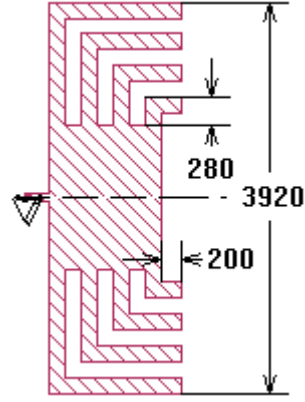
Şekil 3.13 - Yama antene eklenen ilk bacaklar



Şekil 3.14 - Yama antene eklenen ikinci bacaklar

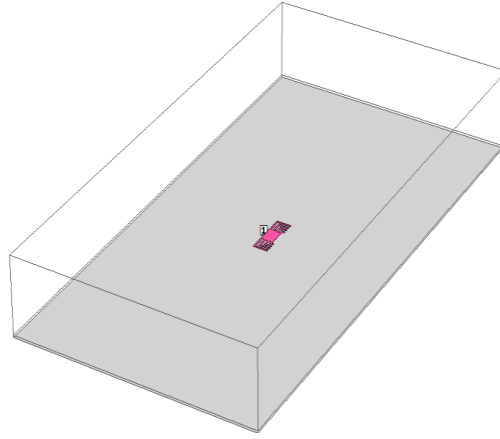


Şekil 3.15 - Yama antene eklenen üçüncü bacaklar



Şekil 3.16 - Yama antene eklenen dördüncü bacaklar

Şekilde de görüldüğü gibi 8 tane bacak eklenip yama anten simetrik hale getirildi. Aşağıdaki şekilde de elde edilen 8 bacaklı mikroşerit yama antenin 3 boyutlu üstten görünümü verildi.



Şekil 3.17 - Antenin 3 boyutlu üstten görünümü

Tasarım sırasında izlenen adımların geri dönüş kaybı ve kazanç parametrelerini nasıl değiştirdiğini gösteren tablodaki gibidir:

Eklenen Bacak Sayısı	S_{11} (dB)	Rez.Fr.(GHz)
Sadece anten gövdesi	-12.58	4.475
	-20.33	8.85
2	-16.45	4.5
	-33.23	8.78
4	-15.17	4.66
	-11.34	6.78
	-25.77	9.08
6	-17.07	4.66
	-10.13	7.04
	-23.18	9.12
8	-20.93	4.46
	-11.69	5.82
	-16.64	7.06
	-20.20	9.58

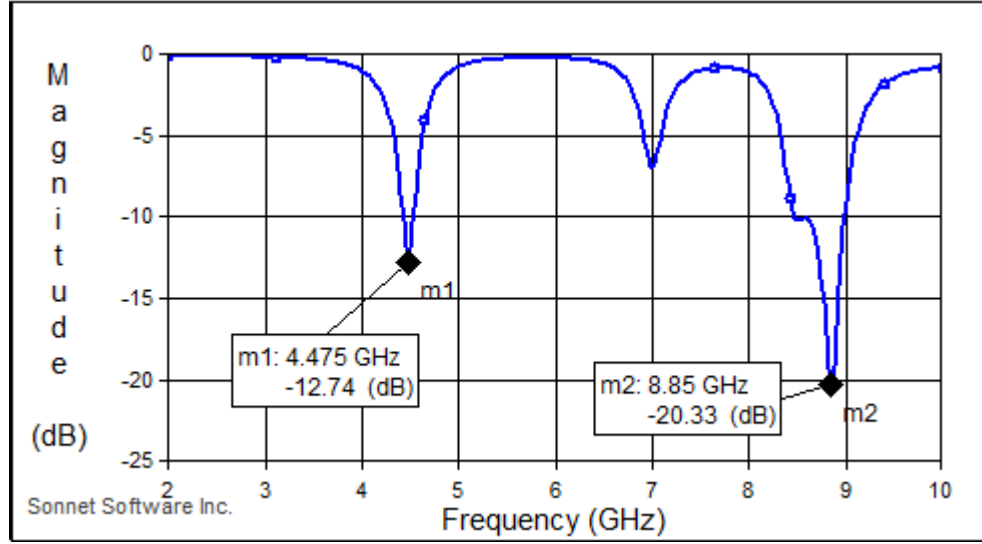
Tablo 3.11 - Bacaklar eklendikçe frekans ve geri dönüş kaybı parametrelerinin değişimi

Tabloda da görüldüğü gibi sadece yama anten adımında 4.475 GHz ve 8.85 GHz'de sırasıyla geri dönüş kayıpları -12 dB ve -20dB olarak iki rezonansa çıktı. İkinci adımda 2 tane bacak eklendi. Bu kez razonans frekansları 4.5 GHz ve 8.78 GHz'e kaydı. Üçüncü adımda 2 tane daha bacak eklendi. Bu kez sırasıyla 4.66 GHz, 6.78 GHz ve 9.08 GHz'de, -17 dB, -11 dB ve -25 dB'lik üç rezonans elde edildi. Dördüncü ve son adımda ise yama antenin gövdesine toplamda 8 tane bacak eklenmiş oldu. Bu kez 4.46 GHz, 5.82 GHz, 7.06 GHz ve 9.58 GHz'de, -20 dB, -11 dB, -16 dB ve -20 dB'lik 4 rezonans elde edildi.

Rezonans Frekansları	4.475 GHz	8.85 GHz
S_{11}	-12.74 dB	-20.33 dB
Band Genişliği (%)	% 2.23	%5.65

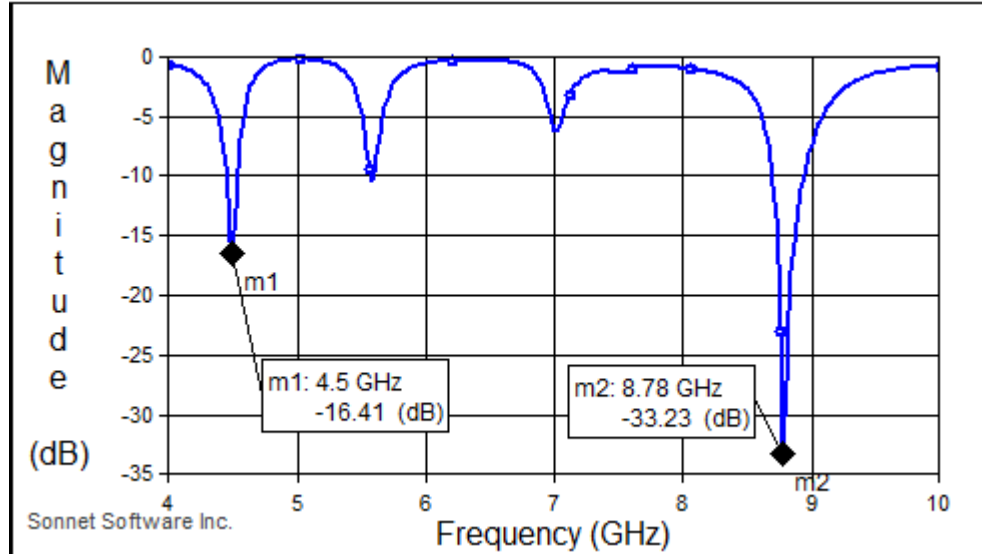
Tablo 3.12 - Yama antenin band genişlikleri

İncelenen 5 farklı anten yapısının geri dönüş kayıpları, giriş empedans değerleri, kazanç ve akım yoğunlukları aşağıda gösterildiği gibi elde edilmiştir.



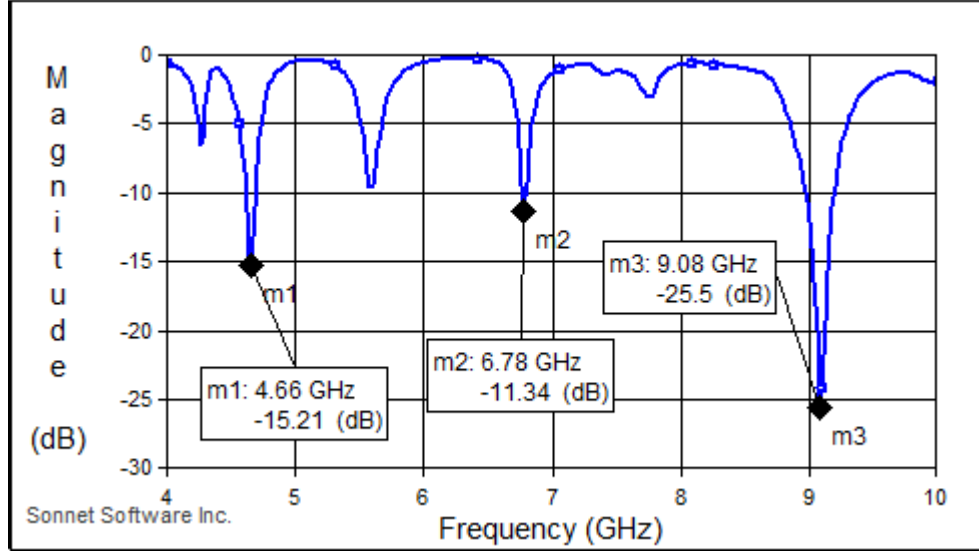
Şekil 3.18 - Yama antenin geri dönüş kayıpları

Elde edilen iki rezonanslı bu antenin ikinci rezonansının band genişliği yaklaşık % 6 civarındadır. Değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.



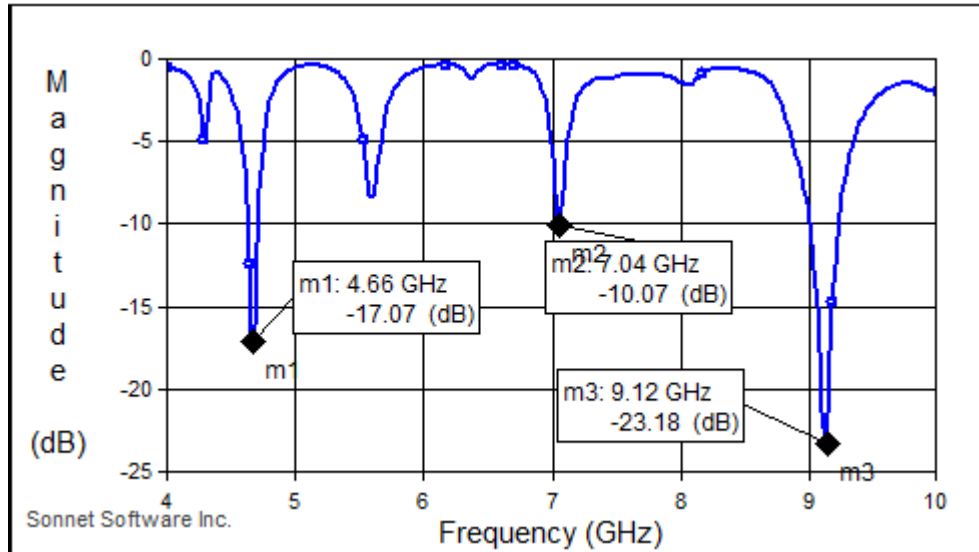
Şekil 3.19 - 2 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları

Antene iki tane simetrik L şeklinde bacak eklendiğinde ise geri dönüş kayıplarında azalma gözlemlendi.



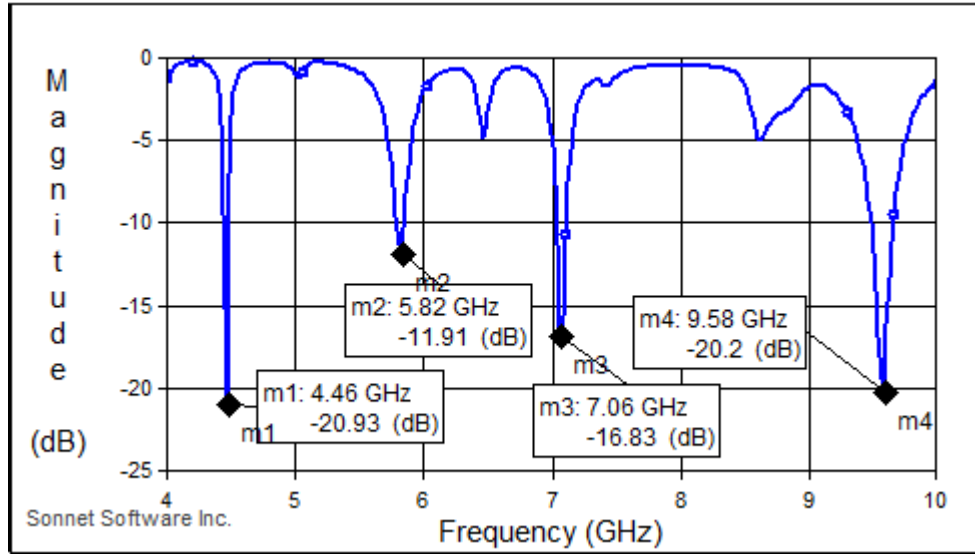
Şekil 3.20 - 4 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları

2 bacak eklenen ana anten gövdesine simetrik olarak 2 bacak daha eklendi. Sonuç olarak antende toplam 4 bacak oldu. Bu kez 6.78 GHz'de bir rezonans daha elde edildi. Rezonans artırma konusunda çalışmalara devam edildi.



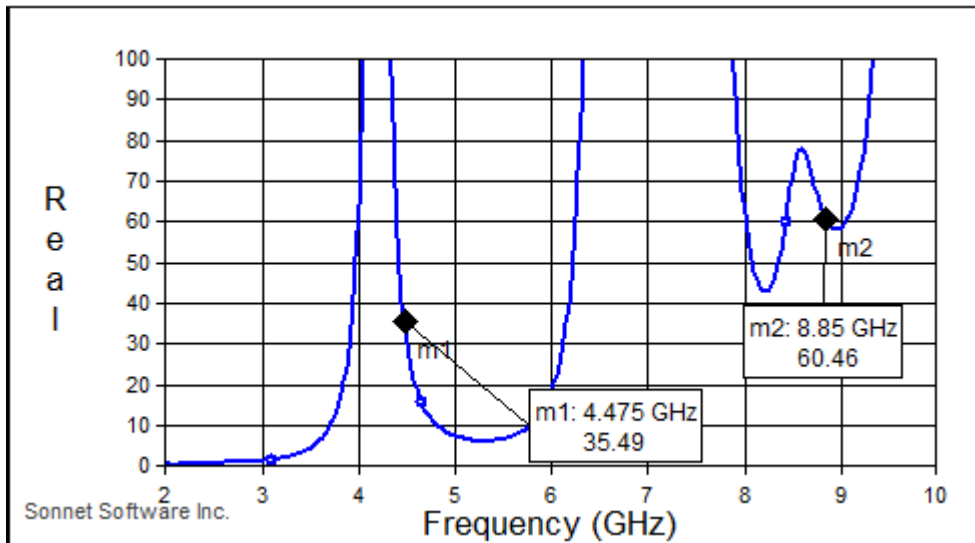
Şekil 3.21 - 6 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları

Yama anten gövdesine toplamda simetrik olarak 6 bacak eklendiğinde ise elde edilen 3 rezonans değerinde, taşıyıcı frekans noktalarında ve geri dönüş noktalarında çok küçük değişiklikler gözlemlendi.



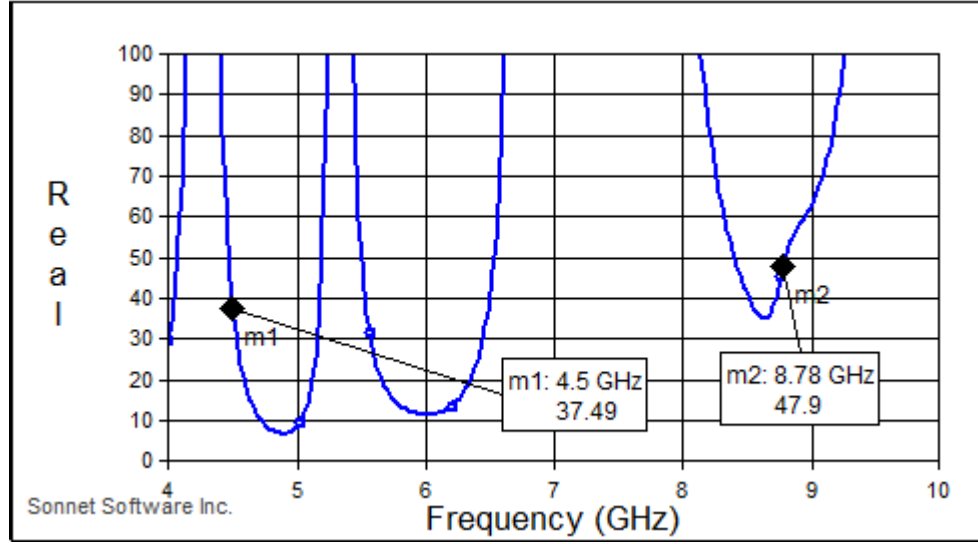
Şekil 3.22 - 8 bacaklı antenin geri dönüş kayıpları

Bu tasarımın son adımında toplam 8 bacak eklendi ve tam 4 rezonans elde edildi. İdeal bir mikroşerit yama antenin giriş empedans değerlerinin gerçel değeri 50 ohm ve imajiner kısmında 0 olmalıdır. Tasarlanan antenin empedans ve kazanç değerleri aşağıda verildiği gibidir.



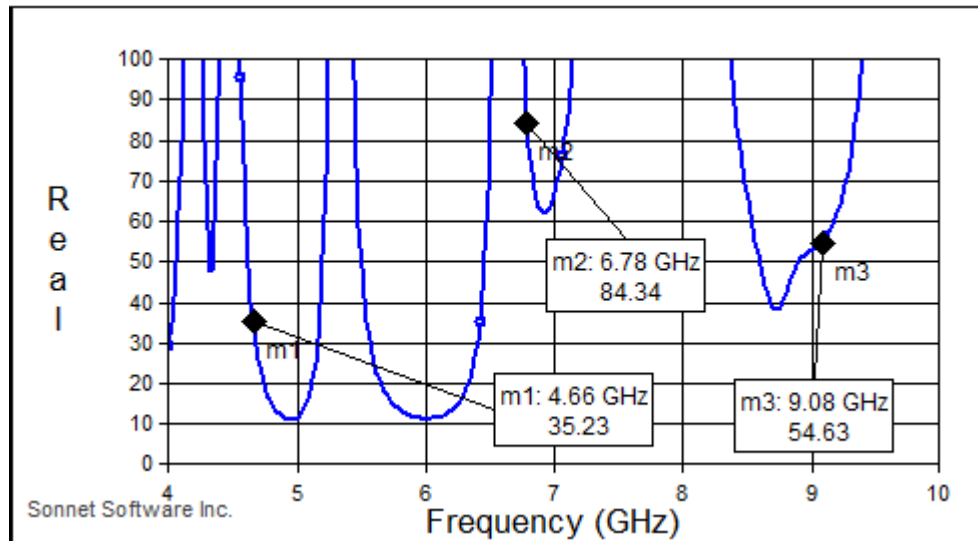
Şekil 3.23 - Yama antenin giriş empedansı gerçel değerleri

Şekildeki giriş empedans değerleri tam olarak 50 ohm olmasada beklenen değere yakındır.



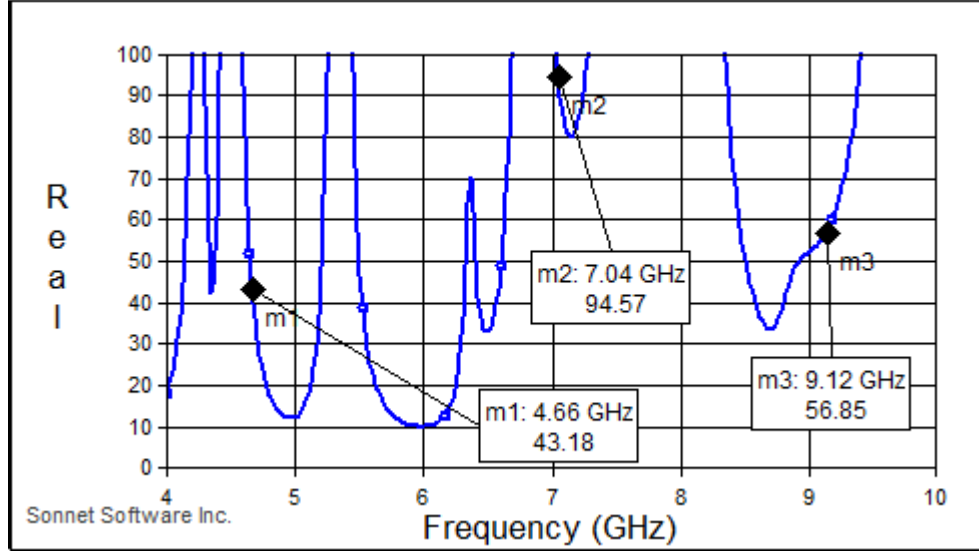
Şekil 3.24 – 2 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri

2 bacaklı antende ise rezonans değerlerinde iyileşme gözlemlendi, 50 ohm'a daha çok yaklaştı.



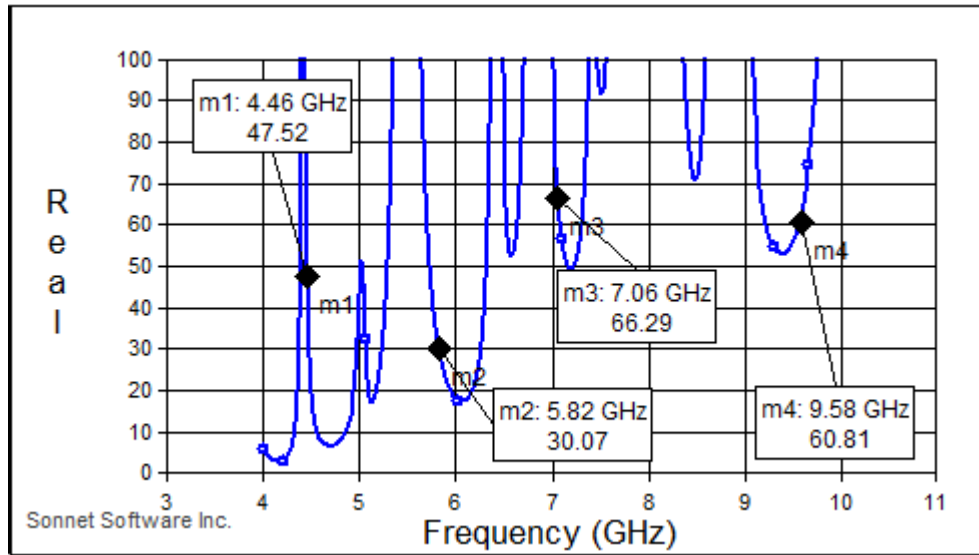
Şekil 3.25 - 4 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri

4 bacaklı 3 rezonans elde edilen tasarımda ise 1. ve 3. rezonans değerleri için empedans değerleri ideala yakın 2. rezonans değeri ise biraz beklenen değerden fazla oldu.



Şekil 3.26 - 6 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri

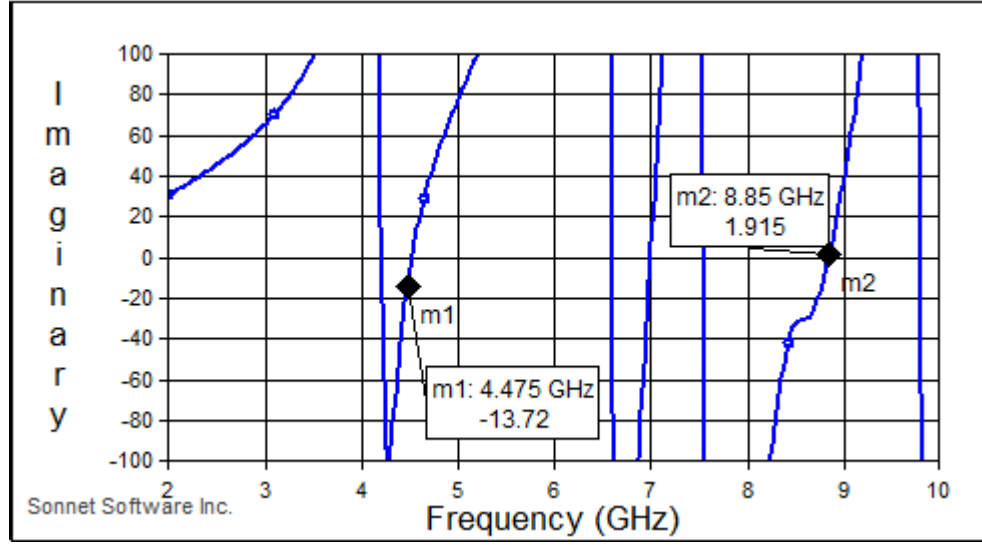
6 bacaklı antende ise 4 bacaklı antendeki gibi 2. rezonanstaki empedans değeri biraz daha arttı.



Şekil 3.27 - 8 bacaklı antenin giriş empedansı gerçel değerleri

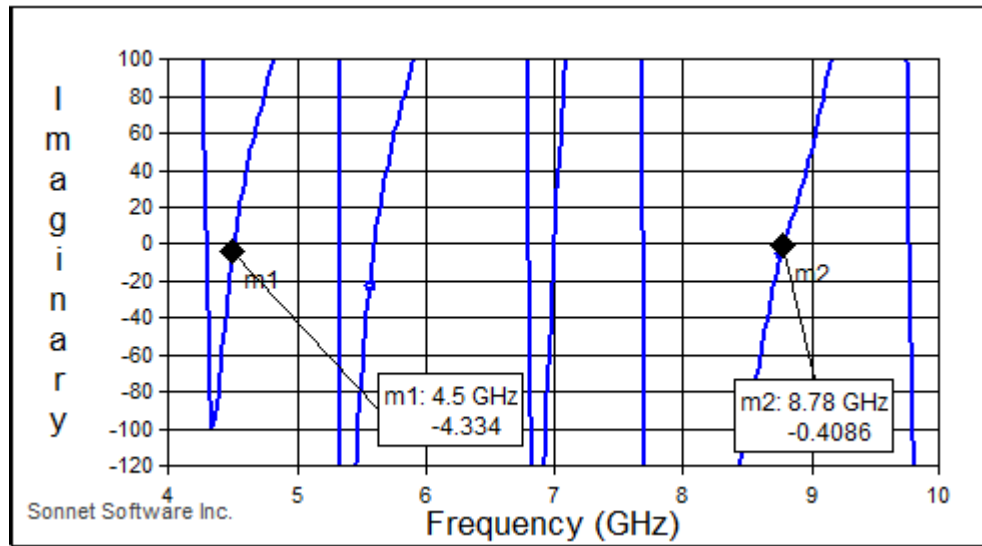
Tasarımın son adımında örümceğe benzeyen 8 bacaklı anten yapısının bütün gerçel empedans değerleri ideal empedans değeri olan 50 ohm'a yakın olarak gözlemlendi.

Antenin Giriş Empedansı İmajiner Değerleri ise şöyle elde edildi:



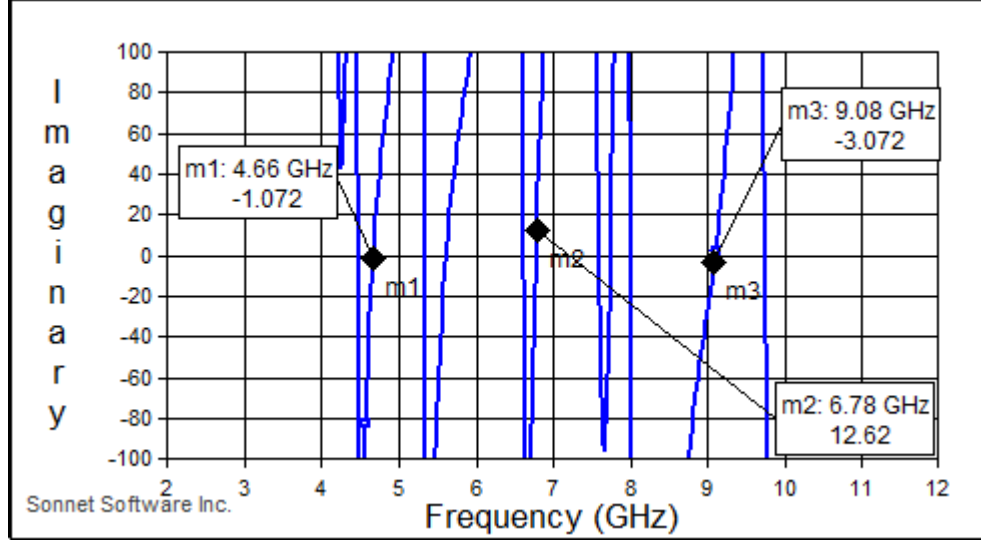
Şekil 3.28 - Yama antenin giriş empedansı imajiner değerleri

Bu şekilde incelemeye başlanan ilk adımın imajiner değerleri gösterildi.



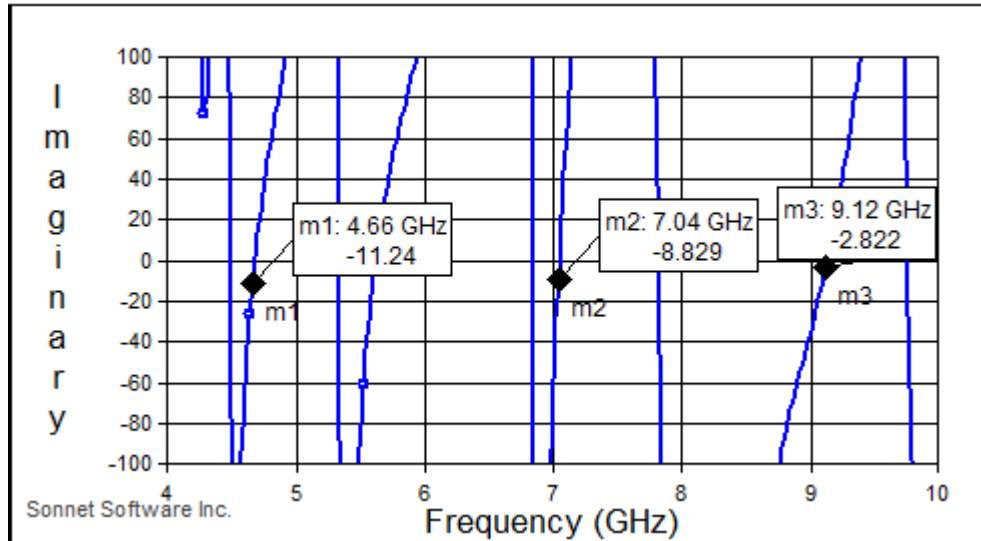
Şekil 3.29 - 2 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri

Tasarım 2 bacaklı iken empedansın imajiner değeri beklenen 0 değerine yakın sonuçlar elde edildi.



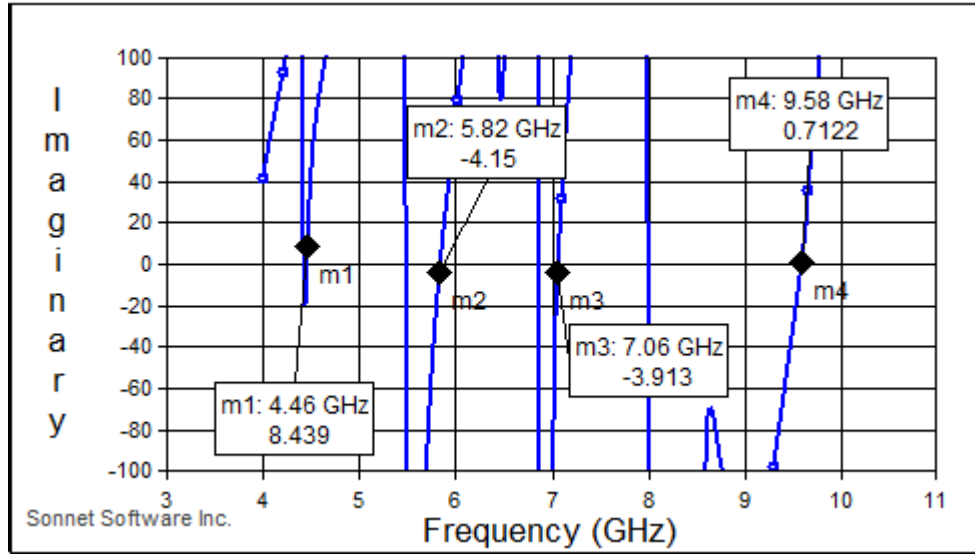
Şekil 3.30 - 4 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri

Tasarımın bu adımında da 2. rezonans değeri gerçel değerde olduğu gibi biraz daha yüksek bulundu. 1. ve 2. rezonans değerleri ise ideale yakındır.



Şekil 3.31 - 6 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri

6 bacaklı anten için de ideale yakın imajiner değerler elde edildi.



Şekil 3.32 - 8 bacaklı antenin giriş empedansı imajiner değerleri

Eklene n Bacak Sayısı	Z_{in} Gerçel (Ω)	Z_{in} İmaj. (Ω)	Rez.Fr.(GHz)
Sadece anten gövdesi	35.49	-13.72	4.475
	60.46	1.92	8.85
2	37.49	-4.33	4.5
	47.90	-0.40	8.78
4	35.23	-1.07	4.66
	84.34	12.62	6.78
	54.63	-3.07	9.08
6	43.18	-11.24	4.66
	94.57	-8.83	7.04
	56.85	-2.82	9.12
8	47.52	8.44	4.46
	30.07	-4.15	5.82
	66.29	-3.91	7.06
	60.81	0.71	9.58

Tablo 3.13 - Eklene n bacak sayısına göre de ğişen empedans de ğerleri

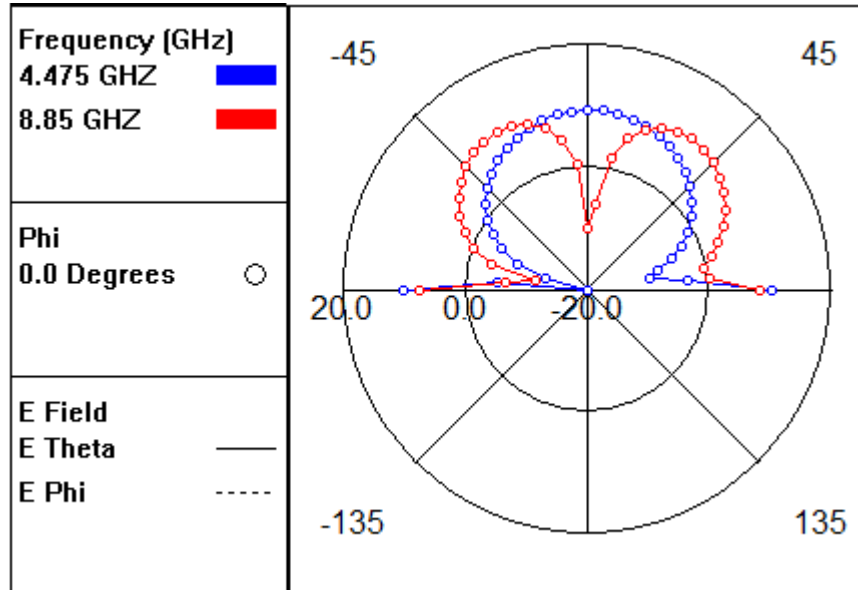
Tasarımın son adımında da bütün rezonans değerlerinin imajinerleri gösterildi. Beklenen değere yakın bir gözlem yapılmış oldu. Tabloda eklenen bacak sayılarına göre elde edilen empedans değerleri taşıyıcı frekanslara göre verilmiştir.

Görüldüğü gibi antenin bütün parametreleri incelendi. Oluşan rezonanslardaki küçük frekans kaymalarını gösteren tablo ise şöyle bulunmuştur:

	Yama anten	Fr. Kay. (MHz)	2 bacaklı anten	Fr. Kay. (MHz)	6 bacaklı anten	Fr. Kay. (MHz)	8 bacaklı anten
1.Rezonans	4.475	2.5	4.5	16	4.66	20	4.46
2.Rezonans	8.85	7	8.78	-	-	-	5.82
3.Rezonans	-	-	-	-	7.04	2	7.06
4.Rezonans	-	-	-	-	9.13	39	9.58

Tablo 3.14 – Eklenen bacak sayısına göre oluşan frekans kaymaları

İncelenen anten tasarımlarının kazanç değerleri ise aşağıdaki şekillerdeki gibidir:

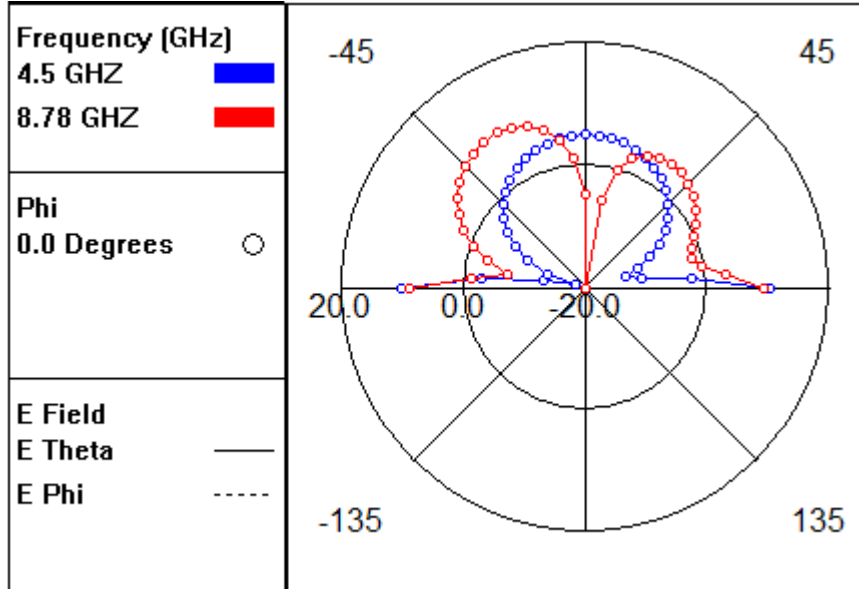


Şekil 3.33 - Yama antenin kazancı

Şekilde de görüldüğü gibi ilk rezonans değerinin kazanç eğrisi düzgündür fakat ikinci rezonanstaki eğri de theta 0 dereceye yaklaştığında bir kayıp gözlenmektedir. Bunların sayısal değerleri tabloda verilmiştir.

$\theta (^{\circ})$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	1.67	3.18	4.50	5.63	6.61	7.42	8.10	8.62	9.00	9.23	9.33
$\theta (^{\circ})$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	2.33	3.73	4.96	6.02	6.94	7.70	8.31	8.78	9.10	9.29	9.33
$\theta (^{\circ})$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	7.22	8.29	9.07	9.54	9.65	9.37	8.58	7.14	4.70	0.39	-10.06
$\theta (^{\circ})$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	8.52	9.32	9.84	10.01	9.80	9.11	7.81	5.63	1.91	-5.88	-10.06

Tablo 3.15 - Yama antenin E Theta Kazançları

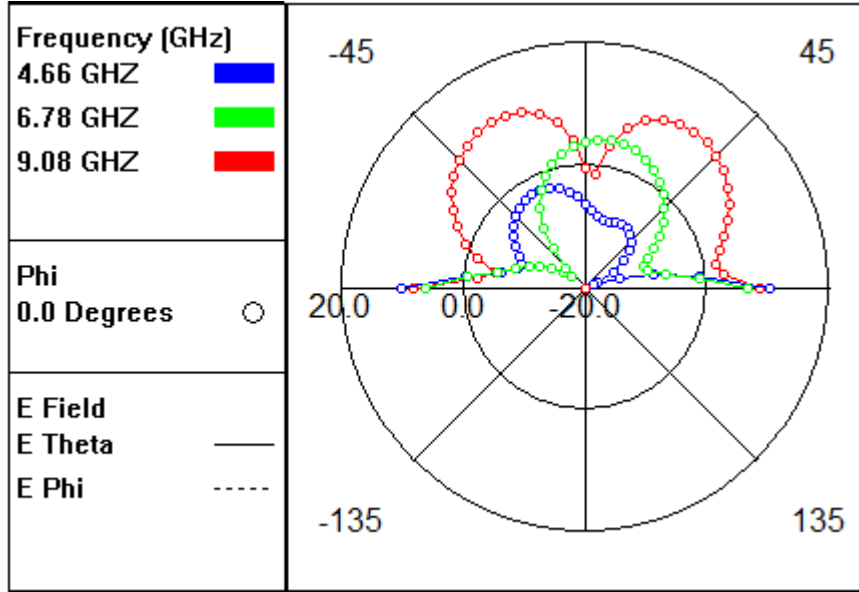


Şekil 3.34 - 2 bacaklı antenin kazancı

Bir önceki tasarımdaki gibi ilk eğrimiz düzgün ikinci rezonansa ait eğrisindeki kayıp -24 dB'ye ulaşmıştır.

$\theta (^{\circ})$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	-2.55	0.97	0.36	1.50	2.46	3.26	3.90	4.39	4.74	4.05	5.02
$\theta (^{\circ})$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	-2.21	-0.72	0.54	1.64	2.57	3.33	3.96	4.43	4.76	4.96	5.02
$\theta (^{\circ})$	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	6.89	7.91	8.64	9.05	9.11	8.80	8.02	6.68	4.58	1.24	-4.73
$\theta (^{\circ})$	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	3.03	3.86	4.43	4.66	4.49	3.79	2.34	-0.31	-5.66	-24.26	-4.73

Tablo 3.16 - İki bacaklı antenin E Theta Kazançları

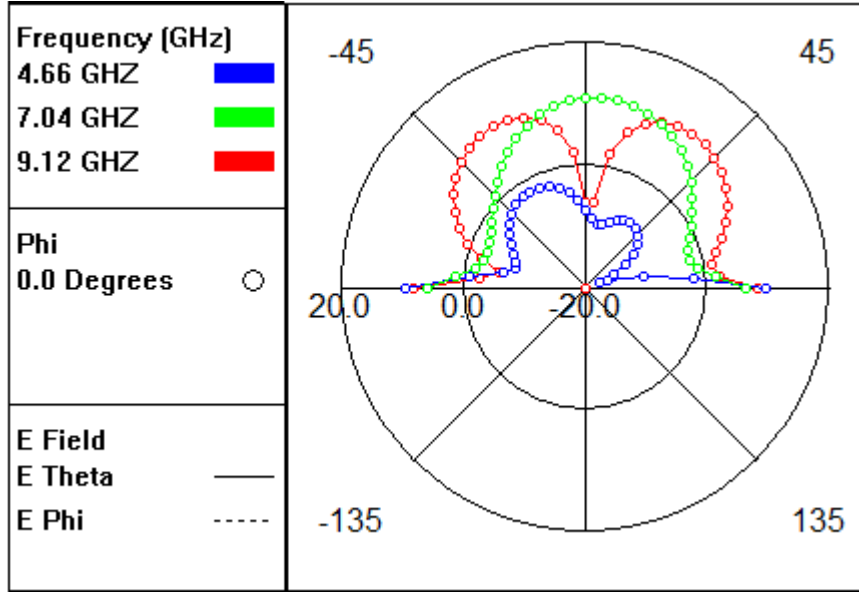


Şekil 3.35 - 4 bacaklı antenin kazancı

4 bacaklı antende ise ilk rezonans değerinde -90 ve +90 değerleri haricinde kazanç yoktur. 9 GHz dolaylarında oluşan rezonansın kazanç eğrisi benzer ışıma yapmaktadır. Burada 6 GHz civarında yeni bir rezonansın ışıması gözlemlendi.

θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	-4.60	-3.72	-3.06	-2.63	-2.43	-2.48	-2.78	-3.54	-4.15	-5.18	-6.34
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	-10.61	-9.40	-8.62	-8.22	-8.13	-8.29	-8.53	-8.62	-8.29	-7.47	-6.34
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	-17.08	-15.53	-11.72	-8.07	-5.04	-2.57	-0.58	1.01	2.22	3.21	3.85
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	-3.38	-1.69	-0.18	1.12	2.21	3.09	3.74	4.15	4.31	4.21	3.85
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	8.28	9.44	10.33	10.92	11.18	11.06	10.47	9.30	7.34	4.17	-0.56
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	9.60	10.43	10.95	11.14	10.94	10.25	8.95	6.78	3.30	-1.53	-0.56

Tablo 3.17 - 4 bacaklı antenin E Theta Kazançları

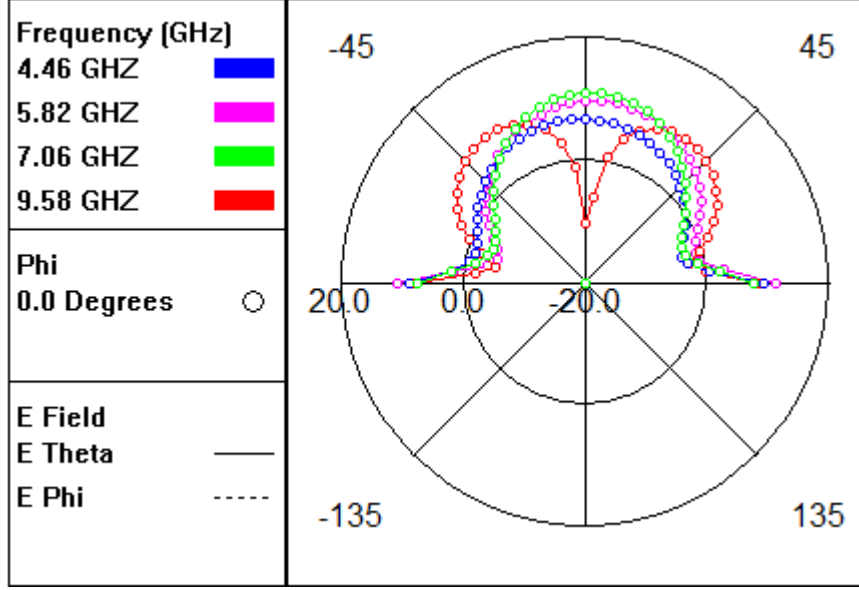


Şekil 3.36 - 6 bacaklı antenin kazancı

θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	-3.74	-2.94	-2.35	-2.00	-1.90	-2.07	-2.51	-3.25	-4.31	-5.67	-7.24
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	-8.94	-7.96	-7.38	-7.20	-7.30	-7.92	-8.69	-9.42	-9.55	-8.71	-7.24
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	-0.12	1.12	2.53	4.02	5.50	6.89	8.13	9.19	10.03	10.64	11.03
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	2.91	4.45	5.90	7.24	8.41	9.40	10.18	10.74	11.07	11.17	10.03
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	7.75	8.88	9.73	10.28	10.47	10.29	9.60	8.29	6.05	2.15	-6.03
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	9.13	9.94	10.46	10.65	10.44	9.74	8.40	6.13	2.21	-5.99	-6.03

Tablo 3.18 - 6 bacaklı antenin E Theta Kazançları

6 bacaklı antende ise 7 GHz civarındaki kazanç değerleri yaklaşık 6 dB'lik artış gösterdi. 1. rezonans da kazanç hala yok ve 3. rezonansdaki kayıp da bir değişiklik gözlemlenemedi.



Şekil 3.37 - 8 bacaklı antenin kazancı

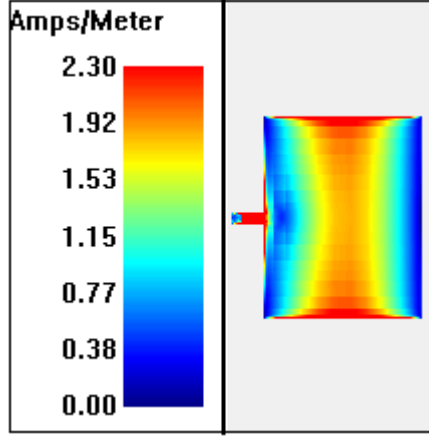
Son adımda eklenen bacaklarda ise ilk rezonans yaklaşık 6 dB'lik kazançla ulaştı. 1. 2. Ve 3. Rezonanslardaki kazanç değerlerinde iyileşme gözlenirken 4. Rezonanstaki kayıp da ise bir değişiklik olmadı.

θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	2.41	3.28	4.08	4.76	5.35	5.84	6.22	6.49	6.66	6.74	6.71
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	1.03	2.06	2.98	3.81	4.53	5.14	5.65	6.06	6.37	6.59	6.71
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	1.49	2.88	4.13	5.26	6.25	7.12	7.86	8.47	8.96	9.32	9.55
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	4.35	5.45	6.49	7.38	8.09	8.68	9.13	9.44	9.61	9.65	9.55
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	-0.44	1.20	2.90	4.56	6.10	7.47	8.66	9.59	10.31	10.80	11.05
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	1.47	3.12	4.74	6.24	7.57	8.71	9.65	10.35	10.82	11.06	11.05
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 4.Rez.(dB)	6.89	7.79	8.44	8.78	8.76	8.34	7.42	5.83	3.26	-1.14	-10.38
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 4.Rez.(dB)	7.29	8.06	8.53	8.65	8.40	7.68	6.38	4.26	0.72	-6.10	-10.38

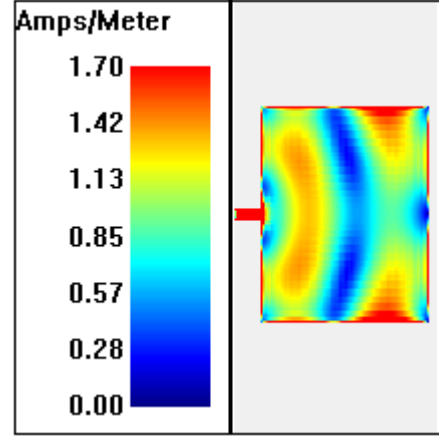
Tablo 3.19 - 8 bacaklı örümcek görünümlü antenin E Theta Kazançları

Kazançla ilgili denemelerden sonra kaybı ortadan kaldırmak için sonraki adımda incelenecek olan bir kaz değişiklik yapıldı.

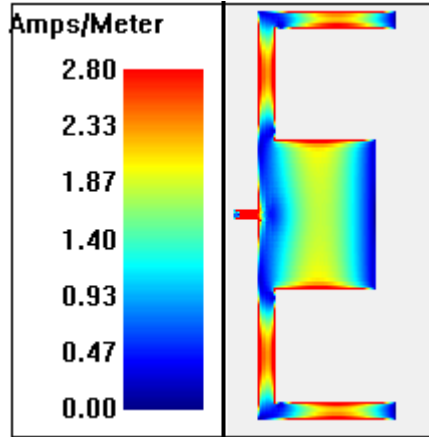
Şekillerde tasarlanan antenlerin akım yoğunlukları verilmiştir.



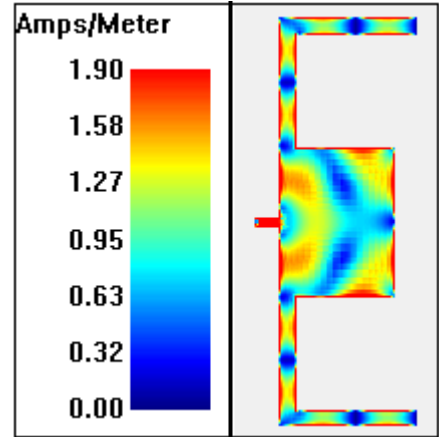
Şekil 3.38 - 4.475 GHz'de yama anten 1. Rezonans



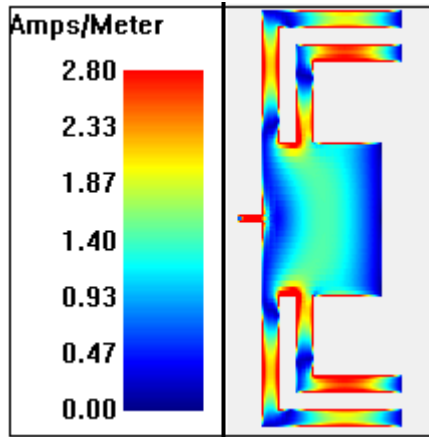
Şekil 3.39 - 8.85 GHz'de yama anten 2. Rezonans



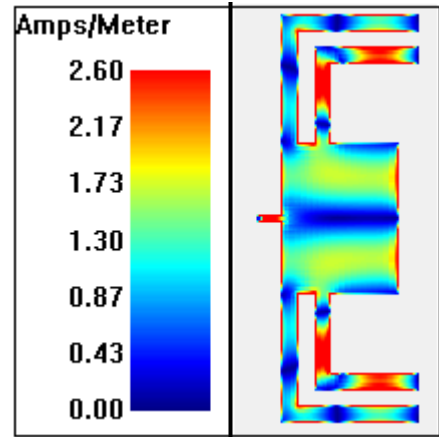
Şekil 3.40 - 4.5 GHz'de 2 bacaklı anten
1.Rezonans



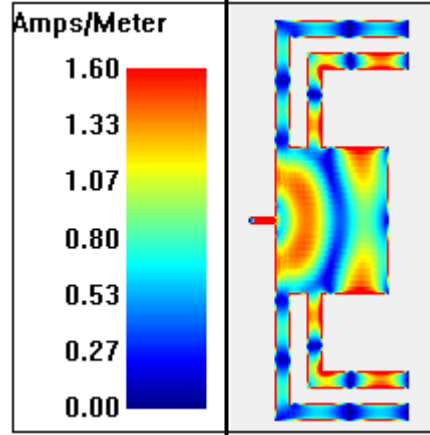
Şekil 3.41 - 8.78 GHz'de 2 bacaklı anten
2.Rezonans



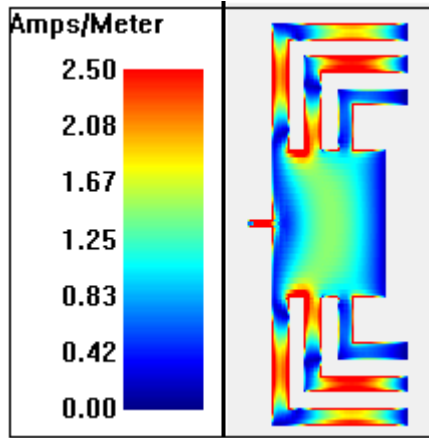
Şekil 3.42 - 4.56 GHz'de 4 bacaklı anten
1.Rezonans



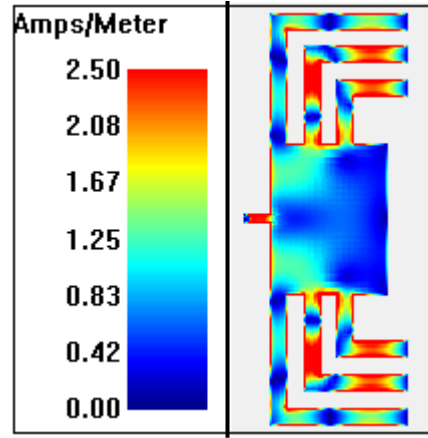
Şekil 3.43 - 6.78 GHz'de İki bacaklı anten
2.Rezonans



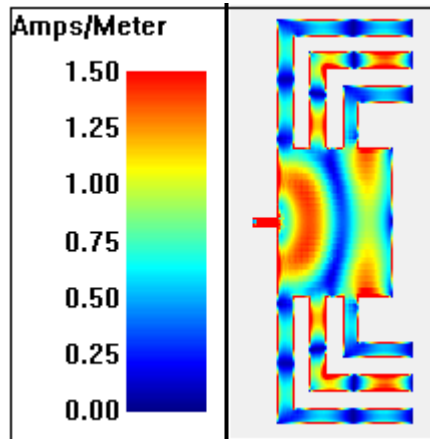
Şekil 3.44 - 9.08 GHz'de 4 bacaklı anten 3.Rezonans



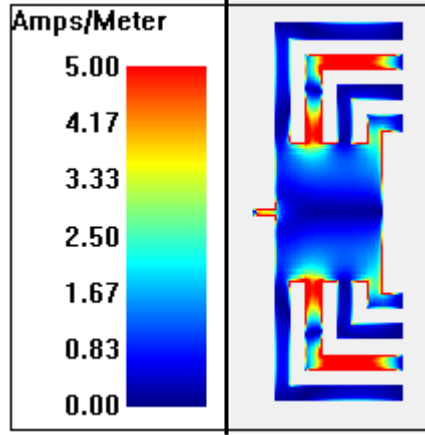
Şekil 3.45 - 4.66 GHz'de 6 bacaklı anten
1.Rezonans



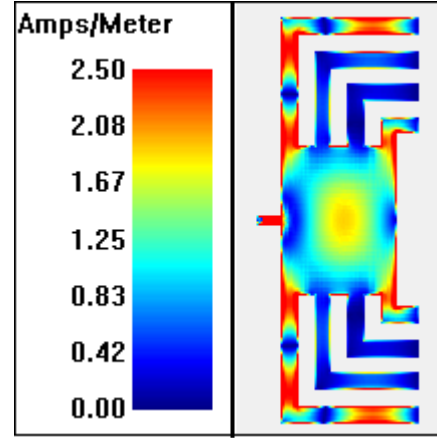
Şekil 3.46 - 7.04 GHz'de 6 bacaklı anten
2.Rezonans



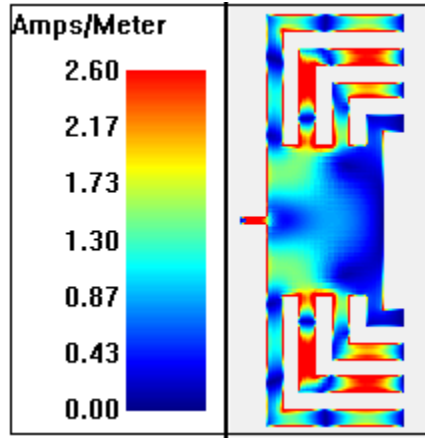
Şekil 3.47 - 9.12 GHz'de 6 bacaklı anten 3.Rezonans



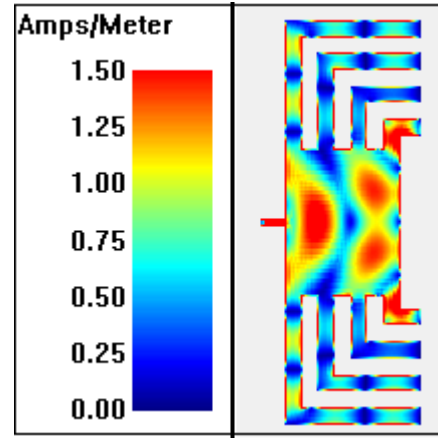
Şekil 3.48 - 4.46 GHz'de 8 bacaklı anten
1.Rezonans



Şekil 3.49 - 5.82GHz'de 8 bacaklı anten
2.Rezonans



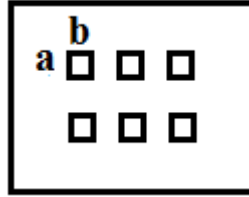
Şekil 3.50 - 7.06 GHz'de 8 bacaklı anten
3.Rezonans



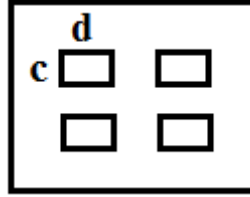
Şekil 3.51 - 9.58 GHz'de 8 bacaklı anten
4.Rezonans

3.3. Anten Tasarımının 3. Adımı

Anten performansının ve ideal kazancın elde edilmesi için antende bazı değişiklikler yapıldı. Şekilde gösterildiği gibi anten gövdesinde bazı değişiklikler yapıldı. Bunlara bağlı olarak antenin ana kısmında bazı delikler açılmaya başlandı. Her bir hücre 10 mil'e denk gelmektedir. Açılan deliklerin şekilleri ve boyutları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.52 - 6 delikli anten yapı geometrisi



Şekil 3.53 - 4 delikli anten yapı geometrisi

Açılan deliklerin formülasyonunu yapacak olursak,

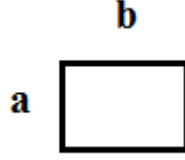
$$A=(a.b)$$

$$B=(c.d)$$

Çıkarılan kısmı ifade edecek olursak,

$$S1=4A$$

$$S2=4B$$



Şekil 3.54 - Açılan 6 slot için çıkarılan parçaların her biri

Hesaplanacak alan $A=(axb)$

Çıkarılan alan $S=4A$

Çıkarılan parça için ilk deneme: $A=140x220=30800$

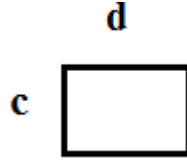
$$S1=4x30800=123200$$

Çıkarılan parça için ikinci deneme: $A=160x240=38400$

$$S2=4x38400=220800$$

Çıkarılan parça için üçüncü deneme: $A=180x260=46800$

$$S3=4x46800=187200$$



Şekil 3.55 - Açılan 4 slot için çıkarılan parçaların her biri

Hesaplanacak alan $B=(cxd)$

Çıkarılan alan $S=4B$

Çıkarılan parça için ilk deneme : $B=220x210=46200$

$$S1=4x46200=184800$$

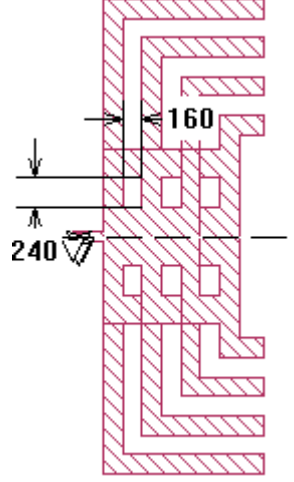
Çıkarılan parça için ikinci deneme: $B=240x230=55200$

$$S2=4x55200=220800$$

Çıkarılan parça için üçüncü deneme: $B=260x250=65000$

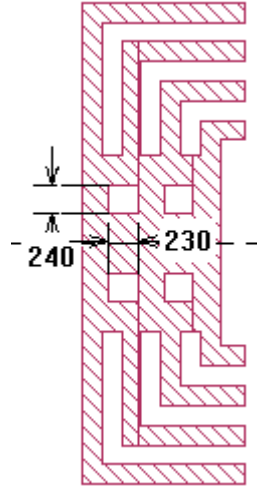
$$S3=4x65000=260000$$

Bu hesaplamalar doğrultusunda ölçülen değerler boyutunda parçalar antenin gövdesinden çıkarıldığındaki antenin ilk görünümü aşağıdaki gibi oldu. Öncelikle 6 adet delik açıldı.



Şekil 3.56 - 6 delikli antenin üstten görünümü

Daha sonra ikinci hesaplamada olduğu gibi anten gövdesinde 4 adet delik açıldı. Bu kez antenin üstten görünümü aşağıdaki gibi oldu.



Şekil 3.57 4 delikli antenin üstten görünümü

Bu çıkarılan parçaların antenin geri dönüş kayıpları üzerindeki etkisini gösteren tablo aşağıdaki gibidir:

Delik Boyutları(mil) (enxboy)	S11 (dB)	fc (GHz)
140x220	-19.51	4.44
	-10.32	6.4
	-23.99	7.02
	-15	9.3
160x240	-18.62	4.44
	-13.31	6.38
	-22.21	7.0
	-13.45	9.24
180x260	-14.53	4.42
	-18.15	6.34
	-19.34	6.96
	-12.99	9.16

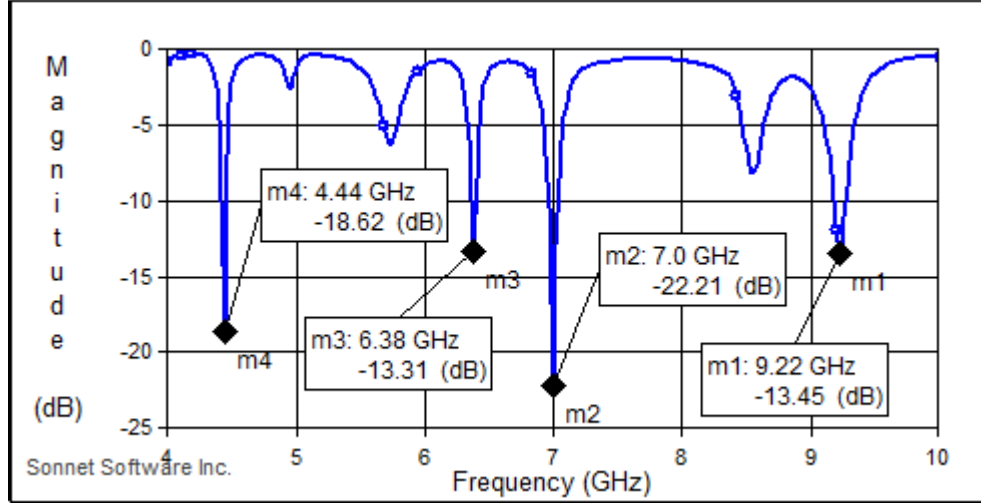
Tablo 3.20 - 6 delikli antenin parametrik değişimleri

4 delikli antenin geri dönüş kayıpları ise şöyledir:

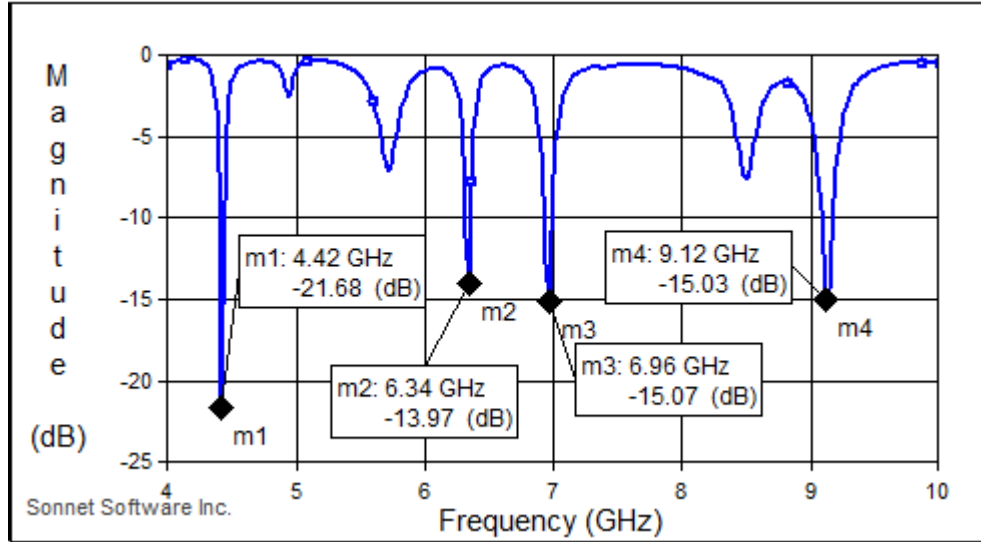
Delik Boyutları (mil) Denemeler	S11 (dB)	fc (GHz)
220x210	-15.14	4.44
	-13.10	6.36
	-19.15	6.98
	-14.26	9.22
240x230	-21.67	4.42
	-13.97	6.34
	-15.07	6.96
	-15.03	9.12
260x250	-13.77	4.42
	-24.71	6.3
	-17.43	6.94
	-12.84	9.1

Tablo 3.21 - 4 delikli antenin parametrik değişimleri

Tabloda verilerin geri dönüş kayıplarının şekilleri şöyledir:



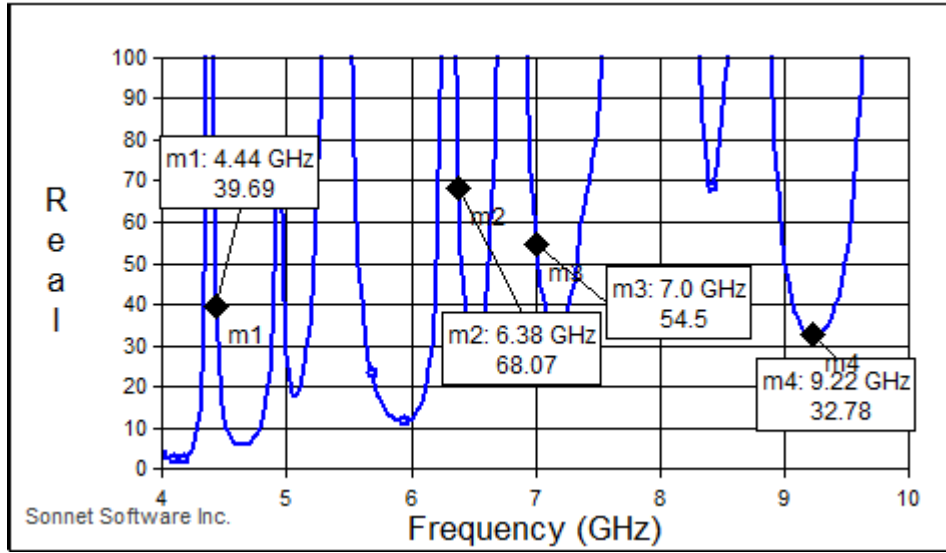
Şekil 3.58 - 6 delikli antenin geri dönüş kayıpları



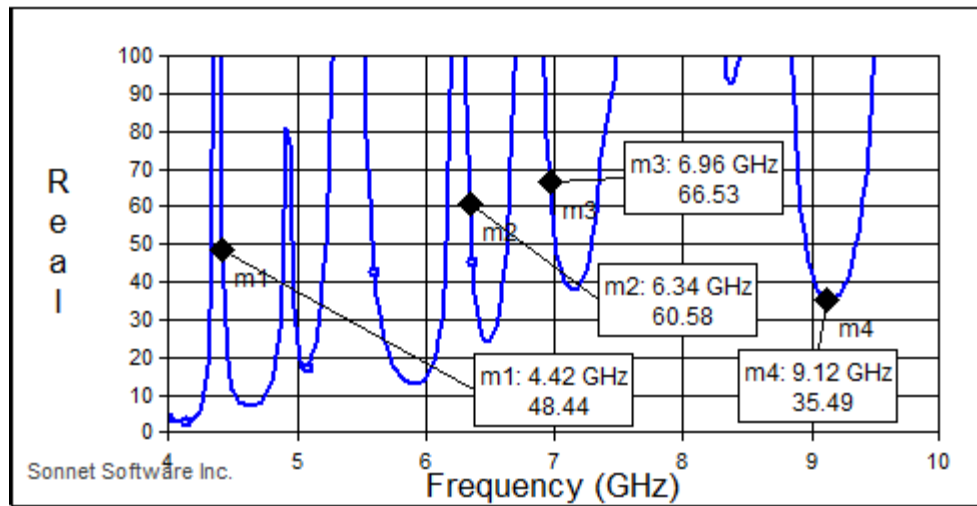
Şekil 3.59 - 4 delikli antenin geri dönüş kayıpları

Şekillerde görüldüğü gibi geri dönüş kayıp değerleri birbirine yakın gibi görünse de 4 delikli antenin değerleri daha iyidir.

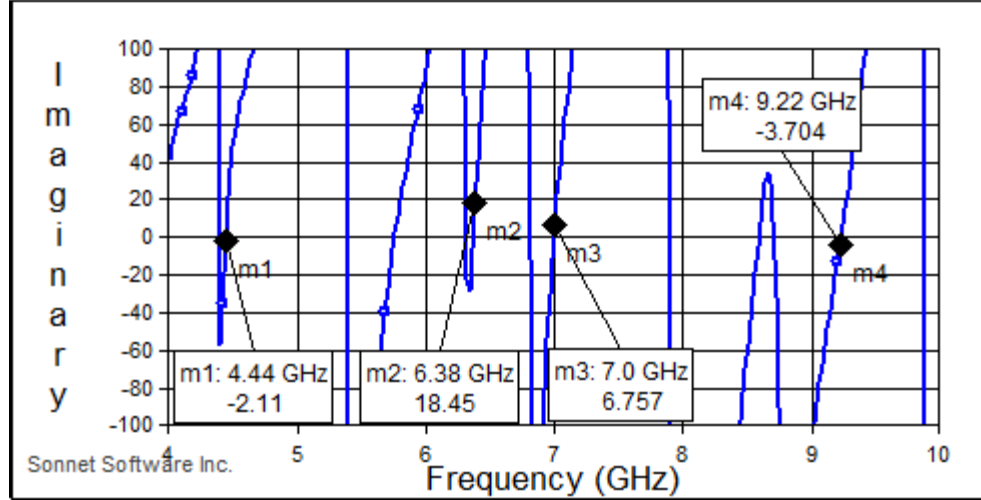
4 ve 6 delikli antenlerin empedans değerleri ise şöyledir:



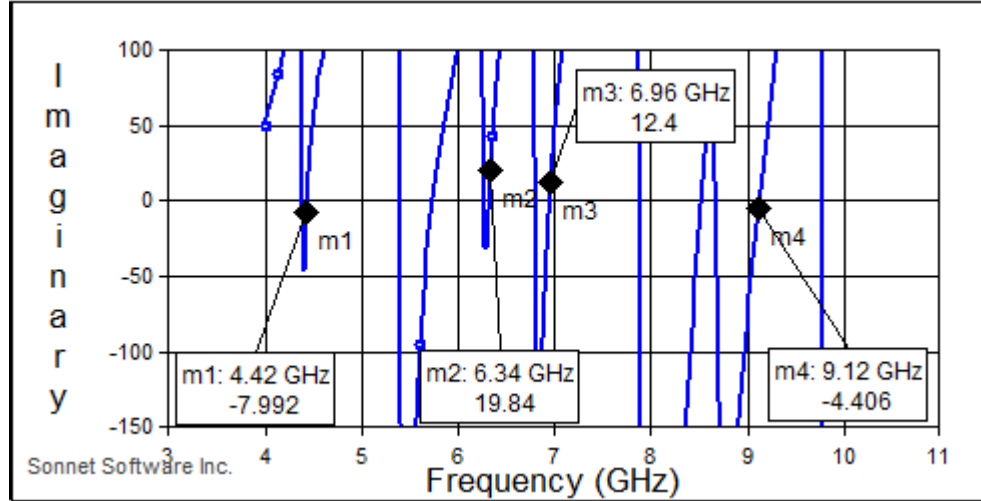
Şekil 3.60 – 6 delikli antenin gerçel giriş empedansı



Şekil 3.61 – 4 delikli antenin gerçel giriş empedansı



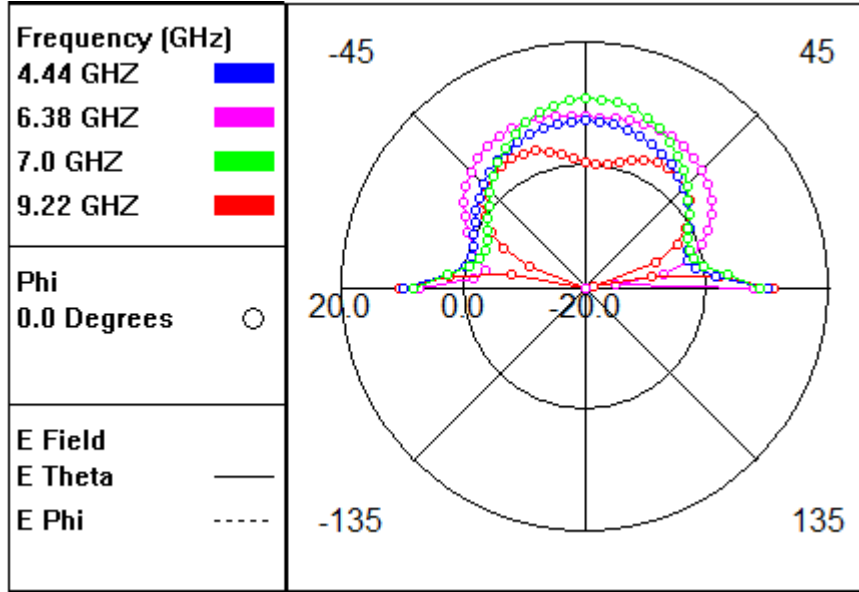
Şekil 3.62 – 6 delikli antenin imajiner giriş empedansı



Şekil 3.63 – 4 delikli antenin imajiner giriş empedansı

Görüldüğü gibi gerçel empedans değerleri ideal 50 ohm'a yakındır. Antenlerin kazanç değerleri ise Şekil 3.64'dedir.

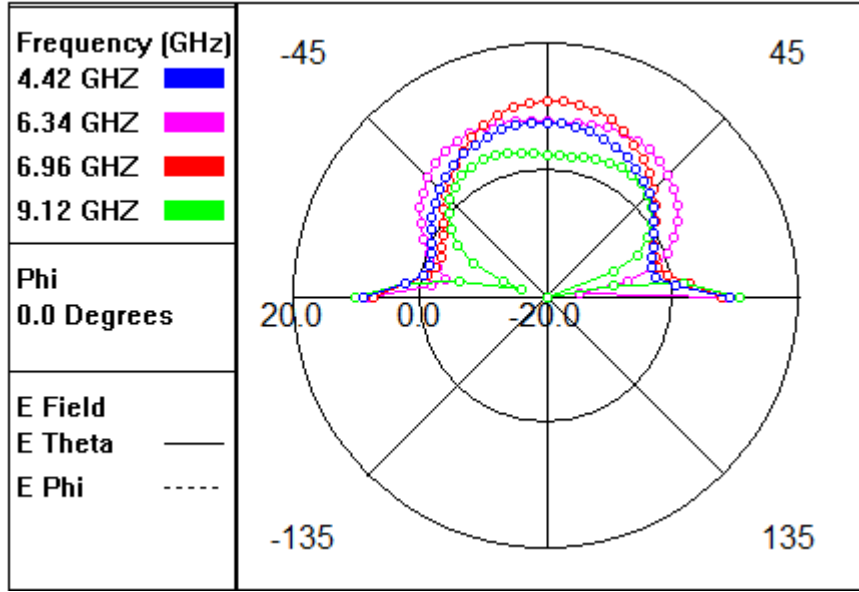
Daha önceki çalışmalardakine paralel kazançlar elde edildi buna ek olarak 9 GHz civarındaki kayıp ise yok oldu fakat o bölgede kazanç da elde edilmedi. Sayısal değerlerin tamamı tabloda verilmiştir.



Şekil 3.64 - 6 delikli antenin kazancı

θ (°)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	2.85	3.73	4.52	5.22	5.82	6.32	6.71	7.00	7.19	7.28	7.27
θ (°)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	1.76	2.76	3.66	4.47	5.17	5.77	6.26	6.66	6.96	7.16	7.27
θ (°)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	5.54	6.57	7.40	8.03	8.47	8.70	8.76	8.66	8.46	8.21	8.02
θ (°)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	6.21	7.09	7.73	8.16	8.36	8.45	8.32	8.15	8.00	7.94	8.02
θ (°)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	0.75	2.12	3.57	5.00	6.35	7.58	8.64	9.52	10.58	10.63	10.86
θ (°)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	2.05	3.51	4.96	6.32	7.56	8.63	9.51	10.18		10.63	10.86
θ (°)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 4.Rez.(dB)	1.69	2.87	3.68	4.16	4.31	4.15	3.71	3.00	2.12	1.21	0.49
θ (°)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 4.Rez.(dB)	2.24	3.10	3.58	3.69	3.46	2.93	2.17	1.30	0.57	0.24	0.49

Tablo 3.22 - 6 delikli örümcek görünümlü antenin E Theta Kazançları



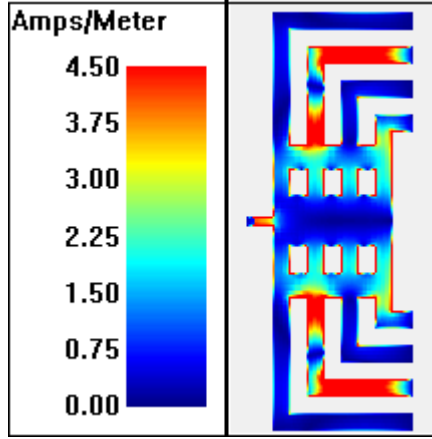
Şekil 3.65 - 4 delikli antenin kazancı

En son yaptığımız çalışmanın kazanç değerleri incelendiğinde kazanç olmayan kısımda bile kazanç elde edilmiştir.

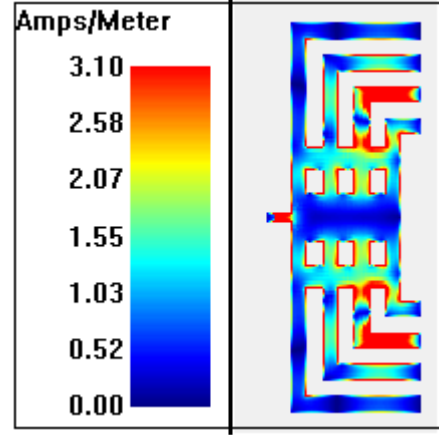
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	2.98	3.88	4.68	5.40	6.00	6.51	6.90	7.20	7.39	7.48	7.47
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 1.Rez.(dB)	1.91	2.93	3.85	4.61	5.37	5.98	6.47	6.87	7.17	7.37	7.47
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	5.55	6.56	7.35	7.94	8.32	8.50	8.49	8.33	8.07	7.80	7.62
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 2.Rez.(dB)	6.38	7.25	7.88	8.29	8.48	8.47	8.30	8.04	7.78	7.61	7.62
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	1.20	2.51	3.88	5.24	6.54	7.71	8.74	9.59	10.25	10.69	10.92
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 3.Rez.(dB)	2.33	3.77	5.19	6.53	7.73	8.77	9.63	10.25	10.71	10.93	10.92
θ ($^{\circ}$)	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Kazanç 4.Rez.(dB)	0.23	1.58	2.58	3.26	3.66	3.80	3.72	3.46	3.09	2.72	2.43
θ ($^{\circ}$)	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Kazanç 4.Rez.(dB)	1.65	2.60	3.19	3.47	3.49	3.30	2.98	2.64	2.39	2.31	2.43

Tablo 3.231 - 4 delikli örümcek görünümlü antenin E Theta Kazançları

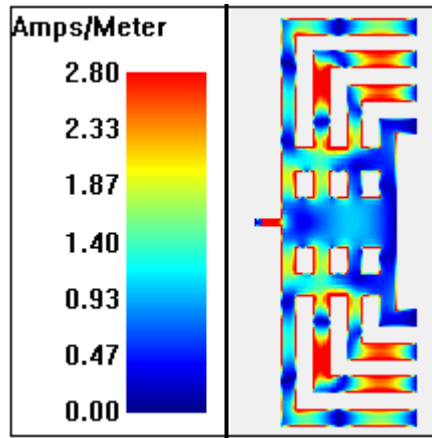
Delikli antenlerin akım yoğunlukları ise şöyledir :



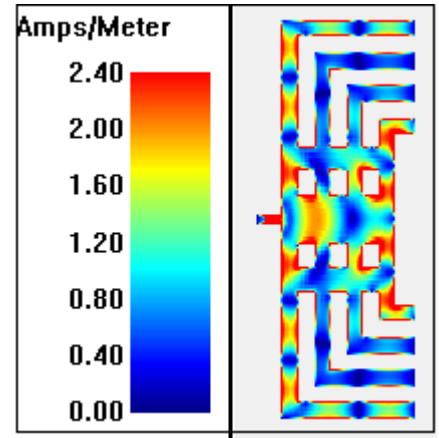
Şekil 3.66- 4.44 GHz'de 6 delikli ante
1.rezonans



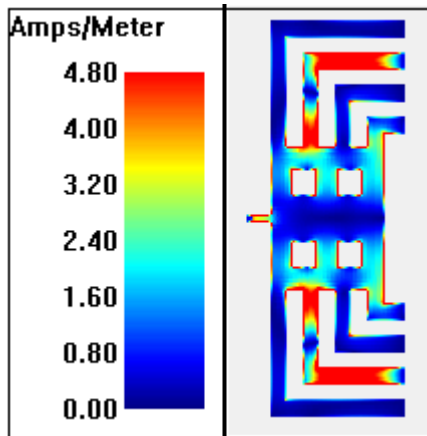
Şekil 3.67 - 6.38 GHz'de 6 delikli anten
2.rezonans



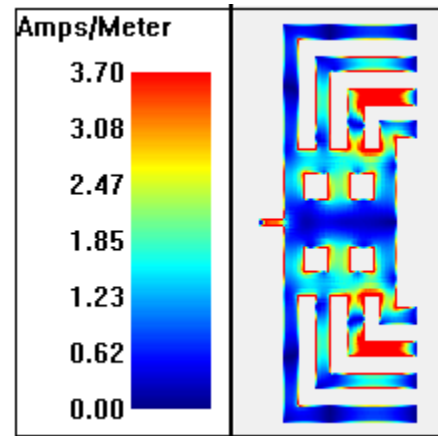
Şekil 3.68 - 7.00 GHz'de 6 delikli anten
3.rezonans



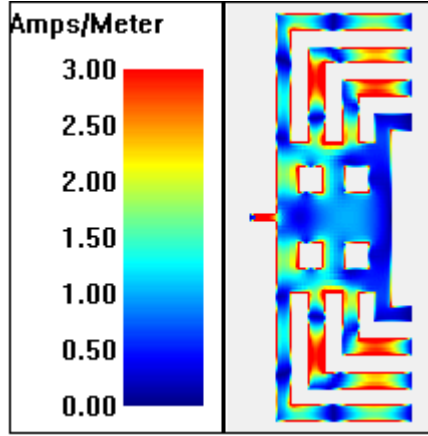
Şekil 3.69 - 9.22 GHz'de 6 delikli anten
4. Rezonans



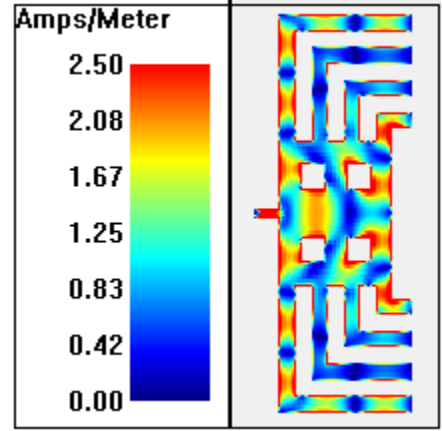
Şekil 3.70 - 4.42 GHz'de 4 delikli anten
1.rezonans



Şekil 3.71 -6.34 GHz'de 4 delikli anten
2.rezonans



Şekil 3.72 6.96 GHz'de 4 delikli anten
3.rezonans



Şekil 3.73 9.12 GHz'de 4 delikli
anten 4.rezonans

4. SİMÜLASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRMELER

İlk deneme sonucunda tek rezonanslı fakat geri dönüş kaybı çok düşük bir anten elde edildi. Bu antendeki kazancı arttırmak için besleme noktasında değişiklikler yapıldı. Bu parametrik değişimler doğrultusunda anten kazancı, geri dönüş kaybı, empedans değerleri, taşıyıcı frekanslardaki kaymalar gibi değerleri gözlemlendi. Referans noktası sabitledikten sonra, referans noktasını olduğu gibi kesip anten artık propla değil köşeden beslenmeye başlandı. Besleme noktası sabitledikten sonra besleme kablosunun yapısıyla oynandık. En ideal sonucu antenin geometrik yapısı dikdörtgen şeklinde olduğu için dikdörtgen beslemede elde edildi.

Daha sonraki aşamada tasarıma geriden başlandı ve tekrar tamamlandı. Öncelikle anten gövdesi incelendi. Sabitlenen hiç bir değerde oynama yapılmadan sadece hesaplama periyodunu sıklaştırılarak tekrar hesaplandı. Sadece antenin gövdesinde 4.475 GHz ve 8.85 GHz'de 2 adet rezonans elde edildi. Antene sırasıyla 2, 4, 6 ve 8 bacak eklendi. En sonunda örümcek görümlü mikroşerit yama anten tamamlandı. En iyi sonucu gövdeye eklenen 8. bacak ile alındı.

Buraya kadar yapılan işlemler tamamlandıktan sonra diğer parametreleri iyileştirmek için yeni araştırmalar içerisine girildi. Bu kez antende delik açmak denendi. Öncelikle 6 daha sonra 4 tane delik açıldı antende. Delik açılan antenleride 20'şer mil azaltıp arttırarak denemeler yapıldı. En uygun sonuçların matematiksel değerlerini tabloda gösterildi.

Yapılan bütün parametrik sonuçlar doğrultusunda anten son haline geldi.

5. KAYNAKLAR

a) Süreli Yayınlar

Dalia Mohammed Nashaat, Hala A. Elsadek, Member, IEEE, and Hani Ghali, Member, IEEE, "Single Feed Compact Quad-Band PIFA Antenna for Wireless Communication applications", IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 53, no. 8, august 2005 2631.

L. H. Wen, Y. Z. Yin, Z. Y. Liu, D. Xi, M. Zhang and Y. Wang "Performance Enhancement of Tri-band Monopole Antenna for wlan/wimax Applications", ACES Journal 22 (2007), no. 1, 155-163.

M. Koubeissi, M. Mouhamadou, C. Decroze, D. Carsenat, and T. Monédière, "Triband Compact Antenna for multistandard Terminals and User's Hand Effect Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation" Volume 2009, Article ID 491262, 7 pages doi:10.1155/2009/491262

M. Roshanaei† R. Faraji-Dana, "A New Quad-Band CPW-Fed Stacked Antenna for Wireless LAN Applications" 1-4244-0767-2/07 2007 IEEE.

S.-T. Fan, Y.-Z. Yin, H. Li, S.-J. Wei, X.-H. Li, and L. Kang "A novel tri-band printed monopole antenna with an etched n-shaped slot and a parasitic ring resonator for wlan and wimax applications" Progress in electromagnetics Research Letters, Vol. 16, 61-68, 2010

Shih-Yuan Chen, Member, IEEE, You-Chieh Chen, and Powen Hsu, Senior Member, IEEE "Cpw-fed aperture-coupled slot dipole antenna for tri-band operation" IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 7, 2008 535

Y.-J. Wu, B.-H. Sun, J.-F. Li, and Q.-Z. Liu, "triple-band omni-directional antenna for wlan application" Progress In Electromagnetics Research, PIER 76, 477–484, 2007

Yuehe Ge, Karu P. Esselle and Trevor S. Bird, "Small Quad-Band WLAN Antenna" 0-78-8883- 6/05, 2005 IEEE

Z. Merve Şencan and Ş. Taha İmeci "Patch Antenna with L-Shaped Radiators" ACES 2011, Williamsburg, Virginia.

Z. Merve Şencan and Ş. Taha İmeci “Spider shaped Quad Band Patch Antenna” ICNFI 2012, İstanbul, Turkey.

b) Kitaplar

Tanrikulu H (2008). WiMAX Standartları.

c) Tezler

Özdemir D (2009). Genişband GSM-UMTS Mikroşerit Yama Anten Tasarımı. İTÜ Yüksek Lisans Bitirme Tezi, İstanbul.

Tansarııkaya İ (2007). Geniş Bandlı Yama Anten Tasarımı. İTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

d) İnternet kaynakları

Sonnet Software, version 12.56, www.sonnetsoftware.com, 2009.

<http://www.scribd.com/doc/77392533/1/Mikro%C5%9Ferit-Yama-Antenlerin-Uygulama-Alanlar%C4%B1>

6. ÖZGEÇMİŞ

Zeliha Merve ŞENCAN 1987 yılında İstanbul'da doğdu. 2005 yılında Özel Koza Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2005 yılında Haliç Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünü kazandı. Lisans eğitimi sırasında zorunlu stajlarını TRT İstanbul Televizyonu'nda ve Türk Telekom Gayrettepe Müdürlüğünde tamamladı. Lisans tezini Sayısal TV Yayıncılık Temelleri ve Serbest Uzay Kayıpları üzerinde yaptı. 2009 yılında TRT İstanbul Televizyonu'nda çalışmaya, 2010 yılında Haliç Üniversite'si Elektronik ve Haberleşme mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı. Yüksek lisans eğitimi boyunca aldığı derslerdeki yaptığı çalışmalardan sırasıyla şöyledir;

Ulusal Hakemli Konferansda;

Z. Merve Şencan, Derya ARICAN ve Ş. Taha İmeci, "Sanal Stüdyo Tasarımı ve İzleme Setinin Kalibrasyon Hesaplamaları", 5. URSİ- Türkiye 2010 Bilimsel kongresi, 25-27 Ağustos 2010, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Kuzey Kıbrıs.

Uluslararası Hakemli Konferansda

Z. Merve Şencan and Ş. Taha İmeci, "Spider Shaped Quad-Band Patch Antenna", International Conference on Networking and Future Internet (ICNFI 2012), April 25th-27th, 2012 in İstanbul, Turkey.

Z. Merve Şencan and Ş. Taha İmeci, "Patch Antenna with L-Shaped Radiators", ACES (Applied Computational Electromagnetic Society) Conference 2011, March 27th-31st, 2011 in Williamsburg, Virginia.

2012 yılının Haziran ayından itibaren Baran Bilişim firmasında Proje Mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.