

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2.4 GHZ ALICI VERİCİ SİSTEMLER İÇİN DİYOT İLE
ENTEĞRE EDİLEN FREKANSI DEĞİŞEBİLEN AKTİF
MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ**

Ender KARAZEYBEK

Danışman: Doç. Dr. Adnan KAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2011**

TEZ ONAYI

Ender Karazeybek tarafından hazırlanan “**2.4 Ghz AlıcıVerici Sistemler için Diyet ile Entegre Edilen Frekansı Değişebilen Aktif Mikroşerit Anten Tasarımı ve Analizi**” adlı tez çalışması aşığıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Adnan KAYA (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :
Yrd. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Yavuz CENGİZ (İmza)
Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kablosuz Haberleşme Sistemleri ve Antenler.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. Materyal	10
3.2. Mikroşerit Antenlerin Yapısı	11
3.3. Mikroşerit Anten Parametreleri	14
3.3.1. Işıma örüntüsü.....	14
3.3.2. Yönlendiricilik	16
3.3.3. Anten verimi.....	16
3.3.4. Kazanç.....	17
3.3.5. Bant genişliği	18
3.3.6. Polarizasyon	19
3.3.7. Giriş empedansı.....	20
3.4. Geleneksel Mikroşerit Anten Tasarımı	20
3.5 Dizi Antenler.....	26
3.6. Mikroşerit Antenleri Besleme Teknikleri	29
3.7. Dc Besleme Yöntemleri	32
3.8. Aktif Mikroşerit Antenler	33
3.8.1. Osilatör tipli aktif antenler	33
3.8.2. Frekans dönüşüm tipli aktif antenler.....	34
3.8.3. Amplifikatör tipli aktif antenler	35
3.9. Aktif Mikroşerit Anten Tasarımı	37

3.10. Aktif Mikroşerit Anten Tasarımında Kullanılan Materyaller	38
3.11. Yöntem.....	40
3.11.1. İletim hattı metodu	41
3.11.2. Oyuk modeli.....	41
3.11.3. Moment metodu	42
3.11.4. Sınırlı-farklı zaman alan metodu (FDTD)	43
3.11.5. Sonlu eleman metodu (FEM).....	45
3.12. Simülasyon Yöntemi.....	46
3.13. Üretim	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	48
4.1. Pasif Anten Tasarımı.....	48
4.1.1. Pasif dizi anten tasarımı	54
4.1.2. Pasif antenin laboratuvar sonuçları	57
4.1.3. Kablosuz yerel alan ağ uygulaması.....	61
4.1.4. Dielektrik sabitinin değişimi	62
4.2. Aktif Eleman Kullanımı.....	63
4.2.1. Tek aktif eleman kullanımı	64
4.2.2. Aktif elemanın konumun etkisi.....	69
4.2.3. Birden fazla aktif eleman kullanımı.....	70
4.2.4. Aktif dizi anten tasarımı.....	71
4.3. Aktif Anten Laboratuvar Sonuçları.....	75
5. SONUÇ	86
6. KAYNAKLAR	88
EKLER.....	90
ÖZGEÇMİŞ	93

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

2.4 GHZ ALICI VERİCİ SİSTEMLER İÇİN DİYOT İLE ENTEGRE EDİLEN FREKANSI DEĞİŞEBİLEN AKTİF MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ

Ender KARAZEYBEK

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Adnan KAYA

Bu tez çalışmasında 2.4 Ghz ISM bandında çalışan kablosuz haberleşme sistemlerinin alıcı-verici sistemlerinin en önemli bloklarından biri olan anten tasarlanmıştır. Tasarlanan antenler, mikrodalga sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir program olan CST microwave studio 2011 üzerinde tasarlanmış ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi yapılmıştır.

Öncelikli olarak Aktif eleman kullanılmadan geometrideki süreksiz noktalar artırılmış ve merkez frekansının ne denli değiştiği incelenmiştir. Ayrıca mikroşerit antenin bağıl dielektrik sabitinin değişimi de incelenmiştir. Sonuçları analiz edilmiştir. Mikroşerit yapı kullanılarak elde edilen pasif antenler günümüzde evlerimize kadar gelen ve kablosuz modem olarak bilinen alıcı-verici cihazların anten çıkışına yerleştirilmiş ve performansı gözlenmiştir.

2.4 Ghz frekansı bölgesi seçilmiş olup tasarlanan tüm aktif antenlerin tasarımlarda kapasitif, pin diyot gibi aktif elemanlar kullanılmıştır. Kullanılan aktif elemanların eşdeğer devre modelindeki sanal empedans minimize edilerek dc besleme değerinin değiştirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede rezonansa geldiği frekansı (merkez frekansı) isteğe bağlı olarak değiştirilmesi sağlanmıştır. Aktif eleman konumunun ve sayısının anten üzerindeki etkisi incelenmiş ve analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: mikroşerit anten, kapasitif diyot, ayarlanabilir aktif anten.

2011, 89 sayfa

ABSTRACT

M. SC. Thesis

FOR 2.4 GHZ TRANCEIVER RF FRONT-END WIRELESS APPLICATION FREQUENCY TUNABLE ACTIVE MICROSTRIP ANTENNA DESING AND ANALYSIS

Ender KARAZEYBEK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Electronics and Communication Engineering Department**

Supervisor: Dr. Adnan KAYA

In this study, active and passive microstrip antennas are designed as which is one of the most important blocks of the 2.4 GHz ISM band transceiver wireless communication systems. The antennas is designed and made in the CST microwave studio 2011 program and is implemented in laboratory.

Firstly, Geometry which has not got an active element is used. Discontinuous points are increased in the geometry, and the central frequency of the active element has been investigated to what extent. In addition, in relative permittivity microstrip changing is investigated. Results were analyzed. Passive antennas which is obtained by microstrip structure is used to observe performance of transceiver is known as a wireless modem. The antenna was placed in the output of the modem or transceiver.

2.4 GHz frequency region is chosen active antenna designs, the pin or capacitive diode is used as active elements in antenna. Active elements' equivalent circuit model is used to minimize virtual impedance by changing the value of dc supply. In this way, resonance frequency (center frequency) has been changed to optional. The number of active antenna element and its effect on the position are examined and analyzed.

Key Words: microstrip antenna, capacitive diode, tunable active antenna.

2011, 89 pages

TEŐEKKÖR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorluklarda bilgi ve tecrübesi ile destek veren, literatür araştırmalarımnda yardımcı olan, engelleri aşmadaki gösterdiği yardımlar ve emekler için değerli Danışmanım olan Dr. Adnan KAYA'ya, laboratuvar uygulamaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN'a ve Mehmet Ali BELEN'e teőekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde bana zaman ve hız kazandıran, ve her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Hande KARAZEYBEK'e sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ender KARAZEYBEK

ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Alıcı-Verici sistem Blok Şeması.....	4
Şekil 3.1. Mikroşerit Anten (a) Yama (b) Yandan görünüş (c) Koordinat sistemi....	13
Şekil 3.2. Işıma örüntüsünün koordinat sistemindeki görüntüsü	14
Şekil 3.3. (a) Anten referans terminalleri (b) Yansıma, iletim ve dielektrik kaybı... 16	
Şekil 3.4. Polarizasyon tipleri	19
Şekil 3.5. Mikroşerit anten ve iletim hattı modeli.....	23
Şekil 3.6. Eşdeğer devre modelleri (a) Dikdörtgen mikroşerit yama anten için	24
(b) Yamadaki yarık etkisi (c) Basitleştirilmiş devre	24
Şekil 3.7. Yarık dikdörtgen mikroşerit yama antenin eşdeğer devresi	25
Şekil 3.8. Doğrusal anten dizisi	27
Şekil 3.9. Dizi faktörü ile anten dizi modeli oluşumu	28
Şekil 3.10. Besleme hattı mikroşerit anten yapısı	29
Şekil 3.11. Besleme metodunun üstten ve yandan görünüşü.....	30
Şekil 3.12. (a) Mikroşerit hat ile besleme (b) İletim hattı eşdeğer modeli.....	30
Şekil 3.13.(a) Işıma yüzeyinden beslenen mikroşerit anten (b) Eşdeğer devre modeli (c) Işıma olmayan yüzeyden beslenen mikroşerit anten (d) Eşdeğer devre modeli	31
Şekil 3.14. Yarık tipi eş düzlemsel mikroşerit besleme	32
Şekil 3.15. Dc besleme uygulamaları.....	32
Şekil 3.16. Gunn diyot ile bütünleşmiş osilatör tipli aktif anten (a) örnek geometri (b) mosfet ile yapılan osilatör tipli aktif anten (Dong-hyuk choi, 2005).....	34
Şekil 3.17. Fet kullanarak entegre edilmiş osilatör tipli aktif antenler	34
Şekil 3.18. (a) Frekans Dönüştürücü tip (Mikser modeli) (b) Tasarlanmış bir anten (M.S Nishamol, 2010)	35
Şekil 3.19. Frekans kıvraklı modeli	35
Şekil 3.20. (a) Yükselteç tipli antenin alıcı gibi davranan modeli (b) yükseltici tipli mikroşerit anten	36
(Compact and Broadbant Microstrip Antennas,1999)	36
Şekil 3.21. Yükselteç tipli antenin verici gibi davranan modeli	36
Şekil 3.22. Diyot ile entegre edilmiş aktif anten modeli.....	37
Şekil 3.23. Diyotun yama üzerindeki konumu ve yamaya yerleştirilmesi.....	38

Şekil 3.24. Aktif Antenin iletim hattı eş değer modeli	38
Şekil 3.25. Diyot'un lineer olmayan eşdeğer devresi	38
Şekil 3.26. BA592 diyotun ters-gerilim-kapasite grafiği	39
Şekil 3.27. (a) Tamamen büyük ızgaralama (b) Tamamen küçük ızgaralama (c) Alt ızgaralama.....	44
Şekil 3.28. Bir geometri üzerinde fdtd ızgaralama işlemi.....	44
Şekil 4.1. Tasarlanan bazı antenler	48
Şekil 4.2. Tasarlanan pasif anten	49
Şekil 4.3. Pasif antenin S_{11} sonuçları	49
Şekil 4.4. Pasif antenin uzak alan örüntü sonuçları	51
Şekil 4.5. Pasif anten pcb devresi	52
Şekil 4.6. Pasif anten grafikleri (a) kazanç (b) uzak alan örüntüsü.....	52
Şekil 4.7 Mikroşerit anten (Belen, 2011)	53
Şekil 4.8. Literatürdeki anten ile karşılaştırmalı performans analizi	53
Şekil 4.9. Pasif dizi anten.....	54
Şekil 4.10 Pasif dizi anten sonuçları (a) geri dönüş kaybı (b) uzak alan örüntüsü (c) kazanç	55
Şekil 4.11 Pasif dizi antenin polar düzlemdeki görüntüsü.....	56
Şekil 4.12. (a) Spektrum analizör (b) Mikroşerit antenler	57
Şekil 4.13. Anten geri dönüş kaybı ölçüm yapısı.....	58
Şekil 4.14. Yönel bağıştırıcı	58
Şekil 4.15. Pasif anten geri dönüş kaybı ölçümü	59
Şekil 4.16. Pasif anten spektrum analizör sonucu.....	59
Şekil 4.17. Referans antene bağılı olarak kazanç ölçümü.....	60
Şekil 4.18. Pasif antenin spektrum analizör kazanç sonucu.....	60
Şekil 4.19. Alıcı-Verici sistem ile antenin bağılantısı.....	61
Şekil 4.20. Çubuk anten ile elde edilen sonuç	62
Şekil 4.21. Mikroşerit anten ile elde edilen sonuç	62
Şekil 4.22. Bazı aktif elemanları kapasite-gerilim eğrisi (a) Bas70 (b) Bas83 (c) Ba592 (d) Bb721	64
Şekil 4.23. Aktif anten	65
Şekil 4.24. Aktif eleman kullanılan antenin geri dönüş kaybı, uzak alan örüntüsü ve kazanç grafiği.....	68

Şekil 4.25. Aktif elemanın farklı konumlardaki durumu	69
Şekil 4.26. Birden fazla aktif eleman kullanımı.....	70
Şekil 4.27. Aktif dizi anten tasarımı	71
Şekil 4.28. Dizi anten simülasyon sonuçları	72
Şekil 4.29. Aktif dizi anten uzak alan örüntü polar sonuçları	73
Şekil 4.30. Mikroşerit dizi anten (Belen, 2011)	74
Şekil 4.31. Aktif anten pcb.....	75
Şekil 4.32. Aktif elemanın S11 sonucu.....	75
Şekil 4.33. 1 ohm'luk direnç eklenmesi halinde aktif antenin görüntüsü.....	76
Şekil 4.34. 1 ohm'luk direnç bağlanması durumu	76
Şekil 4.35. Dc gerilime bağlı geri dönüş kaybı.....	77
Şekil 4.36. Aktif eleman üzerindeki S21 ölçümleri	80
Şekil 4.37. Aktif anten ışıma örüntü ölçüm sonucu.....	82
Şekil 4.38. 1 pF kapasite eklenme durumu	82
Şekil 4.39. Test verici S21 sonucu	83
Şekil 4.40. FPV542 model görüntü ve ses vericisi	83
Şekil 4.41. FPV542 model görüntü sistemi test sonucu.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Kablosuz yerel alan ağları için 2.4 Ghz ISM bandı frekansları.....	3
Çizelge 3.1. Mikroşerit anten tasarımıdaki parametre bilgileri.....	26
Çizelge 3.2. FR4 malzemenin özellikleri.....	40
Çizelge 3.3. Nümerik metotların karşılaştırılması	46
Çizelge 4.1 Antenlerin simülasyon sonucu performans parametre değerleri	48
Çizelge 4.2. Dielektrik malzeme özellikleri.....	49
Çizelge 4.3. pasif dizi anten sonuçları	57
Çizelge 4.4. Dielektrik sabitinin değişimine bağlı önemli parametrelerin değişimi..	63
Çizelge 4.5. Aktif elemanın etkisine bağlı anten performans sonuçları	66
Çizelge 4.6. Direnç değişimine bağlı anten performans değişimi	66
Çizelge 4.7. Gerilime bağlı anten parametre değişimleri.....	67
Çizelge 4.8. Aktif elemanın konumuna bağlı performans parametreleri.....	70
Çizelge 4.9. Aktif eleman sayısına bağlı anten performans parametreleri	71
Çizelge 4.10. Aktif dizi anten sonuçları.....	73
Çizelge 4.11. Dizi anten karşılaştırma sonuçları.....	74
Çizelge 4.12. Anten sonuçları	85

SİMGELER DİZİNİ

AP	Access Point
dB	Desibel
CAD	Computer Aided Design
Dc	Direct Current
DP	Dairesel polarize
FDTD	Finite-Difference Time-Domain
FEM	Finite Element Method
FET	Field-Effect Transistor
FR4	Aleve Dayanıklı 4
Ghz	Gigahertz
GSM	Mobil iletişim için küresel sistem
HBT	Heterojunction bipolar transistor
HEMT	Heterostructure FET
HPBW	Half Power Beamwidth
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMPATT	IMPact ionization Avalanche Transit-Time
ISM	Bilimsel, endüstriyel ve tıbbi
ITU	Uluslararası telekomünikasyon birliği
ITU-RR	Uluslar arası telekomünikasyon birliği şartname önerisi
L	Uzunluk
LNA	Düşük güçlü Yükselteç
m	Metre
MIC	Microwave integrated circuit
MMIC	Monolithic microwave integrated circuit
MHz	Mega Hertz
MoM	Method of Moments
MOSFET	Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor
PCB	Baskı devre kartı
pF	Picofarad
PTFE	Politetrafloretilen

Q	Quality Factor
RL	Return Loss
RLC	Direnç-Bobin-Kondansatör (Resistor-Inductor-Capacitor)
RF	Radyo frekansı
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TEM	Enine Elektromanyetik Modu
VSWR	Standing Wave Ratio
WLAN	Wireless Local Area Network (Kablosuz yerel alan ağı)

1. GİRİŞ

1.1. Kablosuz Haberleşme Sistemleri ve Antenler

Mikrodalga ya da daha genel bir ifade ile yüksek frekans devreleri günümüz uygulamalarında birçok değişik haberleşme sistemlerinde kullanılmaktadır (telefon, veri transferi uydu üzerinden internet, askeri uygulamalar, kablosuz yerel alan ağları (WLAN), bluetooth gibi) (Gupta, 2000).

Kurulum kolaylığı ve hareket serbestliği gibi önemli avantajlar sağlayan kablosuz haberleşme sistemleri kablolu ağların yerini alabilmekte hatta bu ağlara göre daha fazla fonksiyonlar içerebilmektedir. Kablosuz haberleşme sistemlerinde temel olarak elektromanyetik sinyali ileten bir alıcı ve aynı sinyalin alınmasını sağlayan bir verici sistemin bulunduğu bir cihaz ya da devreler topluluğudur. Eğer iletim ya da alım yapan fonksiyonlar arasında bir devre bağılılığı yok ise bu durumun karşılığı ayrı ayrı alıcı ve verici devre olarak tanımlanır tersi durumda alıcı-verici olarak sistem isimlendirilir (Balanis, 2005).

Cep telefonu sistemlerinin yaygınlaşması ile dikkat çekmeye başlayan kablosuz haberleşme sistemleri, daha hızlı veri alışverişine olanak sağlayan yapıları ile yeni oluşturulan protokoller içerisinde kullanımı en hızlı artan sistemler olmuşlardır. Kablosuz sistemler, özellikle kısa mesafe veri iletişim sistemleri içerisinde, en az kablolu olanlar kadar hızlı ve güvenilir olmaktadır. Kablosuz yerel alan ağ (WLAN) sistemleri, entegre devre teknolojileri ile üretilebilmekte ve böylelikle düşük maliyetli sistemler oluşturulabilmektedir. Kısa mesafe, hızlı veri alışverişine uygun kablosuz haberleşme protokolü olan IEEE 802.11b/g, 2.4–2.5 GHz bandında çalışmakta ve geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır.

Anten tasarımı kablosuz haberleşme sistemlerinde en aktif alanlardan birisi olmaktadır. Özellikle radyo frekansının bulunmasından sonra basit antenler kullanılarak hava ortamından elektrik sinyaller elektromanyetik dalgalara dönüşerek iletmeye başlanmıştır. Alıcı-verici sistemlerde kablolu kullanımın yanı sıra kablosuz kullanım yaygınlaşmış ve anten alıcı-verici sisteminin en önemli yapılarından birisi haline gelmiştir.

Yüksek performans isteyen uçak, uzay, uydu ve füze (mermi) sanayi uygulamalarında boyutu, maliyeti, performansı, kolay kurulumu ve aerodinamik yapılara uygulanabilir olması için düşük-profil antenler tercih edilmektedir. Şimdi mobil radyo ve kablosuz iletişim yapan ticari ve devlet uygulamalarında da benzer belirtiler bulunmaktadır. Bu gereklilikler bize mikroşerit antenlerin kullanılmasının daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tip antenler düşük profile sahip olması, düzlemsel yada düzlemsel olmayan yüzeylere kolaylıkla monte edilebiliyor olması, ucuz ve modern baskı devre teknolojisi ile kolaylıkla üretilebiliyor olması, mikrodalga entegre devreler ile uyumlu çalışması ve özel bir yama şekli ve modu seçildiğinde empedans, ışınma örüntüsü, polarizasyonu ve rezonans frekansına bağlı çok yönlü özellikler gösterebilmesi ayrıca yama ile toprak düzlemi arasına yerleştirilen varikap, pin gibi adaptif özelliğe sahip diyotlar ile rezonans frekansı, empedans, polarizasyon ve ışınma örüntüsü üzerindeki etkileri kolaylıkla değiştirebiliyor olması tercih sebebi olmaktadır (Balanis, 2005). Mikroşerit antenlerin işlemsel en büyük dezavantajları düşük verim, düşük güç, yüksek Q (bazı durumlarda 100'ün üzerine çıkmaktadır.), zayıf polarizasyon saflığı, zayıf tarama performansı, yapay besleme ışınması ve çok dar bant genişliğidir. Bazı devlet uygulamalarında dar bant genişliği tercih edilmektedir. Fakat kullanılan malzemenin yüksekliği arttırmak gibi bazı metotlar verimi ve bant genişliğini arttırabilir. Bununla birlikte yüksekliğin artması durumunda ise yüzey dalgaları doğrudan istenile yöne toplam iletilebilecek gücü iletmediğinden dolayı istenilmeyen bir durum meydana gelmektedir. Yüzeyden yayılan bu dalgaların uçlarda ve yüzeyde saçınımlara neden olacak ve antenin ışınma örüntüsü ve polarizasyonu değiştirecektir (Balanis, 2005).

Mikroşerit antenlerin uygulamalarında kullanımı lisans alınmasına gerek olmayan ISM bantları (bilimsel, endüstriyel ve tıbbi) çoğunlukla tercih edilmektedir. ISM bantları ITU (uluslararası telekomünikasyon birliği) tarafından 13560 Khz, 27120 Khz, 40,6 MHz, 915 MHz, 2450 MHz, 5800MHz ve 24.125 GHz merkez frekanslarında dünya genelinde tahsis edilmiştir. 900 MHz bandı sadece ITU-RR (uluslar arası telekomünikasyon birliği şartname önerisi) ikinci bölge için ISM bandı olarak belirlenmiştir. Bu nedenle ITU-RR birinci bölgede yer alan Türkiye'de GSM (mobil iletişim için küresel sistem) için tahsis edilmiş olup; kablosuz yerel alan ağ haberleşme sistemlerinde kullanılmamaktadır. Kablosuz yerel alan ağ sistemleri için

2.4 GHz bandında 2400-2483.5 MHz frekans aralığı, 83.5 MHz bant genişliği ve 13 adet kanal tanımlanmıştır. Bu kanallar ve her kanalın merkez frekans değeri Çizelge 1.1.'de yer almaktadır. Ancak bu 13 kanaldan sadece 3 adedi (1, 7 ve 13) aynı ortamda girişim yaratmadan çalışabilirler. Çünkü bu kanalların frekans aralığı 5 MHz olmasına karşın bir erişim noktaları 22 MHz frekans aralığı kullanmaktadır (Öztürk, 2004)

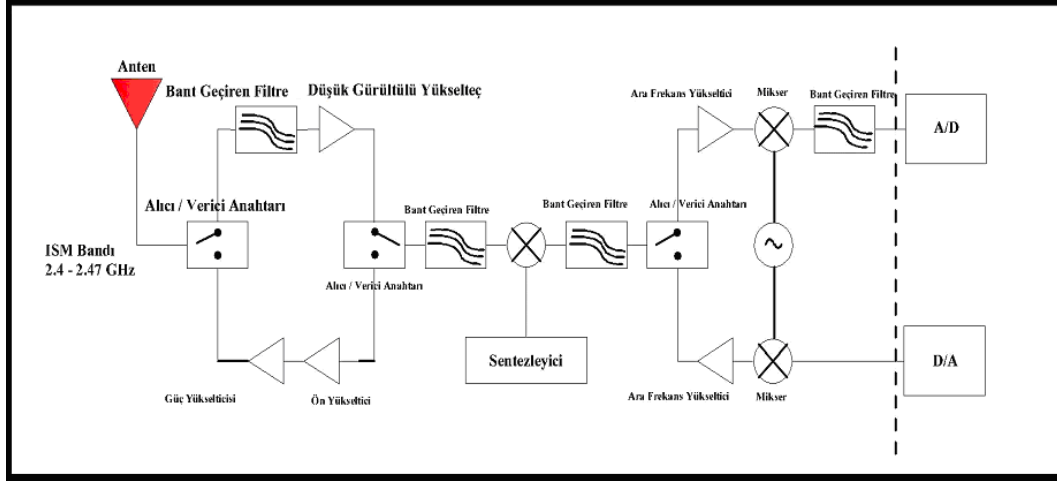
Çizelge 1.1. Kablosuz yerel alan ağları için 2.4 Ghz ISM bandı frekansları

Kanal	Merkez Frekansı
1	2412 Mhz
2	2417 Mhz
3	2422 Mhz
4	2427 Mhz
5	2432 Mhz
6	2437 Mhz
7	2442 Mhz
8	2447 Mhz
9	2452 Mhz
10	2457 Mhz
11	2462 Mhz
12	2467 Mhz
13	2472 Mhz

Kablosuz yerel alan ağ haberleşme sistemlerinde alıcı-verici devre sisteminin bir parçası olan anten tek yönlü olarak kullanılmamaktadır. Anten sistemde tüm yönler için yayılım yapmakta ve boyutu alıcı ya da verici sistem üzerinde çok büyük olmaktadır. Bu nedenle bu sistemler için mikroşerit anten kullanımı ile hem boyut küçültülmek hem de tek yönlü daha güçlü sinyal gönderimini sağlamak hedeflenmiştir.

2.4 Ghz frekans bölgesinde çalışan bir alıcı-verici sistemin blok diyagramı şekil 1.1.'de yer almaktadır. Sistemin temel çalışma prensibi; gelen elektromanyetik sinyalin anten üzerinden alınarak gürültülerden arındırılmış orijinal sinyali elde ederek gerekli dönüşümler için diğer sistem ya da birimlere iletmektir. Bu açıdan bakıldığı zaman gelen sinyalin belli bir güç ile alınması ya da orijinal sinyalin belli bir güç ile ortamda iletilmesi için anten çok önemli yere sahip olmaktadır. Bu nedenle iletilen ya da alınan alıcı-verici sistem üzerindeki diğer devreler bağlanırken

giriş empedansı çok önemlidir. Mikroşerit yapılar kullanılarak elde edilen aktif antenler hem giriş empedansının uyumlu olmasını hem de daha güçlü sinyal iletimi/alımını sağlayacaktır.



ISM bandında 2.4 Ghz bölgesinde çalışan sistemler Şekil 1.1'de belirtilen kanallardan oluşmaktadır. Aktif anten kullanılarak yapılan sistem ile aktif eleman çalışma frekansının değişimini sağlayarak birçok anten kullanmak yerine tek bir anten ile milisaniyeler mertebesinde frekans değişimini sağlanması hedeflenmiş hem de geniş bir frekans bölgesi üzerinde antenin işlevsel karmaşıklığının da azaltılması amaçlanmıştır.

Antenin performansının mevcut kullanılan antenlere nazaran daha iyimser olması ve ticari ya da askeri kablosuz yerel alan ağ uygulamaları için kullanılabilir antenler olarak tasarlanması hedeflenmiştir.

Bu projede tasarlanan mikroşerit antenler ISM bandında 2.4 Ghz frekans bölgesinde FR4 malzeme kullanılarak yapılmıştır ($\epsilon_r=4.6$, $h=1.6$ mm). Antenler aktif ve pasif olarak 2 sınıfta yer almaktadır. Aktif olarak nitelendirilen antenler mikroşerit yama üzerinde uygun bir yere ya da antenin ışımasını etkileyebilecek bir noktaya entegre edilebilen diyot, fet, mosfet gibi iki yada üç portlu elektronik devre elemanlarının anten ile rezonansa getirilmesi sonucu oluşur. Aktif eleman olarak diyot tercih edilmiştir.

Mikroşerit yapılar kullanılarak yapılan antenler öncelikle pasif yapıda ele alınmış, daha sonra aktif yapısı ile performansı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma CST Microwave Studio 2011 benzetim programı kullanılarak Sınırlı-farklı zaman alan metodu yardımı ile yapılmış, ayrıca tasarımı gerçek laboratuvar koşullarında test edilmiştir. Kullanılan aktif elemanın performansı, aktif elemanın konumu, sayısı, mikroşerit malzemenin dielektrik sabiti, anten üzerinde iletim hattı kullanımı gibi etkenler en önemli anten parametreleri olan merkez frekansının değişimi, empedans uyumu, ışıma örüntüsü üzerinde ne derece etkili olduğu simülasyon ve laboratuvar ortamında gözlenmiştir.

Birinci bölümde kablosuz alıcı verici sistemlerle ilgili temel bilgiler yer almaktadır. Ayrıca RF devre teknolojileri ile 2.4 GHz ISM bandında çalışan kablosuz teknolojilere kısa bir giriş yapılmıştır.

İkinci bölümde mevcut literatürde bu alanda şu ana kadar hangi çalışmaların yapıldığı ortaya konulmuş, yapılan araştırma ile ilgili önceki çalışmalar, kronolojik veya mantıksal bir bütünlük içindeki yaklaşımlarla sunulmuştur. Ayrıca daha önceki çalışmalardan nelerin öğrenildiği ve hangi konuların hala yanıt beklediği ortaya konulmuştur.

Üçüncü bölümde mikroşerit antenlerin temel prensipleri, antenlerin önemli parametreleri ve bunların matematiksel ifadeleri ele alınmıştır. Geleneksel mikroşerit anten tasarımı incelenmiştir. Ayrıca mikroşerit antenler üzerine yerleştirilen aktif elemanların hangi tip uygulamalar için kullanıldığı ve besleme teknikleri üzerinde temel bilgiler verilmiştir. Dizi anten tasarımı ve temel prensipleri ele alınmıştır. Antenlerin analizi için kullanılan nümerik metotlar genel hatları ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde Kablosuz yerel alan ağ uygulamalarında OSI katmanının 1. seviyesi olan fiziksel katman üzerinde çalışma yapılmıştır. Kablosuz yayın yapan modem'lerin kullanıldığı çok yönlü ışıma yapan çubuk antenler yerine projede tasarlanan mikroşerit antenler kullanılmıştır. Tasarlanan mikroşerit pasif anten ile

çubuk antenlerin ışına performansı wirelessmon programı aracılığı ile karşılaştırılmıştır. Mikroşerit anten için dielektrik sabitinin değişimi simülasyon ortamında incelenmiş ve sonuçları analiz edilmiştir. Aktif eleman kullanarak, aktif elemanın ters gerilime bağlı kapasitif değerinin değiştirerek antenin rezonansa geldiği frekansı değiştirmektir. Bu metot uygulanabilir olması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu metotlara pasif ya da aktif antenlerin performansını arttırabilmek için süreksiz nokta sayısının arttırılması ve aktif elemanın anten üzerindeki konumunun etkisi de değerlendirilerek daha hassas ve performansı yüksek frekans kıvraklı aktif antenler tasarlanmıştır. Ayrıca antenlerde kullanılan aktif elemanın konumu antenin performansı üzerindeki etkisi üzerinde odaklanılmış besleme, kullanılan malzemenin dielektrik değeri, lehimleme, kullanılan aktif eleman sayısı, iletim hattı kullanımı gibi unsurlar değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar, ilerisi için düşünülecek projeler ve öneriler yer almaktadır.

Özetle bu tezde, alt başlıklarda yapılan çalışmalar, kullanılan gereç ve yöntem, ulaşılan bulgular ve sonuçlar detaylıca anlatılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

1994 yılında Lin vd. besleme hattı ile anten arasına aktif elemanlar kullanılarak bant genişliğinin arttırıldığı çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında aktif entegre antenlerin gelişimini ve farklı tiplerdeki aktif entegre antenlerin devre yapılarını incelemiştir. Entegreler ile düşük profilli pasif anten elementleri birleştiren çeşitli devreler gösterilmiştir. Yarı optik güç birleştirici diziler ve ışın tarama fazlı dizilerin uygulamalarını incelemiştir. Modern MIC ve MMIC fabrikasyon teknolojisi kullanımı ile kompakt, hafif ve düşük maliyetli aktif entegre antenler üretilmiştir.

Lin vd. (1999a), 2.4 GHz yükselteç tipli dairesel polarize (DP) aktif mikroşerit antenlerin tasarımı çalışmasında, alıcı için düşük gürültülü yükselteç (LNA) ve verici konfigürasyonu için A sınıfı güç yükselteci kullanmıştır. İki adet ortogonal besleme için Lange kuplör kullanan 2.4 GHz DP kare mikroşerit anten tasarlamıştır. Mikroşerit antenin boyutları, giriş SWR, akım dağılımı ve ışınma örüntülerini doğru bir biçimde belirlemek için spektral-dağarcık elektrik alan integral denklem (SD-EFIE) tekniğinden faydalanılmıştır. Yarı dengeli yükselteçler (PA, LNA) tasarlamış ve verici ya da alıcı tipli DP aktif mikroşerit anten oluşturmak için mikroşerit anten ile entegre etmiştir. Mikroşerit anten/yükselteç modülleri toprak düzlemleri birbirine lehimlemek suretiyle, iki adet FR-4 malzeme üzerinde üretilmiştir. Bu çalışmasında, DP aktif mikroşerit antenlerin potansiyel uygulama alanlarının endüstriyel, bilimsel ve medikal (ISM) bant kablosuz telefonlar veya kablosuz yerel ağlar için baz istasyon antenlerini kapsadığını belirtmiştir.

Mikrodalga/kablosuz sistemlerdeki radyo frekans bileşenlerinin tamamı düşünüldüğünde antenler yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinde diğer bileşen ya da devrelere göre en az dikkat edilecek kısım olarak düşünülmesi mümkündür. Ancak bu durum birçok yanlışlığın doğmasına neden olmaktadır. Antenin günümüz kuşaktaki kablosuz telefon sistemlerindeki verimi ışınan gücün büyük bir kısmının baş ve eller tarafında emildiği düşünülürse %50 civarındadır. Bu nedendir ki sistemdeki kazanç, duyarlılık, verim gibi unsurlar antenin performansının arttırılması ile artabileceğini aşıkârdır (Tatsuo, 2001).

Gelecek nesil için kablosuz sistemler için antenin tipi kritik bir role sahip olacaktır. Frekans tıkanıklığı ve üst sistemlerin bant genişlik ihtiyacı (dijital video iletimi gibi) mikrodalga ve milimetrik dalga bölgelerinde çalışma frekansını gittikçe sıkıştırmaktadır. Bu frekans bölgelerinde dipol ve monopol antenler gibi standart performansa sahip kablosuz sistem antenleri zayıf saflığa sahip olması düzlemsel antenlerin seçilmesini sağlamıştır. Bu tip antenlerin bazı avantajları vardır. İlk olarak dalga kılavuzlu antenlere göre uygun fiyata mal edilebilirler ayrıca düzlemsel olmaları onların farklı elektronik sistemler ile entegre olabilmelerini sağlamaktadır. Son yıllarda baz istasyonları ve cep telefonları da düzlemsel anten kullanmaktadır. Diğer önemli bir faktör ise düzlemsel entegre antenlerin mikrodalga yada milimetrik dalga devrelerinde entegre bir biçimde tasarlanabilir olmasıdır. Bunun doğal bir sonucu olarak aktif entegre antenler antenlerin yeni bir sınıfı olarak ortaya çıkmaktadır. Aktif antenler ile birçok benzersiz karakteristiği ile kombine edilebilen, düşük maliyetli, düşük boyutlu, düşük güç harcayan ve birçok yüksek derecede fonksiyona sahip sistem olarak son on yılda karşımıza çıkmaktadır (Tatsuo, 2001).

Kai Chang (2002), 2.4 Ghz osilatör tipli anten tasarımı çalışmasında, faz kontrolü sağlamak için FET tipi transistor kullanılarak ve bağlama devresi eklenerek osilatör tipli dizi anten tasarımı yapılmıştır. Dizi anten üzerindeki aktif elemanın ya da sistemin ne denli ilginç etkileşim gösterimi incelemek amacıyla ortak bir kaynaktan dış kilitleme, tek taraflı zincir kilitleme ve çoklu kilitleme şeklinde üç farklı varyasyon kullanılarak analiz edilmiştir.

Geleneksel Radar ve Kablosuz Sistemlerde antenler ile devreler birbirlerinden ayrı birer alt sistem olarak düşünülürdü. Bu iki topluluk tarafından antenler kendi alanlarında haberleşme sisteminin bir alt sistemi olarak gelişimini sürdürdü. Devreler ve antenler kendi kendilerine gelişmelerini sürdürdüler fakat genel olarak biri diğerinin alanının kompleksliği hakkında az bilgi sahibiydi. Bu iki topluluk diğer teknolojiler gibi, sistemin kurulmasına izin veren güç, frekans, empedans gibi parametrelerin yeterli durumunda bilinen bir arayüz üzerinde birleştirildiler. Bu durum da mikroşerit antenler üzerinde yapılması en uygunuydu ayrıca malzeme teknolojisinin günden güne gelişmesi de devre elemanlarının boyutlarının

küçülmesini bu yolla da antenler için kolaylıkla uyumlu olabilecek bir yapının, sistemin önünü açtı (Kumar 2003).

Öztürk, 2004 yılındaki tez çalışmasında, kullanıcılara hareket serbestliği ve bilgiye her yerden her zaman ulaşma imkânı sağlayan Kablosuz Yerel Alan Ağlarında (Kablosuz yerel alan ağları, WLAN) kullanılan teknolojiler, standartlar, düzenlemeler ve ülke örnekleri incelenmiş, Türkiye'deki mevcut durum ve sektör beklentileri tespit etmiştir. Çalışma boyunca, uluslararası kuruluşlar ve düzenleyici otoriteler ile yazışmalar, ilgili taraflar için düzenlenen anketler ve her türlü yayın üzerindeki araştırmalar yoluyla, WLAN sistemleri ile ilgili düzenlemeler incelenmiştir. Yapılan bu inceleme ve araştırmalar, WLAN sistemlerinin birçok gelişmiş ülkede yaygın olarak kullanıldığını, Türkiye'de ise gerekli düzenlemelerin yapılmamış olması nedeniyle yaygın olmadığını göstermektedir. Sonuç olarak, Türkiye'deki bilgi toplumu olma çabalarına katkı sağlayacağı düşünüldükçe, WLAN hizmetlerinin gelişmesine ve yaygınlaşmasına imkân veren bir düzenleme önerisi sunmaktadır.

Sung, 2004 yılındaki çalışmasında, yüksek potansiyelli anahtarlanabilen mikroşerit antenler çoklu uygulamalar için tasarlanmıştır. Yama üzerindeki bağımsız beslemeli PIN diyotlar, besleme gerilimine göre doğrusal polarizasyon ya da sol yada sağ el dairesel polarizasyon sağlayabilen antenler olarak tasarlanmıştır. Mikroşerit antenler için uygulanan mükemmel teknik anahtarlanabilen polarizasyon oluşumunu sağlamıştır ve teknik antenin empedansının değişmesi halinde polarizasyonun değişimini sağlayacaktır.

Nishamol, 2010 yılında yaptığı çalışmada, frekansı ve polarizasyonu değiştirilebilen mikroşerit anten tek bir besleme kullanarak tasarlanmıştır. Yama antenlerin üzerine yonga çip kullanılmıştır. Tasarlanan antende boyutun düşürülmesi, ortalama kazanç, düşük seviyede çapraz polarizasyon ışması ve her frekans için kapasitör değerinin değişimine bağlı değişmeyen ışma örüntüsü elde edilmiştir. Yonga kapasitör yerine varaktor diyot kullanılması halinde frekans kıvraklı antenleri genişletmek için tasarlanabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Düzlemsel antenlerin temelinde mikroşerit antenler yer almaktadır. Mikroşerit antenler ile ilgili ilk fikirler 1953 yılında atılmış ve 1955 yılında ilk patent alınmıştır. Daha sonra 1970'li yılların başında iyiden iyiye kullanılmaya başlanmış son yıllarda uzay araçları, uçaklar, radarlar uydu haberleşmesi, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda kolaylıkla kullanılabilir yapısı ve baskı devre teknoloji ile üretilmesi gibi kolay üretim tekniği ile mikrodalga antenleri içinde başlı başına bir konu biçimine gelmiştir.

Mikroşerit antenleri performansını anlamak ve üretim süresindeki aşamaları basit hale getirmek için birkaç nümerik analiz tekniğini geliştiren ve dönüştüren bilgisayar yardımcı programlar (CAD) oluşturulmuştur. Bu analiz teknikleri antenin fiziksel yapısının içerisinde oluşan elektriksel çalışma mekanizmasını tasarımcının elde etmesi için kullanılmaktadır.

Mikroşerit antenlerin gelişiminin ilk safhasında genellikle basit bir katman tasarlanır ve bu katman ışıma yapan metalik yama ya da yama dizileri şeklinde ince bir tabaka halinde bir malzemenin bir düzleminde. Ortada bir iletken olmayan tabaka ve diğer düzleminde metalik bir toprak düzlemi vardır. Metalik yama ince bakır bir folyodan ya da altın, kalay ya da nikelden yapılmış resistif bir metal ile korozyon edilmiş bakır folyodan yapılır. Tüm yamalar değişik bir şekil kullanılarak tasarlanabilir en popüler olanları ise dikdörtgen ya da dairesel yama antenlerdir. Malzemenin iletken olmayan tabakasının kalınlığı serbest uzay dalga boyu (λ_0) nun 0.01 – 0.05 katı arasındadır. Aslında bu tabaka yama ile yer düzlemi arasındaki mekaniksel destek ve uyumlu bir dış çevre sağlaması için kullanılır. Bu tabakanın boyutu azaltılırsa yüksek dielektrik sabitli malzemeler elde edilebilir. Tanjant kaybının 0.005'den daha küçük olması halinde malzemenin iletken olmayan bu kısmının ekleme kaybı oldukça düşük olmalıdır. Genel olarak malzemenin iletken olmayan bu katmanının dielektrik sabiti 3 kategoride yer almaktadır.

i.) Dielektrik sabiti $1,0 < \epsilon_r < 2,0$ olan malzemeler.

ii.) Dielektrik sabiti $2,0 < \epsilon_r < 4,0$ olan malzemeler.

iii.) Dielektrik sabiti $4,0 < \epsilon_r < 10,0$ olan malzemeler (örnek; seramik, kuvars, alüminyum.)

Dielektrik sabiti 10'dan büyük olan malzemeler bulunmakla beraber kullanımına dikkat edilmelidir çünkü antenin ışıma verimini düşürmektedir (Balanis, 2008).

Mikroşerit antenler, Herhangi bir yüzeye conformal edilebilir (Özellikle GSM sistemlerinde). Bu nedenle kablosuz uygulamalarda kullanımı kolaydır ve yaygındır. İletişim kalitelidir. SNR değerini artırır. Uzak mesafeler yayın yapabilir. Zayıf RF sinyaller için LNA görevi görür. Ucuza mal edilir. Yüksek frekanstaki iletim hattı kayıplarını azaltır. Lineer ya da düzlemsel dizi yapımı oldukça kolaydır. PCB yapımı oldukça rahat ve kolaydır. Mikrodalga entegre devreleri ile kolaylıkla entegre olabilir. Mikrodalga elemanları ile entegre edilen mikroşerit antenler aynı board yapısı kullandığı için sistemler arası uyumlandırma yapmak daha kolaydır. Bu özellikler mikroşerit antenlerin popüler olmasında oldukça büyük rol almıştır. Bunun yanı sıra mikroşerit antenlerin dar bant genişliği, zayıf polarizasyon saflığı, sınırlı güç kapasitesi, tolerans problemi ve dc biaslama problemi negatif yanlarıdır.

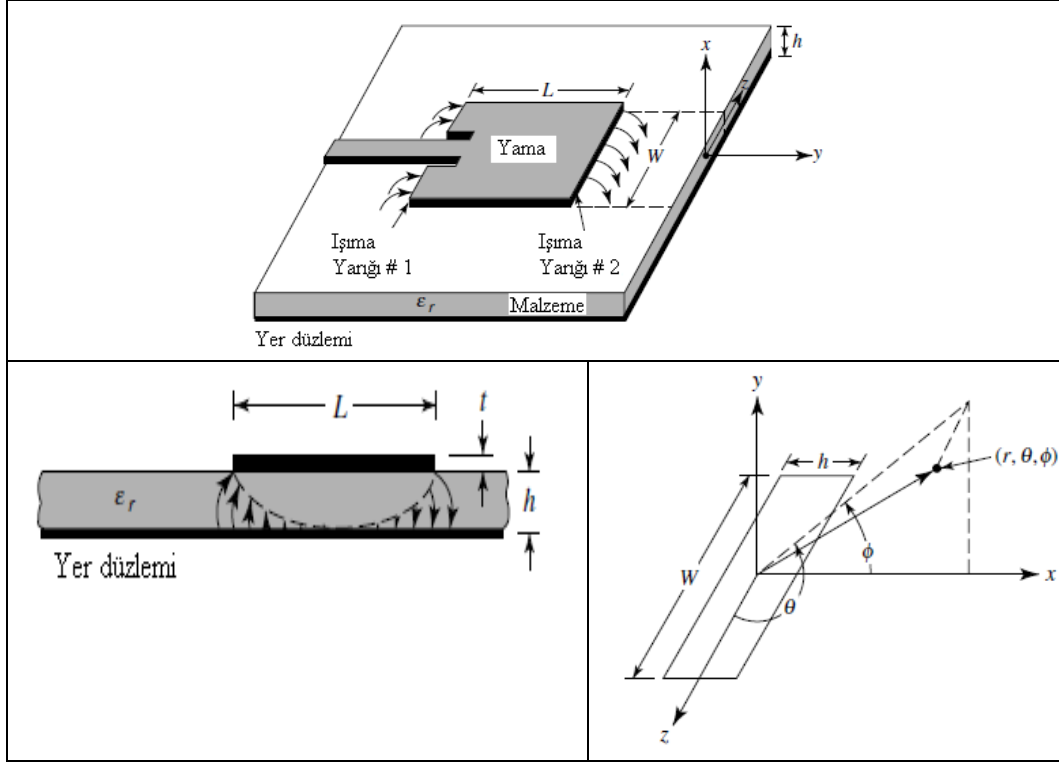
3.2. Mikroşerit Antenlerin Yapısı

Fiziksel olarak bir mikroşerit anten yapısı ince bir tabaka düşük kayıplı yalıtkan taban malzemesi, bu malzemenin bir yüzeyinde iletken ışıma yüzeyi, diğer yüzeyinde de tamamı iletkenle kaplı toprak tabakasından oluşur. Bununla birlikte taban malzemesi iki fonksiyonu yerine getirir. Bunlardan ilki, devre elemanlarının uygun bir şekilde monte edilmesine olanak sağlamak, mekanik açıdan bu elemanlara destek olmak; diğeri de bir transmision hattının parçası olarak işlev görmek ve dielektrik geçirgenliği ve kalınlığı itibari ile anteni veya devrenin elektriksel özelliklerini belirlemektir. Kalınlığı dalga boyunun küçük bir parçasıdır; dalga boyunun yüzde bir, ikisi gibi seçilir. Genelde mikroşerit anten yapımında yalıtkan taban malzemesi olarak alumina, kuartz ve cam katkılı PTFE (politetrafloretilen) gibi malzemeler tercih edilir. Metal yüzey genelde bakırdır ve kimyasal olarak taban

malzemesine yapıştırılmıştır. Metal tabakanın kalınlığı t , genelde 50-200 μm arasında değişir (Ramesh Garg, Prakish Bhartic,v.d, 2000).

Mikroşerit antenlerin uygulama alanı düşünöldüğünde keşfinden bir elli yıl sonrası hızlı bir yükseliş göstermiş özellikle son yirmi yıl oldukça hızlı ilerleme kaydetmiştir. Bu yükselişinde sadece mikroşerit antenlere has özelliklerinin ve birçok çekici özelliklerinin etkisi olmuştur. Gelecekte birçok uygulamada bulunacağına inanılmakta yine de küçük de olsa bir kuşku uyandırmaktadır. Düşük görünüşe sahip olması, ağırlığının hafif olması, yoğun ve yüzeylere uygun olması, kolaylıkla üretilmesi ve her türlü malzeme ile entegrasyonu sağlanabilmesi gelecekte önünü açmaktadır. Bu özellikler düşünöldüğünde sadece askeri alanlar için değil aynı zamanda ticari, uzay, hava, roket gibi birçok alanda kullanılabilir. Mikroşerit antenler mikroşerit iletim hattının bir uzantısıdır. Mikroşerit, mikrodalga elemanları için baskılı devre ortamı üzerine yapılan şerit hatlar olarak ortaya çıkmıştır. Şerit hatlar TEM dalgalarının yayılmalarına izin verirler ayrıca elemanların tasarımını kolaylaştırırlar. Mikroşerit, mikrodalga transistörlerin bulunması ve diğer aktif elemanların keşfi ile popülerlik kazanmıştır (Kin-Lu Wong,2002). Mikroşerit antenler genellikle dar bant genişliğine sahip olmakla beraber son zamanlarda gelişen teknoloji ile birlikte bant genişliği %1 mertebesindeyken %10 mertebesine ulaşmıştır (Balanis, 2008).

Mikroşerit antenler Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, iletken kalınlığı (t) serbest uzay dalga boyundan (λ_0) çok çok küçük olup, kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığı ise (h) çoğunlukla $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ arasında değişmektedir. Mikroşerit yama’nın maksimum örüntüsü yamanın normali boyuncadır. Dikdörtgen yama’lar için genellikle L uzunluğu $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$ arasındadır. Yama ile yer (toprak) arasında dielektrik bir tabaka (substrate) bulunur. Mikroşerit anten tasarımında çoğunlukla kullanılan malzemelerin dielektrik değerleri (ϵ_r) $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ arasındadır.



Şekil 3.1. Mikroşerit Anten (a) Yama (b) Yandan görünüş (c) Koordinat sistemi

Mikroşerit bir antenin iyi bir performansa sahip olabilmesi için dielektrik sabitinin düşük buna bağlı olarak malzemenin kalınlığının da az olması istenen durumlarda bant genişliği artar, verim yükselir, ışıma yapan yüzeylerden sıçrama alanları zayıflar fakat mikroşerit yapının boyutu büyür. Malzeme kalınlığı azaltılıp ve dielektrik sabiti yükseltilerek yapılan durumlarda antenler istenmeyen ışınlamaların minimize edilmesini sağlamakla beraber kayıp artar, bant genişliği düşer. Bu nedenlerden dolayı mikroşerit antenler diğer mikrodalga devreler ile entegre çalışırlar, eğer iyi bir anten performansı ve devre tasarımı isteniyorsa uyumluluk şarttır (Balanis, 2005).

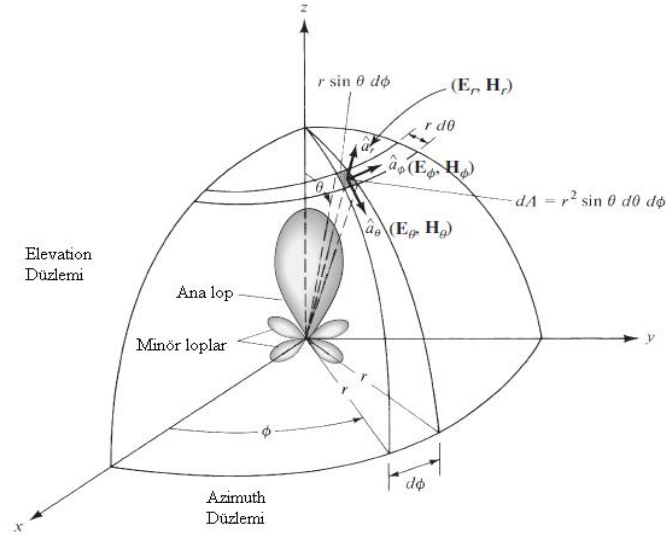
Mikroşerit antenler sadece dikdörtgen yapıda değildir. Dikdörtgen yapının yanı sıra dairesel, kare, üçgen, dairesel yüzük gibi yapılar ile de karşımıza çıkmaktadır.

3.3. Mikroşerit Anten Parametreleri

Antenlerin performansını etkileyen en önemli parametreler ışıma örüntüsü, kazanç, verim, yönlendiricilik, bant genişliği, polarizasyon ve giriş empedansıdır.

3.3.1. Işıma örüntüsü

Bir antenin ışıma örüntüsü ya da anten örüntüsü antenin dış ortamındaki ışıma özelliklerini gösteren matematiksel ya da grafiksel fonksiyondur. Birçok durumda ışıma örüntüsü uzak alan bölgeler için geçerli olup, x-y-z koordinatların bir fonksiyonu olarak gösterilir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Işıma örüntüsünün koordinat sistemindeki görüntüsü

Maksimum ışıma yapılan lop ana loptur, minör loplar ışımanın yapıldığı diğer yönlerdir. Ana lop üzerindeki ışıma istenen yöne doğru olan ışımayı temsil ederken minör loplar istenmeyen yönlerde yapılan ışımayı temsil eder. Aynı zamanda ana lop'un tam tersi yönünde arka lop adı verilen ve istenmeyen lop olarak söylenmektedir. Minör loplar genel olarak -30 dB seviyenin altında olmaktadır.

Sınırlı boyuta sahip bir antenin yaydığı ışıma alanı küresel bir yapı olarak düşünülebilir. Birim vektörleri r, ϕ, θ ya bağlı küresel bileşenlerin bir fonksiyonu olarak yazılabilir.

r kürenin yarıçapıdır. k faz farkıdır.

$$\mathbf{A} = \hat{a}_r A_r(r, \theta, \phi) + \hat{a}_\theta A_\theta(r, \theta, \phi) + \hat{a}_\phi A_\phi(r, \theta, \phi) \quad (3.1)$$

(3.1)'de yer alan her bileşendeki r 'nin genlik değişimi $1/r^n$ ile ifade edilir ($n=0,1,2,\dots$). Eğer n değeri artarsa $1/r^n$ sıfıra doğru gideceği için $n=2$ 'den sonrası ihmal edilebilir. Bu durumda (3.1) denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mathbf{A} \cong \hat{a}_r A_r(\theta, \phi) + \hat{a}_\theta A_\theta(\theta, \phi) + \hat{a}_\phi A_\phi(\theta, \phi) \frac{e^{jkr}}{r} \quad r \rightarrow \infty \quad (3.2)$$

Elektrik alan ise,

$$\mathbf{E}_A = -\nabla \phi_e - j\omega \mathbf{A} = -j\omega \mathbf{A} - j \frac{1}{\omega \mu \epsilon} \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) \quad (3.3)$$

şeklindedir. Burada Q e keyfi bir noktadaki elektriksel skalar potansiyeldir. (3.2) ve (3.3) ün birleştirilmesi ile toplam elektrik alan aşağıdaki hali alır.

$$\mathbf{E} = \frac{1}{r} \left\{ -j\omega e^{-jkr} \left[\hat{a}_r(0) + \hat{a}_\theta A'(\theta, \phi) + \hat{a}_\phi A'(\theta, \phi) \right] \right\} + \frac{1}{r^2} \{ \dots \} + \dots \quad (3.4)$$

Açısal elektrik alan bileşenleri $1/r$ 'li terimlere sahip değildir, çünkü bu terimlerin birinci ve ikinci derece kısımları dışındakiler ihmal edilebilir.

Benzer şekilde manyetik alan ise aşağıdaki gibidir.

$$\mathbf{H}_A = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A} \quad (3.5)$$

(3.2) denklemi ile (3.5) denklemi birleştirilerek aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mathbf{H} = \frac{1}{r} \left\{ -j \frac{\omega}{\eta} e^{-jkr} \left[\hat{a}_r(0) + \hat{a}_\theta A'(\theta, \phi) - \hat{a}_\phi A'(\theta, \phi) \right] \right\} + \frac{1}{r^2} \{ \dots \} + \dots \quad (3.6)$$

Burada $\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}$ ortamın yalın empedansıdır. $1/r^n$ ifadeleri ihmal edilmesi halinde elektrik ve manyetik alan sadece ϕ ve θ 'ya bağlı olacaktır. Bu durumda elektrik ve manyetik alan için uzak alan ışınım sonuçları aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\begin{aligned} E_r &\cong 0 \\ E_\theta &\cong -j\omega A_\theta \quad \rangle E_A = -j\omega A \\ E_\phi &\cong -j\omega A_\phi \end{aligned} \quad (3.7)$$

olarak ifade edilir. Uzak alanda Elektrik alan ve manyetik alan bileşenleri birbirine diktir. Uzak alan manyetik alan bileşeni aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned}
H_r &\cong 0 \\
H_\theta &\cong +j \frac{\omega}{\eta} A_\phi = -\frac{E_\phi}{\eta} \quad \text{ve} \quad H_A \cong \frac{\hat{a}_r}{\eta} \times E_A = -j \frac{\omega}{\eta} \hat{a}_r \times A \\
H_\phi &\cong +j \frac{\omega}{\eta} A_\theta = -\frac{E_\theta}{\eta}
\end{aligned} \tag{3.8}$$

3.3.2. Yönlendiricilik

Bir antenin yönlendiriciliği o antenin belirli bir yönden çıkan ışıma yoğunluğunun tüm yönler boyunca yayılan ortalama ışıma yoğunluğuna oranıdır. Birimi yoktur. Simgesi D 'dir. Ortalama ışıma yoğunluğu ise Antenin tüm yönlerinden yayılan ışınların 4π 'ye oranıdır. Eğer yön belirli değil ise maksimum ışıma yoğunluğu yapılan yön seçilir.

$$D = U/U_0 = 4\pi U/P_{\text{rad}} \tag{3.9}$$

Eğer kaynak isotropik ise yönlendiricilik 1' e eşittir.

U Işıma yoğunluğudur. Birimi W/birim katı açı'dır.

P_{rad} ışıyan güç olarak ifade edilir. Birimi watt'tır.

3.3.3. Anten verimi

Anten verimi Şekil 3.3'de yer aldığı gibi yansıma iletim ve dielektrik kaybıyla ilişkili olup toplam anten verimi e_0 ,

$$e_0 = e_r \cdot e_c \cdot e_d \tag{3.10}$$

olarak ifade edilir ve birimsizdir.

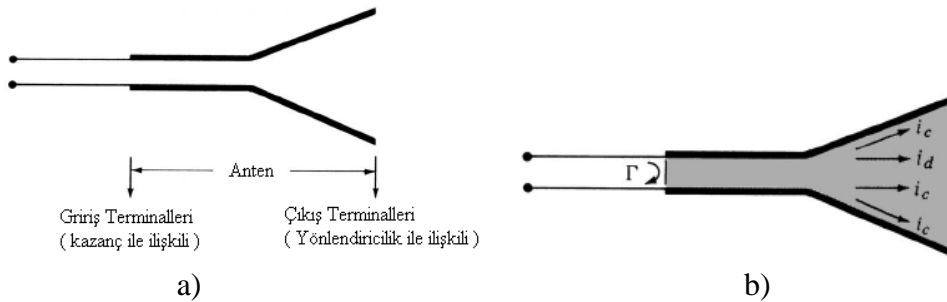
Burada;

e_r yansımaya bağlı kazancı ifade eder.

$$(1 - |\Gamma|^2) \tag{3.11}$$

e_c iletken verimi'dir.

Γ ise geri dönüş kaybıdır. Birimsizdir.



Şekil 3.3. (a) Anten referans terminalleri (b) Yansıma, iletim ve dielektrik kaybı

e_d dielektrik verimini ifade eder, ve tüm verim parametreleri birimsizdir. İletkenlik verimini ve dielektrik verimini ayrı ayrı hesaplamak zordur, iki verimin çarpımını deneysel olarak elde etmek daha kolaydır (Şekil 3.3.).

Toplam verim kısaca kazanç ve yönlendiriciliğe bağlı olup,

$$e_0 = e_{cd} \cdot (1 - |\Gamma|^2) \quad (3.12)$$

ile ifade edilir

3.3.4. Kazanç

Bir antenin kazancı belirli bir yöndeki ışıma yoğunluğunun isotropik bir kaynaktan çıkan ışıma gücüne oranı olarak ifade edilir. Eğer yön belirtilmemiş ise yön olarak maksimum gücün yayıldığı yön seçilir.

Kazanç G ile gösterilir.

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \Phi)}{P_{in}} \quad (3.13)$$

ile ifade edilir. Birimsizdir.

Maksimum kazanç maksimum yönlendiricilik ile orantılıdır. HPBW hem amaçlanan bir iletim yönünün hem de bir tanım düzleminin belirlenmesini gerektirir. Örneğin, koordinat sisteminin merkezinde oturduğumuzu ve y eksenini boyunca yatay bir dipole iletim sağlamayı istediğimizi varsayalım. Y yönünde en yüksek güç yoğunluğunu sağlamak için dipolü, x eksenine doğrultusunda yönlendirmemiz gereklidir. Azimut tasarımının sıfır yükseklikte olduğunu varsaymamız durumunda, maksimum $+y$ yönünde ve $-y$ yönündedir ve sıfır değerleri x eksenine üzerindedir. $+Y$ yönünde iletim amaçlandığından, $+y$ eksenine ve x eksenine üzerindeki sıfır değerleri arasındaki eğriler ana lob veya ışıma olarak adlandırılmaktadır. Bu eğri üzerindeki iki azimut açısında güç yoğunluğu maksimum değerinin $1/2$ 'sine düşer. Yarı güç ışıma genişliği, azimut düzlemi arasındaki bu iki açı arasındaki farktır. Yarı güç ışıma genişliği aynı zamanda yükseklik düzlemi bazında da tanımlanabilir; ancak, $y-z$ düzleminde güç yoğunluğunda herhangi bir değişiklik olmadığından bizim örneğimiz için bu tanımın bir anlamı yoktur (Bodur, 2010).

3.3.5. Bant genişliği

Bir antenin bant genişliği antenin performansını gösterdiği frekans aralığıdır. Bant genişliği merkez frekansın yanlarındaki frekans aralığı olarak da ifade edilebilir. Merkez frekansındaki geri dönüş kaybının 20 dB seviye düştüğü frekans değerleri arasındaki fark bant genişliği olarak seçilebilir. Bazen sinyal gürültü oranının 1 değerinin altına düştüğü bölge bant genişliği olarak seçilir.

W genişliğinde ve L uzunluğuna sahip dikdörtgen bir mikroşerit antenin malzeme kalınlığı h ve dielektrik sabiti ϵ_r olsun. Mikroşerit antenin bant genişliği eşdeğer devre modelindeki frekans cevabına göre tanımlanır. Paralel düzlem rezonansı için, bant genişliği aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$BW = \frac{2G}{\omega_r \left. \frac{dB}{d\omega} \right|_{\omega_r}} \quad (3.14)$$

Burada;

$$Y = G + jB \quad (3.15)$$

açılmal rezonans frekansı ω_r üzerindeki giriş admittansıdır. Seri tip rezonans için G ve B yerine R ve X kullanılır. Bu durumda

$$Z = R + jX \quad (3.16)$$

halini alır. Z aynı rezonanstaki giriş empedansı olur. Bant genişliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$BW = \frac{s-1}{Q_T \sqrt{s}} \quad (3.17)$$

s = Duran dalga oranıdır.

Q_T = Toplam kalite faktörüdür.

Toplam kalite faktörü ise,

$$\frac{1}{Q_T} = \frac{P_d + P_c + P_r + P_s}{\omega_r W_T} \quad (3.18)$$

P_d dielektrik malzemenin kaybıdır.

P_c mükemmel olmayan iletkendeki güç kaybıdır.

P_r serbest uzayda yayılan dalganın ışıyan gücüdür.

P_s yüzey dalgaları üzerinden yayılan ışığa gücüdür.

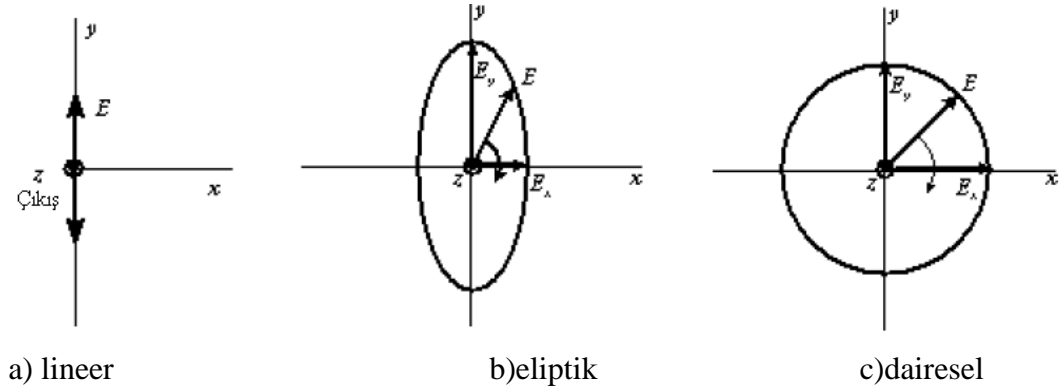
W_T rezonanstaki yama anten üzerinde biriken toplam enerjidir.

Kullanılan malzemenin kalınlığı, dielektrik malzemenin dalga boyu, mikroserit yamanın genişliği ve dielektrik tanjant kaybı bant genişliği tanımlamak için gereklidir.

3.3.6. Polarizasyon

Polarizasyon bir anten için belirli bir yönden yayılan ya da gönderilen dalga olarak ifade edilir. Pratikte yayılan enerjinin polarizasyonu antenin merkezinden çıkan yön ile değişir yani örüntünün farklı kısımları farklı polarizasyona sahip olabilir. Yayılan dalganın polarizasyonu ise bağımlı elektrik alan vektörünün büyüklüğüne ve zaman ekseninde tanımlan bir elektromanyetik dalga olarak ifade edilir.

Üç tip polarizasyon vardır. Linear, eliptik ve daireseldir. Polarizasyon tipleri Şekil 3.4'de yer almaktadır.



Şekil 3.4. Polarizasyon tipleri

Ayrıca elektrik alan büyüklüğünün dönüş yönü de etkilidir ve eğer elektrik alan büyüklüğü saat yönünde geliyorsa sağ-el polarizasyon eğer elektrik alan büyüklüğü saat yönünün tersi yönünden geliyorsa sol-el polarizasyonu olarak isimlendirilir.

Co-polarizasyon bir antende polarizasyonun ışığa yayıldığını kasteder. Cross-polarizasyon ise anten için polarizasyon yapılan yöne dikey olan polarizasyonu ifade eder. Alıcı-verici sistemler için antenlerin polarizasyon yapıları birbirleri ile aynı olması tercih edilir. Aksi durumda alıcı antenden alınan güç düşer.

3.3.7. Giriş empedansı

Giriş empedansı, bir antenin portundan görülen empedanstır. Bir antenin giriş empedansı ile bağlanacağı sistemin empedansı eşlenik olmalıdır. Yani sanal kısımları tersinir olmalıdır. Bu durumda maksimum güç iletimi yapılmış olur (Balanis, 2008).

Bir antenin uçları arasındaki giriş empedansı

$$Z_{in} = R_A + jX_A \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilebilir.

R_A antenin eşdeğer empedansının gerçel kısmını ifade eder,

X_A ise sanal, imajiner kısmını ifade eder.

Antenden alıcıya maksimum sinyal gücünün sağlanabilmesi için Maksimum Güç Transferi Teorisi uygulanır ve buna göre anten empedansının nominal sistem empedansına dönüştürülmesi gereklidir ve ABD'de bu değer genellikle 50Ω 'dur. Bütün uygulamalarda, anten konusuyla ilgilenen mühendisin görevi, antenin bir vericiyi yüklemek için mi yoksa bir alıcıyı tahrik etmek için mi kullanıldığı konusundan bağımsız olarak, antenin empedansının sistem düzeyinde bir değere dönüştürülmesidir. Her şeyin çalışabileceği aralıkta, sistem düzeyinde bir empedans değerinin elde edilmesi yaklaşımı birbiriyle değiştirilebilirlik açısından uygundur fakat genellikle, tam olarak entegrasyonu sağlanmış sistemlerde, ihtiyaç duyulabilecek olandan daha çok sayıda parçanın ortaya çıkmasını gerektirir (Bodur, 2010).

Antenin giriş empedansı frekansın bir fonksiyonudur. Bu nedenle belli bir frekansta anten ile sistem arasında uyumlandırma yapmak için mikroşerit hatlar kullanılır.

3.4. Geleneksel Mikroşerit Anten Tasarımı

Mikroşerit Yama antenin boyutları çalışma frekansında aşağıdaki formülle elde edilir.

$$L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (3.20)$$

c: ışık hızı (m/s)

L: Yama antenin uzunluğu (m)

ϵ_e : Mikroşerit'in efektif dielektrik sabiti ($F.m^{-1}$)

Δl : Yama anten üzerindeki ilave uzunluk, saçak uzunluğu (m)

efektif dielektrik sabiti ise

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-0.5} \quad (3.21)$$

şeklinde formülize edilir.

ve Δl şu şekilde hesaplanır;

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\varepsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\varepsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.813 \right)} \quad (3.22)$$

h kullanılan malzemenin kalınlığıdır. Birimi metredir.

W yama'nın genişliğidir birimi metredir.

ε_r kullanılan malzemenin dielektrik sabitidir.

İletim hattı modelini kullanarak, x' noktasındaki yama antenin giriş empedansı şeklindeki formülle bulunur.

$$Z_{in}(x') = \frac{1}{2G} \left[\cos^2(\beta x') + \frac{G^2 + B^2}{Y_0^2} \sin^2(\beta x') - \frac{B}{Y_0} \sin(2\beta x') \right] \quad (3.23)$$

β : mikroşerit hattın yayılım sabitidir.

Y_0 : mikroşerit hattın karakteristik admittansıdır. Birimi siemens'dir.

G ve B : Toplam anten iletkenliği ve köşelerdeki yayılım susceptance'sıdır. Birimi siemens'dir.

Formülü daha basit hale getirmek için pratik uygulamalarda var olan $G/Y_0 \ll 1$ ve

$B/Y_0 \ll 1$ koşullarını formül üzerinde uygularsak;

$$Z_{in}(x') = \frac{\cos^2(\beta x')}{2G} \quad (3.24)$$

Toplam iletkenlik öz iletkenlik (G_r) ve sanal iletkenlik (G_m) ile ifade edilen iki parametrenin farkıdır yani;

$$G = G_r - G_m \quad (3.25)$$

$$G_m = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \frac{\sin^2\left(\frac{\pi W}{\lambda_0}\right) \cdot \sin^3(\theta)}{\cos^2(\theta)} J_0\left(\frac{2\pi L}{\lambda_0} \sin(\theta)\right) d\theta \quad (3.26)$$

$$G_r = \begin{cases} \frac{W^2}{90\lambda_0^2} & > W < 0.35\lambda_0 \\ \frac{W}{120\lambda_0} - \frac{1}{60\pi^2} & > 0.35\lambda_0 < W < 2\lambda_0 \\ \frac{W}{120\lambda_0} & > W < 2\lambda_0 \end{cases} \quad (3.27)$$

J_0 ilk basamak bessel fonksiyonudur.

λ_0 Serbest uzay dalga boyudur. Birimi metredir.

Antenin karakteristik empedansı şekildeki formüller yardımıyla bulunur.

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} [(1 + 12h/w_e)^{-0.5} + 0.04(1 - w_e/h)^2] \quad (3.28)$$

$$w/h > 1 \quad Z_0 = \frac{377}{\sqrt{\varepsilon_{eff}} [w_e/h + 1.293 + 0.667 \ln(w_e/h + 1.444)]} \quad (3.29)$$

$$w/h < 1 \quad Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \ln(8h/w_e + 0.25w_e/h) \quad (3.30)$$

$$w_e = w + \frac{t}{\pi} \left(\ln \frac{2h_e}{t} + 1 \right) \quad (3.31)$$

Simülasyon programı da buradaki formülleri referans olarak analiz yapmaktadır. W/h oranı da W 'nın bulunması için önemli bir parametredir. Buna bağlı olarak oluşturulmuş formül aşağıda verilmiştir.

$$A = \frac{Z_0}{60} \left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\varepsilon_r} \right) \quad (3.32)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.33)$$

$$A > 1.52 \quad W/h = \frac{8 \exp(A)}{\exp(2A) - 2} \quad (3.34)$$

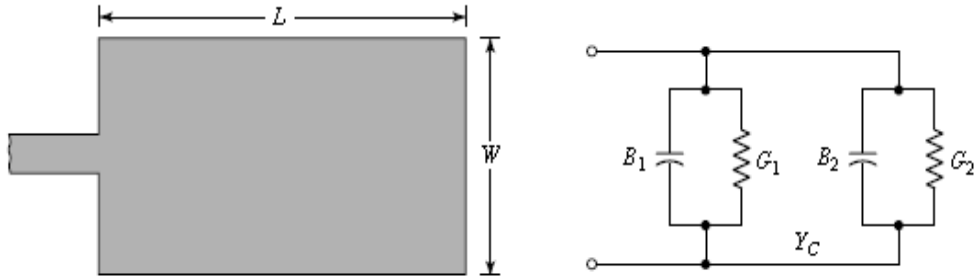
$$A < 1.52 \quad W/h = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) \right\} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \quad (3.35)$$

Mikroşerit yama antenin iletim hattı modeli ve eşdeğer indüktansı aşağıda belirtilmiştir.

$$G_1 = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{1}{24} (k_0 h)^2 \right] \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (3.36)$$

$$B_1 = \frac{W}{120\lambda_0} [1 - 0.636 \ln(k_0 h)] \quad \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10} \quad (3.37)$$

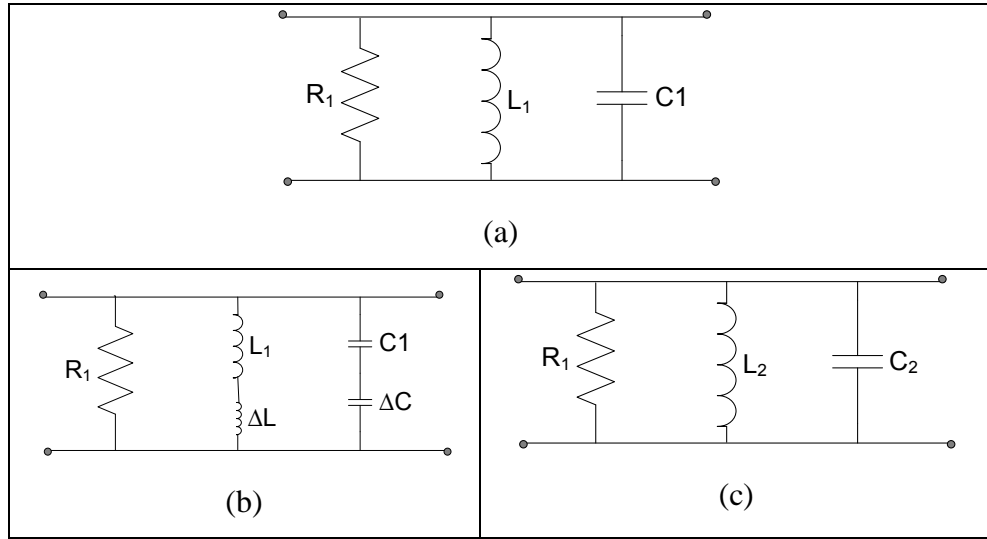
$$Y_1 = G_1 + jB_1 \quad (3.38)$$



Şekil 3.5. Mikroşerit anten ve iletim hattı modeli

Normal bir mikroşerit anten paralel bir RLC devresi şeklinde modellenebilir. Akım besleme noktasından yamanın alt ve üst kenarlarına doğru akar. L ve C değerleri akım yolu uzunluğu ile ifade edilir (Şekil 3.5.). Çeşitli şekillerde herhangi bir yarık dahil edildiğinde rezonans değerleri değişir. Bu durumda, yama içinde akan iki akım vardır; bunlardan biri yamanın içindeki normal akımdır. Bu akım, Şekil 3.6'da görülen RLC rezonans devresini ifade eder ve yamanın tasarım frekansında rezonansa gelir. Diğer akım ise yarık çevresinde akar ve bu sebeple akım yolu uzamış olur. Bu durumda, yamanın etrafında elektrik ve manyetik alan devamsızlıkları ortaya çıkar. Dolayısıyla yarık'un etkisi hem indüktif hem de kapasitif olacaktır. Bu etkiler Şekil 3.6'da gösterildiği gibi rezonans eşdeğer devresine eklenen seri indüktans ΔL ve seri kapasitans ΔC olarak modellenir.

Şekil 3.6'da bir mikroşerit yama antenin eşdeğer devresi görülmektedir. Burada C_1 , L_1 ve R_1 yamanın kapasitesi, indüktansı ve direncidir.



Şekil 3.6. Eşdeğer devre modelleri (a) Dikdörtgen mikroşerit yama anten için (b) Yamadaki yarık etkisi (c) Basitleştirilmiş devre

$$C_1 = \frac{\varepsilon_{eff} \varepsilon_0 LW}{2h} \cos^{-2} \left(\frac{\pi y_0}{L} \right) \quad (3.39)$$

Burada L yamanın uzunluğunu, W genişliğini, h malzemenin kalınlığını, ε_{eff} efektif dielektrik sabitini;

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \quad (3.40)$$

ε_r malzemenin bağıl dielektrik sabitini, y_0 yamanın uzunluğu boyunca y eksenindeki besleme noktasını gösterir.

$$L_1 = \frac{1}{C_1 \omega_r^2} \quad (3.41)$$

$$R_1 = \frac{Q_r}{\omega_r C_1} \quad (3.42)$$

Q_r ve ω_r , yamanın kalite faktörü ve rezonans frekansını belirtmektedir. Kalite faktörü:

$$Q_r = \frac{c \sqrt{\varepsilon_{eff}}}{4 f_r h} \quad (3.43)$$

C serbest uzaydaki ışık hızını, f_r ise yamanın rezonans frekansını gösterir. Birimi 1/s'dir. Diğer akım yamadaki yarık çevresinde akar. Bu akımın etkilediği eşdeğer devre Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Yarık etkisine bağlı ΔL ve ΔC aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta L = \frac{h\mu_0\pi}{8} \left(\frac{l}{L} \right)^2 \quad (3.44)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad (3.45)$$

l eşdeğer yarık uzunluğudur.

$$\Delta C = \left(\frac{l}{L} \right) \cdot C_s \quad (3.46)$$

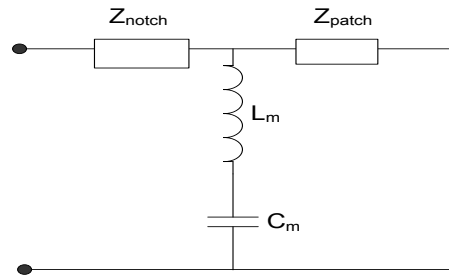
Burada C_s boşluk kapasitansını belirtir. Şekil 3.2'deki rezonans devresinin giriş empedansı 2.4(c)'deki indirgenmiş devreden hesaplanabilir:

$$Z_{notch} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_2 + \frac{1}{j\omega L_2} \right)} \quad (3.47)$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot \Delta C}{(C_1 + \Delta C)} \quad (3.48)$$

$$L_2 = L_1 + \Delta L \quad (3.49)$$

Bu iki rezonans devresi Şekil 3.7'de gösterildiği gibi birleştirilmiş ve dual-bant'ta bir dual rezonans devresi ortaya çıkarır.



Şekil 3.7. Yarık dikdörtgen mikroşerit yama antenin eşdeğer devresi

Bu iki rezonatör arasındaki birleştirme sabiti aşağıdaki şekilde verilir:

$$C_p = \frac{1}{\sqrt{Q_1 \cdot Q_2}} \quad (3.50)$$

Rezonans devresinin normal akıma bağlı kalite faktörü Q_1 :

$$Q_1 = \frac{\omega L_1}{R_1} \quad (3.51)$$

Rezonans devresinin yarık etkisine bağlı kalite faktörü Q_2 :

$$Q_2 = \frac{\omega L_2}{R_1} \quad (3.52)$$

İki rezonans devresi arasındaki ortak indüktans L_m ve ortak kapasitans C_m :

$$L_m = \frac{C_p^2(L_1 + L_2) + \sqrt{C_p^2(L_1 + L_2)^2 + 4 \cdot C_p^2(1 - C_p^2) \cdot L_1 L_2}}{2(1 - C_p^2)} \quad (3.53)$$

$$C_m = \frac{-(C_1 + C_2) + \sqrt{(C_1 + C_2)^2 - 4 \cdot C_1 C_2 \cdot (1 - C_p^{-2})}}{2} \quad (3.54)$$

Çizelge 3.1. Mikroşerit anten tasarımıdaki parametre bilgileri

Şekil	Dikdörtgensel
Frekans	2.4 Ghz
Kullanılan malzemen dielektrik sabiti	4.4 - 4.7
Malzemenin kalınlığı	1.6 mm
Besleme metodu	Mikroşerit hat besleme
Kazanç	5 dB – 7 dB
Polarizasyon	Lineer yada dairesel

Mikroşerit antenler tasarımları için kullanılan formüller teorik olarak uygulamak zor sonuçlarını elde etmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle tasarım programları geliştirilmiş ve bu programlar kullandıkları yöntemler ile gerçek uygulamalara büyük bir yakınlıkla sonuç vermektedir.

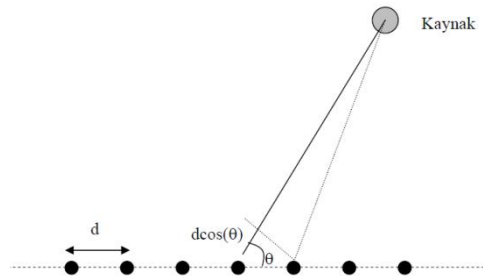
3.5 Dizi Antenler

Alıcı eleman olarak tek bir antenin kullanılması, özellikle istenilen işaretin elde edilmesinin zor olduğu, gürültülü ortamlarda arzu edilen anten karakteristik genişliğini sağlamak için yeterli olmamaktadır. Bu durumda, gürültülü ortam içerisinde istenilen anten karakteristik genişliğine ulaşmak için (tek bir antenin yol

açacağı bir takım sınırlandırmaları ortadan kaldırmak amacıyla) anten dizileri kullanmak daha faydalı olmaktadır. Bunun sonucu olarak, değişken işaret ortamlarına uyum sağlayabilen, daha güvenilir, esnek ve işaret algılama performansı daha yüksek yeni dizi sistemleri oluşturulmuştur (Hubregt J. Visser,2005).

Anten dizilerindeki incelemelerde bazı varsayımlar yapılmaktadır. Bunlar dizi elemanları arasındaki mesafe yeteri kadar küçüktür ve farklı elemanlara düşen dalgalar arasında genlik farkı yoktur. Elemanlar arasında karşılıklı eşleşme yoktur. Sonlu sayıda işaret gelmektedir ve son olarak diziye gelen işaretlerin bant genişliği taşıyıcı frekansına göre çok küçüktür. Bu diziler çeşitli sayıda anten elemanlarından oluşur. Burada işaretler hem genlik hem fazda bölünür veya birleşir. Genel olarak anten elemanların çeşitli kombinasyonları kullanılarak, eşit elemanlı ve düzenli geometriye sahip anten dizileri oluşturulur. Diziler, ihtiyaca göre bir, iki veya üç boyutlu olabilir (Girish Kumar and K. P. Ray, 2003).

Doğrusal anten dizileri, doğrusal bir hat üzerine yerleştirilmiş antenlerden oluşan dizilerdir. En yaygın kullanılan yapı, düzgün doğrusal anten dizisidir (Şekil 3.8.). Düzgün, dizi elemanları eşit aralıklarla dağıtıldığı anlamında kullanılmaktadır.

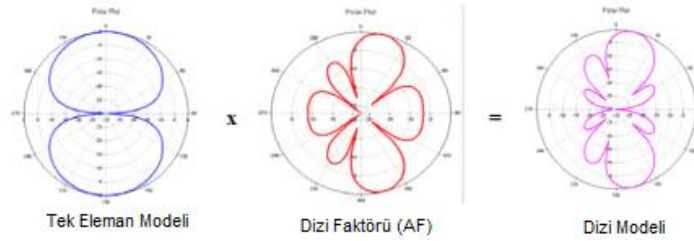


Şekil 3.8. Doğrusal anten dizisi

Bununla beraber, uygulamaya ve ortam şartlarına göre dizi elemanları çeşitli aralıklarla yerleştirilerek anten karakteristiği diyagramının çeşitli açılarda tepki vermesi sağlanabilir. Dizi elemanlarının dağıtım şekli anten yönlendirme vektörünü belirler. Bu da dizi eleman ağırlıklarını oluştururken denetleyici tarafından başvuru bir bilgidir (Maci, S., Gentili, B., 2007).

Dizi antenler uygun faz ve genlik sinyali ile beslenen birçok ışına elemanından oluşmaktadır. Dizi antenin neden kullanıldığı ile alakalı birçok sebep söylenebilir fakat ortak anlayış dar hüzme formunda daha yönlü ışınım yapması ve daha kazançlı bir yapı olmasındandır. Burada bir dizi anten yapısı olan uniform lineer dizi antenler anten elementlerinin düz bir sıra boyunca ayarlanmaları ile oluşan dizi anten çeşididir. Bu dizi anten çeşidinin ışınım modeli model çarpma teoremi (3.55) ile bulunabilir. Bu teoremi açıklayacak olursak eşitlikte belirtildiği gibi tek bir ışınım elemanının modeli ile dizi faktör modeli çarpılarak dizi anten modeli bulunur (Maci, S., Gentili, B., 2007).

$$\text{Dizi Modeli} = \text{Tek Eleman Modeli} \times \text{Dizi Faktörü (AF)} \quad (3.55)$$



Şekil 3.9. Dizi faktörü ile anten dizi modeli oluşumu

Dizi faktörü tamamen dizinin geometrisine bağlıdır. Uniform lineer dizi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. N adet ışınım elemanının birbirinden d kadar uzaklıkta θ faz farklı ile ilerleyen ışınım elemanıdır. Genlik ve faz durumları güç kontrol ağı tarafından kontrol edilir.

Genellikle güç kontrol ağında güç bölücüler kullanılır. Dizi faktörünün çevrilmiş durumu ise denklem 3.58'te verilmektedir.

$$\Psi = kd \sin \theta + \beta \quad (3.56)$$

Burada

$\Psi \rightarrow$ elemanlar arasındaki faz farkı

$k = 2\pi/\lambda$

$d =$ elemanlar arasındaki mesafe

$\beta =$ Elemanlar arasındaki uyartım akımının faz farkı

$\theta =$ Dizinin normaline göre relatif açı

N elemanlı lineer dizi antenin dizi faktörü formu denklem 3.74'teki gibidir.

$$AF = e^{j0} + e^{j\Psi} + e^{2j\Psi} + \dots + e^{j(N-1)\Psi} \quad (3.57)$$

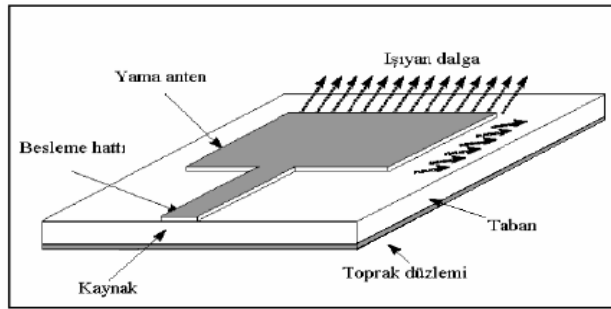
Formül basitleştirilirse aşağıdaki gibi olur

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{+j(n-1)\Psi} \quad (3.58)$$

3.6. Mikroşerit Antenleri Besleme Teknikleri

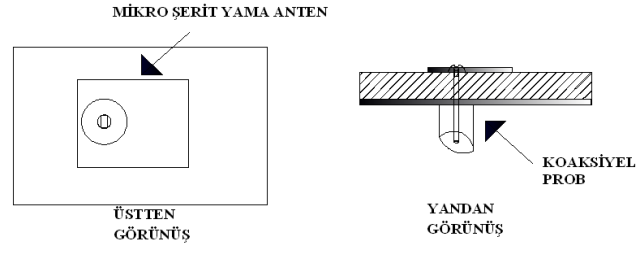
Yamanın tasarımından sonra önemli parametrelerden birisi besleme hattının belirlenmesidir. Besleme tekniğinin seçimi birçok faktörü beraberinde getirir. Bu faktörlerin en önemlisi besleme yapısı ile ışıma yapısı arasındaki güç transfer verimidir. Ayrıca giriş empedansını ve antenin karakteristiğini belirleyen önemli bir tasarım parametresidir. Bunun için aşağıda belirtilen metotlardan biri kullanılabilir.

- * Koaksiyel Prob Kullanımı
- * Mikroşerit (eş düzlemlî) hat kullanımı
- * Elektromanyetik bağlama ile besleme
- * Yarık tipi besleme



Şekil 3.10. Besleme hattı mikroşerit anten yapısı

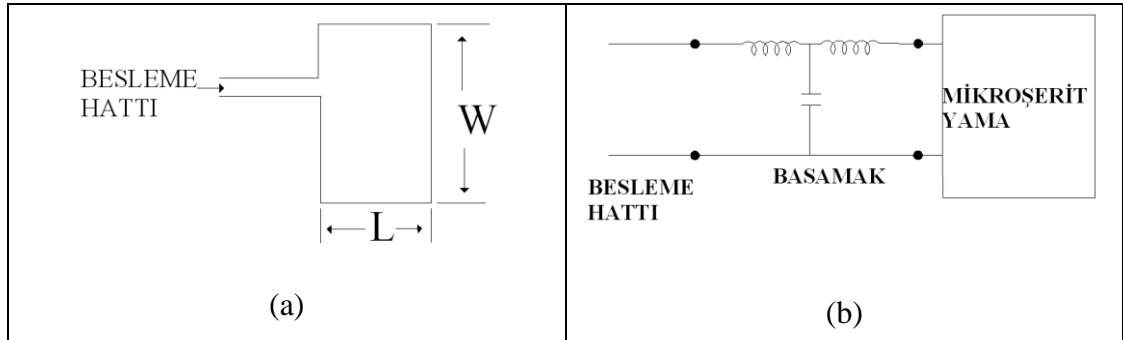
Koaksiyel prob kullanımı anten ile sistem arasına yerleştirilen koaksiyel bir hat ve devre ve anten sistemlerinin son uçları RF sonlandırma elemanları ile sonlanan basit bir yapıdır. Şekil 3.10'da gösterildiği gibi antene monte edilmektedir.



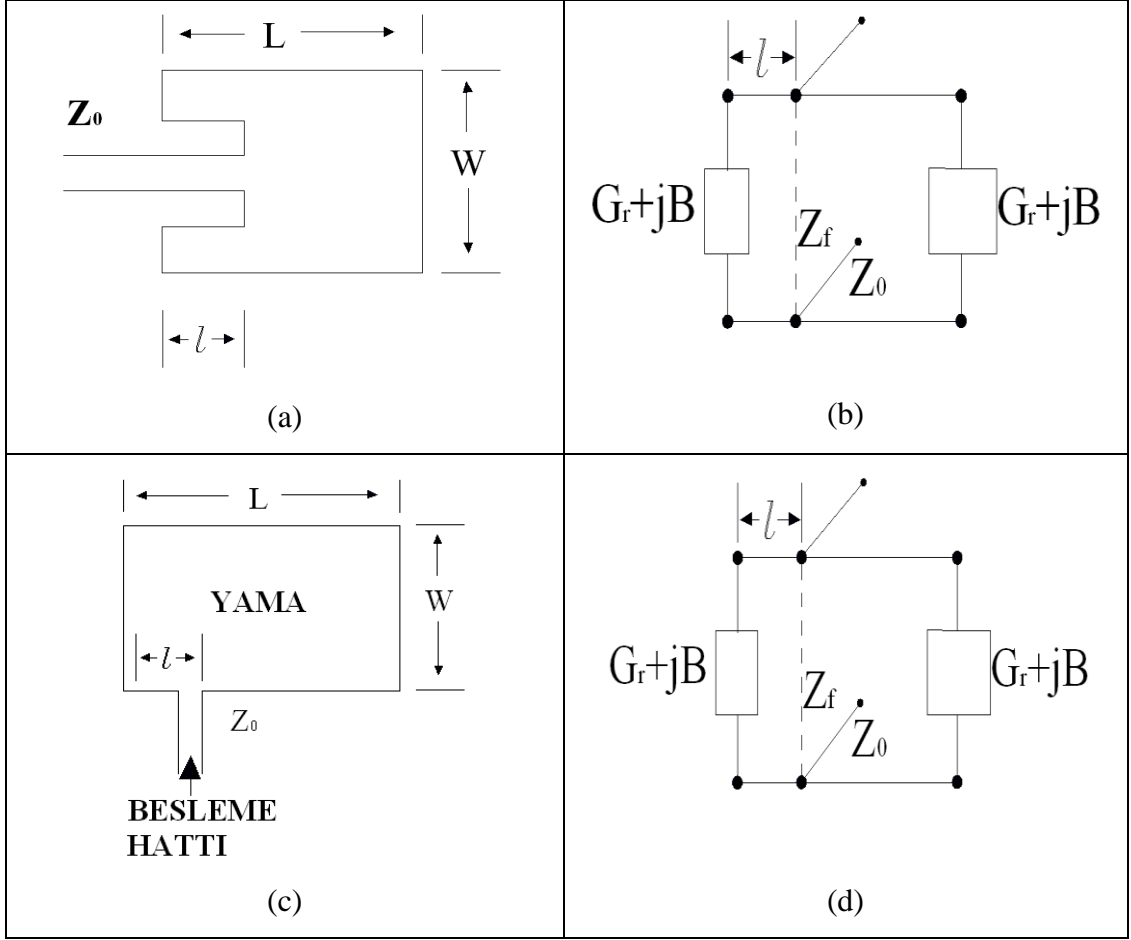
Şekil 3.11. Besleme metodunun üstten ve yandan görünüşü

Besleme devresi toprak düzlemi vasıtasıyla ışıma yüzeylerinden yalıtılmış olması, besleme mekanizması direk olarak anten ile kontak halindedir ve birçok besleme devresi yamadan yalıtılmış olması avantajlarıdır. Fakat Proben sahip olduğu indüktif etki antenin uyumsuz olmasına neden olur (Şekil 3.11.).

Günümüzde en çok kullanılan iletim hattı metodu mikroşerit hat metodudur. Mikroşerit hat kullanımı aynı substrate üzerinde mikroşerit antenin uyarılması için doğal bir seçimdir. Çünkü hem hat hem de yama aynı anda imal edilir.



Şekil 3.12. (a) Mikroşerit hat ile besleme (b) İletim hattı eşdeğer modeli



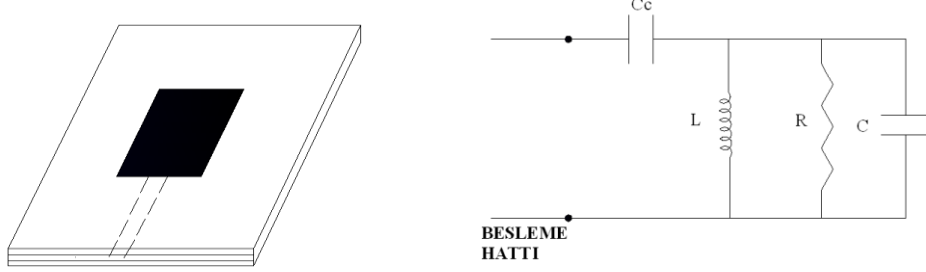
Şekil 3.13. (a) Işıma yüzeyinden beslenen mikroşerit anten (b) Eşdeğer devre modeli (c) Işıma olmayan yüzeyden beslenen mikroşerit anten (d) Eşdeğer devre modeli

Şekil 3.12 ve 3.13’de sırasıyla besleme durumları gösterilmiştir. Işıma yüzeyine monte edilmesi ya da edilmemesi durumunda ışıma performansını olumlu etkilemesi için farklı yöntemler uygulandığı görülmektedir.

İmali kolay olması, giriş empedansı kolaylıkla ayarlanabilir olması, basit bir iletim hattı modeli ile modellenebilir olması, toplam yapı düzlemsel kalması avantajlarıdır. Buna karşın, Besleme hattı uzadıkça istenmeyen ışımlar meydana gelmesi ve yüksek dielektrik sabitine sahip malzemeden yapılan substrate yüksek yapay besleme ışımlarına neden olması dezavantajlarıdır.

Yarık tipi eş düzlemsel mikroşerit besleme şekil 3.14’deki gibi uygulanmaktadır. İletim hattı eşdeğer modeli de görülmektedir. Yarık tipi eş düzlemsel mikroşerit ile

besleme metodunda besleme hattının doğal bir kapasitif etkisi vardır. Bant genişliği diğerlerine göre daha fazladır fakat yüksek sanal besleme ışıması vardır. İmalatı da zordur.



Şekil 3.14. Yarık tipi eş düzlemsel mikroşerit besleme

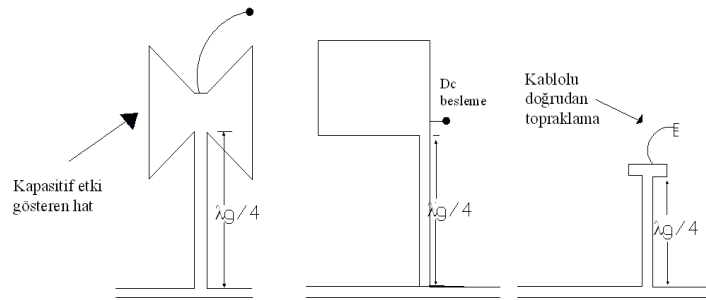
3.7. Dc Besleme Yöntemleri

Mikroşerit antenler için eğer aktif bir eleman kullanılıyorsa dc besleme devresi RF devreden iyi bir şekilde yalıtılmalıdır. Önemli olan sistemin fiziksel olarak gerçekleştirilebilir olmasıdır ve ışıma karakteristiğinin minimal olarak etkilenmesidir.

Hattın ince ve uzun seçilmelidir. (uzunluğu dalga boyunun dörtte biri olmalıdır.)

Kapasitif etki gösteren geometrik şekil ya da yapılar kullanılmalıdır.

Besleme gerilimi değıştikçe ışıma örüntüsü çok az değışir.



Şekil 3.15. Dc besleme uygulamaları

Şekil 3.15’de dc besleme uygulamaları yer almaktadır. Genel olarak üç tipi mevcuttur.

A: “Kelebek” şekilli besleme. Besleme genelde merkez noktadan yapılır.

B: Düşük empedanslı $\lambda/4$ açık devre stub hattı.

C: Kablo kullanılarak toprağa kısa devre yapılmış bağlantı şekli

3.8. Aktif Mikroşerit Antenler

Aktif mikroşerit bütünleşmiş antenler, antenin yüzeyine bütünleşmiş bir elemanın yerleştirilmesi ile oluşur. Bütün sistem anten ile birlikte bir ışın yayıcı gibi davranır. Aynı zamanda bir yük fonksiyonu sunar.

Bu geleneksel anten alt sistem tasarımına karşıdır. Geleneksel anten tasarımında her birim ayrı ayrı tasarlanır ve sonra iletim hatları ile birbirlerine bağlanırlar. Direkt olarak aktif elemanlar anten üzerine entegrasyonu ile, besleme hattı kayıpları önemli ölçüde azalabilmektedir. Daha fazla avantajları ise boyutlarının azalması, güvenliği artması, düşük maliyetli imal edilebilmesidir.

Aktif mikroşerit antenler birçok potansiyel radar ve haberleşme uygulamalarında kullanılırlar. Antenler yüksek kazançlı faz dizileri ve katı durumdaki cihazlardan çıkan güç limitlerinin üstesinden gelmek için güç birleştiricisi olarak çalışabilmektedirler. Bunlar aynı zamanda ticari uygulamalarda (kablosuz haberleşme sistemleri, radar, düşük maliyetli ve sıkıştırılmış verici ve sensör sistemleri) önemli bir potansiyel güce sahiptir.

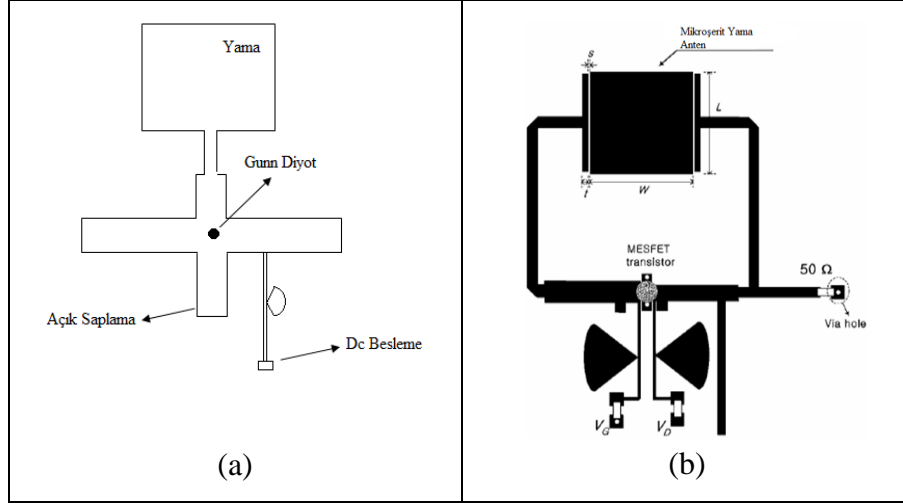
Bir aktif anten, bir antenin parametrelerini ve performansını arttırmak için elektronik malzemeler içerir. Birçok aktif anten çeşidinin en önemli etkisi geniş bir frekans bandında verimli çalışabilmesi ve zayıf sinyaller için LNA özelliğini sağlamasıdır. Fakat diğer antenlere nazaran aktif antenler bir güç kaynağına gerek duyarlar. Tipik aktif elemanlar Gunn diyot ya da 3 uçlu aktif devre eleman içerirler. Aktif antenler mikroşerit olabildikleri gibi, Dipol anten, Planar (Düzlemsel) antenler, slot anten olabilirler.

3.8.1. Osilatör tipli aktif antenler

Eğer aktif eleman mikroşerit antene osilasyon yapması için entegre ediliyorsa bu tip antenlere Osilatör tipli mikroşerit anten denir. Osilatör tipli antenler de gücü RF gücüne (aktif elemanın negatif direnç karakteristiği kullanarak) dönüştürür. Bu tip antenler sensor uygulamalarının geliştirilmesi için kullanılırlar.

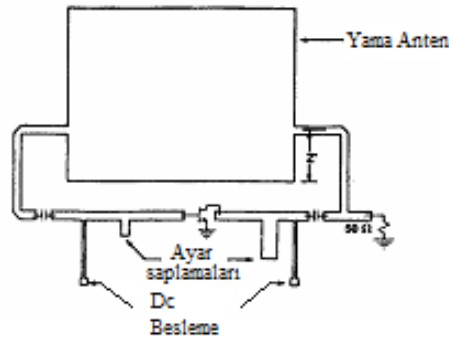
Osilatör osilasyon yapacağı frekansı belirleyen ve üretilen RF gücünü serbest uzayda yayabilecek bir yük gibi davranan aktif eleman ile birleştirilen mikroşerit antenden oluşur (Şekil 3.16.). Aktif eleman 2 bacaklı olabilir. Örneğin IMPATT diyot ve

GUNN diyot ya da 3 bacaklı olabilir örneğin MEFET, HEMT ve HBT olabilir (Kumar, 2003). Benzer tasarım Şekil 3.17’de yer almaktadır.



Şekil 3.16. Gunn diyot ile bütünleşmiş osilatör tipli aktif anten (a) örnek geometri (b) mosfet ile yapılan osilatör tipli aktif anten (Dong-hyuk choi, 2005)

Dong-hyuk choi 2005 yılında yaptığı çalışmada 5.8 Ghz’de T tipi mikroşerit yama anten kullanılarak osilatör tipli aktif anten tasarımı yapmıştır. Aktif eleman olarak mesfet transistor kullanmıştır. Aktif anten kapalı besleme döngüsü kullanılarak T tipi mikroşerit hat ile yama arasında elektromanyetik birleştirmeden yararlanmıştır. Şekil 3.16(b)’de tasarladığı geometri yer almaktadır.

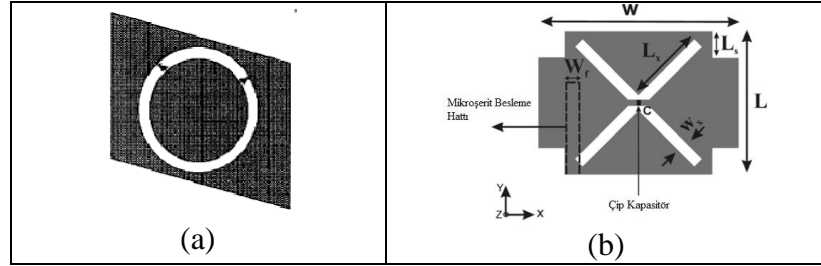


Şekil 3.17. Fet kullanarak entegre edilmiş osilatör tipli aktif antenler

3.8.2. Frekans dönüşüm tipli aktif antenler

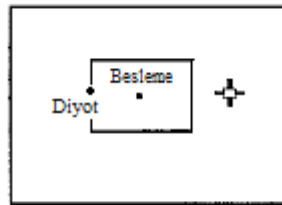
Eğer bir mikroşerit antene bir aktif eleman çalışma frekansını aşağı ya da yukarı değişimi için kullanıyorsa bu tip antenlere frekans dönüşümlü antenlere denir.

Bu gruba merkez frekansının değişimine bağlı olarak ayarlanabilir, tekrar değiştirilebilir ya da kullanılan aktif elamanların açık ya da kapalı olma durumlarına bağlı olarak anahtarlamalı antenler dâhildir.



Şekil 3.18. (a) Frekans Dönüştürücü tip (Mikser modeli) (b) Tasarlanmış bir anten (M.S Nishamol, 2010)

En önemli performans dönüşüm verimidir. Aktif eleman lineer olmayan bölgede çalışması için beslenir. Bu tip aktif antenler Osilatör/modülatör olarak sıkıştırılmış verici uygulamaları ya da Osilatör/mikser olarak alıcı uygulamalarında kullanılabilirler. 2 portlu elemanlar kullanılabilir (Şekil 3.18.). Örneğin GUNN diyot 3 portlu elemanlarda kullanılabilirler. Örneğin HEMT ya da MESFET kullanılabilir. 3 portlu elemanların avantajları ise dönüşüm kazancı ve MIC ve MMC teknolojileri ile kolay birleştirilebilir olmasıdır.



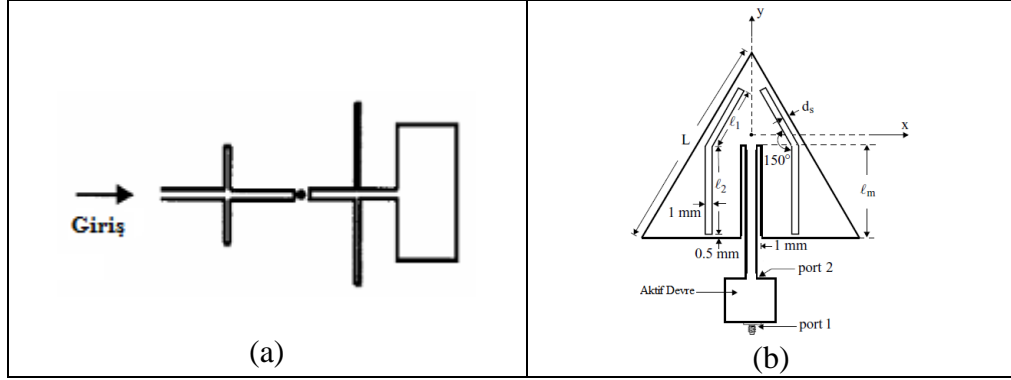
Şekil 3.19. Frekans kıvraklı modeli

Sensor, alıcı, modülatör uygulamalarında farklı tasarım yapılandırmaları ile aktif anten olarak kullanılabilirler (Kumar, 2003). Diyot ile entegre edilen antenler sıklıkla kullanılan bir aktif anten tasarım tipidir (Şekil 3.19.).

3.8.3. Amplifikatör tipli aktif antenler

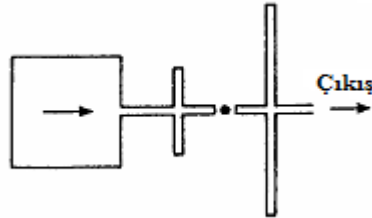
2 portlu aktif eleman pasif mikroşerit antene girişinden ya da çıkışından istenilen sinyal yükseltilmesine göre entegre edilebilir. Girişi ya da çıkışına bağlanması göre yükselteç tipleri sınıflandırılabilir. Anten giriş portunda ise, aktif

eleman için anten kaynak empedans olduğu düşünülür. Entegre aktif anten alıcı gibi davranır. Örnek tasarımlar şekil 3.20 ve şekil 3.21’de yer almaktadır.



Şekil 3.20. (a) Yükselteç tipli antenin alıcı gibi davranan modeli (b) yükseltici tipli mikroşerit anten (Compact and Broadbant Microstrip Antennas,1999)

LNA tasarım tekniği genellikle istenilen gürültü performansını gerçekleştirilmesi için uygulanır. Eğer aktif anten çıkış portuna yerleştirildiyse, aktif anten bir yük empedans elemanı gibi davranır. Bu durumda aktif anten verici gibi fonksiyon gösterir.



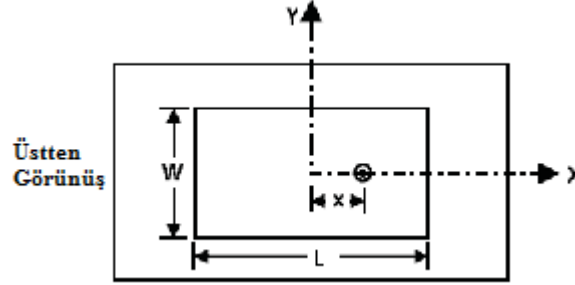
Şekil 3.21. Yükselteç tipli antenin verici gibi davranan modeli

Aktif antenlerde LNA tasarım tekniği genellikle istenilen gürültü performansını gerçekleştirilmesi için uygulanır. Eğer anten çıkış portuna yerleştirildiyse, anten aktif elemana göre yük empedansı gibi davranır. Bu durumda aktif anten verici gibi fonksiyon gösterir.

Bu tip uygulamalarda FET’ler mikrodalga entegre devreleri MIC ve tek parça mikrodalga entegre devreleri (MMIC) ve kolaylıkla entegre edilebilen ve fiyatı ucuz, sıkıştırılmamış teknolojileri kullanırlar.

3.9. Aktif Mikroşerit Anten Tasarımı

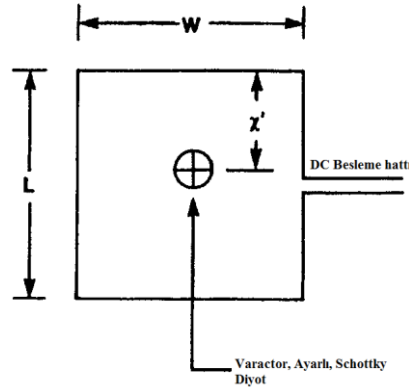
Genel olarak diyotlarla entegre edilen aktif yama antenlerin amacı mümkün olan en yüksek ışınım gücünü sağlamaktır (Şekil 3.22.). Anten tasarımındaki temel prosedür şöyledir;



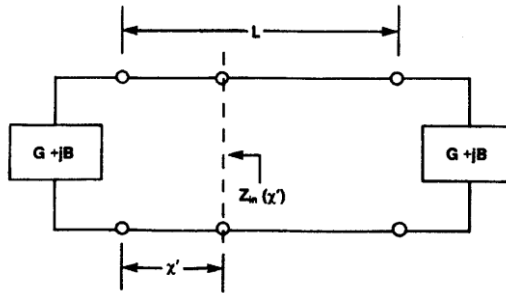
Şekil 3.22. Diyot ile entegre edilmiş aktif anten modeli

- i.) Tasarlanacak olan antenin çalışma frekansına bağlı olarak anten boyutlarının belirlenmesi. Hızlı hesaplamak için, yayınlarda var olan mikroşerit antenler için değişik tasarım denklemleri kullanılabilir.
- ii.) Aktif elemanın empedansı ile antenin empedansı uyumlandırılmalıdır. Eğer gerekli ise uyumlandırma devresi kullanılmalıdır. Uyumlandırma devresinin seçimi co-polar ve cross-polar ışımaya örüntülerine, aktif elemanın boyutlarına ve yama'ya bağlıdır.
- iii.) Dc besleme devresi RF devreden iyi bir şekilde yalıtılmalıdır. Önemli olan sistemin fiziksel olarak gerçekleştirilebilir olmasıdır ve ışımaya karakteristiğinin minimal olarak etkilenmesidir.
- iv.) Isı yayılımı ve hava geçirmez lehimleme, güç seviyesine ve istenilen uygulamaya bağlı olduğu düşünölmelidir. Bu nedenle istenilen sisteme göre bu parametreler dikkate alınmalıdır. Aktif elemanın daha az verimi olduğu ve devrenin boyutlarının küçük olduğu yüksek frekansta çalışan sistemlerde ısı yayılımı çok önemlidir.

Aktif elemanın sisteme eklenmesi sonucu konumun oluşturduğu etki ve mikroşerit yapının iletim hattı eşdeğer modeli şekil 3.23 ve şekil 3.24'de yer almaktadır.



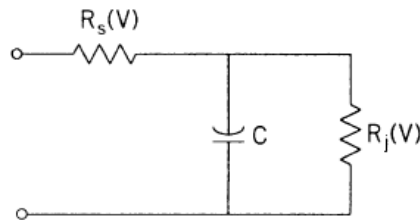
Şekil 3.23. Diyotun yama üzerindeki konumu ve yamaya yerleştirilmesi



Şekil 3.24. Aktif antenin iletim hattı eş değer modeli

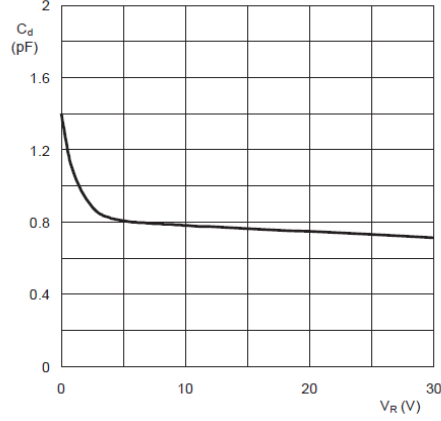
3.10. Aktif Mikroşerit Anten Tasarımında Kullanılan Materyaller

Aktif mikroşerit antenlerin tasarımında kullanılan en temel materyal mikroşerit bir yapıdır. Bu yapı üzerine tasarlanan geometriye aktif iki, üç ada dört portlu eleman bağlanır. Bunun yanı sıra aktif eleman için dc besleme de uygulanır. İki ya da üç uçlu aktif elemanlar güç üretimi, güç karıştırma, güç kontrolü gibi değişik fonksiyonları yerine getirmek için aktif anten elemanı olarak kullanılır. Eleman seçimi hem fonksiyonuna hem de kullanılan iletim ortamına uyumuna bağlıdır. Benzer şekilde iletim ortamı ve anten tipi seçimi aktif elemanın uygunluğuna bağlıdır. Eşdeğer devre karakteristiği benzetim için önemlidir. Osilatör analizi için merkez frekansı ve güç seviyesi önemli iken yükseltici ve frekans dönüştürücü tipler için aktif elemanın lineer olmayan modeli yeterlidir (Şekil 3.25.).



Şekil 3.25. Diyot'un lineer olmayan eşdeğer devresi

Sistem tasarımında kullanılan bir diyotun ters besleme gerilimine bağlı kapasite değişimi şekil 3.26’da yer almaktadır.



Şekil 3.26. BA592 diyotun ters-gerilim-kapasite grafiği

Anten tasarımında kullanılan malzeme çok büyük öneme sahiptir. Mikrodalga frekanslarında bir malzeme seçildiği zaman baskı devre kartının (PCB) ekleme kaybı büyük bir öneme sahiptir. PCB'nin temel kayıpları kartın iletken kısmı ile dielektrik kısmı arasında oluşmaktadır. 2 Ghz altındaki frekanslar için, kayıp tanjantı düşük mikrodalga malzeme seçildiğinde, bakır iletkenin kaybı tüm yüzeyi kaplar. Anten bu frekans bölgesinde çalışamaz. Daha yüksek frekanslarda (20 Ghz'e kadar) örneğin dielektrik sabitinin 3.5 olduğu malzemelerde hem dielektriğin hem de iletkenin kaybı neredeyse eşit olmaktadır. Ayrıca yüksek dielektrik sabitli malzemeler düşük dielektrikli malzemeler üzerinde hem dielektrik hem de iletim kaybına neden olur. Özellikle devre üzerinde eğer ayrık yapılar varsa PCB'lerin elektriksel ve boyutsal toleransı mikrodalga devre tasarımı için kritik diğer bir parametredir (Cotter, 2008). Çalışma frekansı üzerinde bağıl dielektrik katsayısının etkisi çok önemli olup, bant genişliğini de etkilemektedir. Mikroşerit antenlerin tasarımı için FR4 malzeme ucuz, kullanılabilir ve 2.4 Ghz bölgesinde iyi performans vermesinden ötürü tasarımlarda malzeme olarak kullanılmıştır. FR4'ün teknik bilgileri Çizelge 3.2.'de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. FR4 malzemenin özellikleri

FR4	
Bağıl dielektrik katsayısı	4
Bağıl dielektrik toleransı	+/- %5 → +/- %25
Kullanılan kalınlıklar (mm)	0.25 mm, 0.8 mm, 1.6 mm
Kayıp tanjantı	0.02

3.11. Yöntem

Elektromanyetik problemlerin çözümünde analitik ve sayısal yöntemler ile deney sonuçları kullanılır. Bütün mühendislik problemlerinde olduğu gibi elektromanyetik problemlerin çözümünde de analitik yöntemler ancak basitleştirilmiş ve idealleştirilmiş yapılar için elde edilmektedir. Günümüzde elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan pek çok sayısal yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin bazıları problemi zaman ekseninde bazıları ise frekans ekseninde çözer. Her yöntem ancak belli koşullarda doğru sonuçlar verdiği için, bütün elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılabilecek çok sayıda problem bulunmaktadır.

Sayısal yöntemlerin uygulanmasında en çok dikkat edilmesi gereken noktalar, simülasyon süresi, bellek, işlemci hızı yeterliliği, modellemede kullanılan üst seviyeli programlama dillerinin ve sonuçları uygun formatta işleyebilecek gelişmiş grafik çizim programlarının seçimi olarak sıralanabilir. Bu nedenle kullanılan sayısal yöntemin ve problemin gerektirdiği tüm sistem ihtiyaçları iyi belirlenmeli ve bir optimizasyon yapılmalıdır.

Mikroşerit antenler genellikle ince dielektrik bir malzeme üzerinde iki boyutlu ışınım yapan yamalardır ve bu nedenle antenler iki boyutlu düzlemsel analiz edebilen bileşenlere göre sınıflandırılmalıdır. Analiz metotları iki gruba bölünür.

Birinci grup analiz metodu antenin (yamanın) kenarlarındaki eşdeğer manyetik akım dağılımını baz alır. Üç popüler analiz tekniği vardır.

- İletim Hattı Modeli
- Oyuk Modeli
- Çoklu Network Modeli

İkinci grup ise, antenin yer düzlemi ve yamanın iletken düzlemi üzerindeki elektrik akım dağılımını temel alır. Mikroşerit antenlerin analizinde en sık kullanılan metotlar aşağıdadır.

- Moment Metodu (MoM)
- Sonlu eleman Metodu (FEM)
- Sınırlı-farklı zaman alan metodu (FDTD)

3.11.1. İletim hattı metodu

İletim Hattı metodu basit ve mikroşerit antenlerin temel performansını anlayabilecek bir metottur. Mikroşerit ışıma yapan elemanlar iletim hattı rezonatörleri olarak görülebilir (mikroşeritin alanı sadece uzunluğa bağlı olarak değişir.) ayrıca ışımının temelde açık devre uçlarında saçak alanlarından yapılıdır. Yama iki oyuklu rezonatör olarak gösterilir bu oyuklar rezonatörün boyuna bağlı olarak yerleştirilir. Bu model mikroşerit antenlerden dikdörtgensel yamalar için geliştirilmiştir fakat diğer yama şekilleri için de uygulanabilir. İletim hattı modeli kullanımı kolay bir yöntemdir tüm yapılandırma tipleri bu model ile analiz edilememektedir. Çünkü bu model yayılımın yönünün ortogonal yönüne bağlı alanların değişimini ele almamaktadır.

3.11.2. Oyuk modeli

Oyuk modelinde, yama ile toprak düzlemi arasındaki bölge birer oyuk olarak ele alınır bu oyuk alt ve üst taraflarından manyetik bir duvar ile çevrilmiş ve şekle ait çözüm ve alan dağılımlarını verir. Bu nedenle malzeme ince kullanılır. Malzemenin kalınlığı boyunca alan oyuk içerisinde tek düzedir. Yamanın altında dikdörtgensel, dairesel, üçgensel gibi düzenli şekiller iki boyutlu rezonatörün değişik tınlama modların bir toplamı olarak ifade edilebilir.

Hem iletim hattı modeli hem de oyuk modeli uyguladıkları yaklaşımlar limitli olmasından ötürü moment metodu, sınırlı eleman metodu, sınırlı alan farkı metodu gibi metotlar daha çok tercih edilmektedir. Çoklu network modeli oyuk modelinin genişletilmiş halidir. Bu metotta yamanın altındaki ve üstündeki elektromanyetik alanlar ayrı ayrı modellenir. Yama çevresi etrafında birçok porta sahip iki boyutlu düzlemsel network olarak analiz edilir.

3.11.3. Moment metodu

Moment metodu 1968 yılında Harrington tarafından geliştirilmiş ve birçok elektromanyetik problemin çözülmesinde başarıyla uygulanmıştır. Moment metodu frekans domeninde integral denklemlerini temel alan bir sayısal yöntemdir. Yöntemin ana formülasyonu, Gren fonksiyonları kullanarak elde edilen integral denklemleridir. Moment Metodunda Maxwell' in integral denklemleri matris formuna dönüştürülürler. Daha sonra, dalga boyuyla orantılı tel ızgaralarla modellenmiş katı yapılardan yayılan elektrik alan, parçalara bölünmüş teller üzerinde oluşturulan matrislerin çözümlerinin birleştirilmesiyle hesaplanabilir. Bu metot, karmaşık yapılar ve antenler içeren platformların analiz ve sentezi için geniş uygulama alanı bulmuştur. Moment metodu diğer nümerik metotlara nazaran düzlemsel anten yapılarına kolayca uygulanabilmesi ve çözüm süresi çok kısa olması sebebiyle tercih edilmektedir. Moment metodunun temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

MoM, bir uyarma problemidir. Sağ tarafında dürtü fonksiyonu şeklinde bir terim bulunan Green fonksiyonu problemidir. Öncelikle ele alınan yapıya ait Green fonksiyonunun analitik olarak bulunması gerekir.

Green Fonksiyonu, matematikte homojen olmayan diferansiyel denklemlerin, istenen sınır koşulları altında çözülmesinde kullanılan bir yöntemi ve bu yöntemle ilişkili olarak hesaplanan fonksiyonu belirtmekte kullanılır. İlk kez matematikçi George Green tarafından kullanılmıştır. Green Fonksiyonu L bir doğrusal operatör olmak üzere

$$Lu(x) = f(x) \quad (3.59)$$

biçiminde tanımlı homojen olmayan bir diferansiyel denklemi çözmek amacıyla öncelikli olarak aynı sınır koşulları altında

$$LG(x, y) = \partial(x - y) \quad (3.60)$$

biçiminde tanımlanmış (3.60) denklemi çözülür. Burada $\delta(x - y)$ Dirac delta fonksiyonunu, $G(x, y)$ ise ilgili probleme ilişkin Green fonksiyonunu göstermektedir. Green fonksiyonunun bulunması durumunda, bilinmeyen $u(x)$ fonksiyonu

$$u(x) = \int G(x, y)f(y)ds(y) \quad (3.61)$$

biçiminde hesaplanır. Burada D $f(x)$ fonksiyonunun desteğidir.

MoM, ikinci olarak ele alınan yapı üzerinde oluşan yüzey akımlarının sayısal olarak hesaplanmasına dayanır. Ele alınan yapının küçük parçalara (segment) ayrılması ve yüzey akımlarının matris sistemi şeklinde yazılıp çözülmesine dayanır. Matris sisteminin boyutu segment sayısına bağlıdır. Segment sayısı arttıkça matris tersi almadaki sayısal zorluklar nedeniyle hesap hacmi ve süresi üstel olarak artmaktadır.

3.11.4. Sınırlı-farklı zaman alan metodu (FDTD)

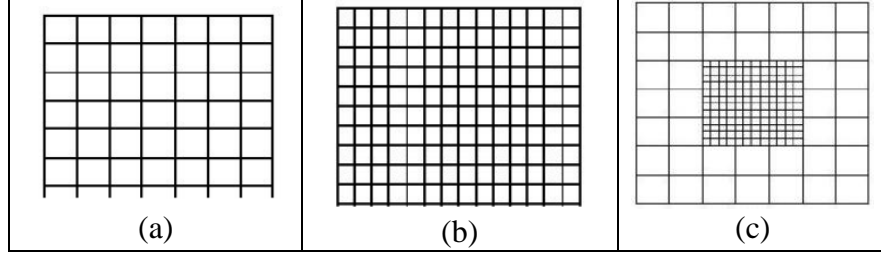
Elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan en popüler sayısal yöntemlerden biridir. FDTD yöntemi 30 yılı aşkın bir süredir var olmasına rağmen, bilgisayarların hız ve kapasiteleri arttığı sürece metodun popülaritesi artmaya devam edecektir. Ayrıca metodun geliştirilmesine yönelik yayınların artması da metodun çekiciliğini artırmaktadır. İlk defa 1966'da Yee tarafından ortaya atılan FDTD metodu, Maxwell denklemlerinin diferansiyel formunu ayrıklaştırmaya yarayan sade ve sık bir yöntemdir. FDTD ile ilgili araştırma faaliyetlerinin çok fazla olmasından dolayı FDTD literatürünün izlenmesi zor bir iştir.

FDTD yöntemi, diferansiyel formdaki Maxwell denklemlerinin doğrudan zaman ekseninde de ayrıklaştırılıp çözülmesidir. İlk iki Maxwell denkleminde diferansiyel operatörler sayısallaştırılıp sonlu farklar eşdeğerleri ile değiştirilir. Böylece elde edilen ayrık denklemler (ele alınan yapıya ait sınır koşulları da sağlanarak) iteratif olarak çözülür. İlk defa 1966 yılında ortaya atılan bu yöntem, en genel halde, üç elektrik alan ve üç manyetik alan bileşenlerinin uzayın seçilen ayrık noktalarında ayrık zaman aralıklarında hesaplanmasına dayanır. Bu nedenle, hızlı ve yüksek kapasiteli bilgisayarlara gerek duyulur. Kaynak olarak sinüzoidal (dar bantlı) ya da darbesel (geniş bantlı) kaynak seçilebilir. İteratif olarak her küçük zaman artımında söz konusu alan bileşenlerini, maxwell denklemlerinden çözmeye dayanan FDTD yönteminde yakınsama, dispersiyon ve doğruluk problemleri çok önemlidir. FDTD yönteminin uygulanmasında en önemli kıstas, çözülmeye çalışılan problemlerin fiziğinin iyi anlaşılması ve her adımda izlenmesidir.

FDTD yönteminde analiz edilecek olan yapı x, y ve z eksenleri boyunca binlerce küçük hücreye bölünür. Gerekli işlemlerden sonra, yapı içerisindeki elektromanyetik dalgaların ilerleyişi hakkında bilgi elde edilir. Ancak elektrik ve manyetik alan değerlerinin fazla değişmediği yerlerde, yapının çok fazla hücreye bölünmesi işlem yükünü artırdığından dolayı gereksizdir. Bunun yerine alan değerlerinin hızlı değişim

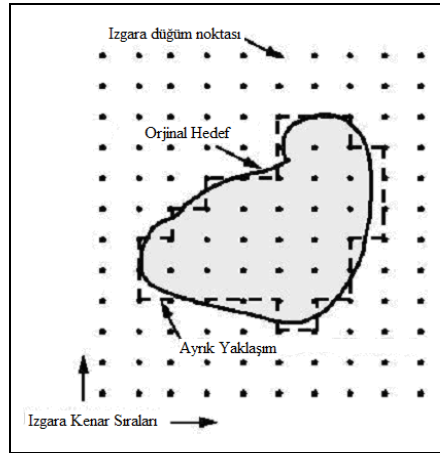
gösterdiği bölgelerde, köşelerde ve uç bölgelerde yapının daha fazla hücreye bölünmesiyle daha doğru ve verimli sonuçlar elde edilmektedir.

Izgaralama teknikleri şekil 3.27'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.27. (a) Tamamen büyük izgaralama (b) Tamamen küçük izgaralama (c) Alt izgaralama

Uzaysal farklılıkların paralelyüz hücreler (tuğlalar) kullanılarak gösterimi örnek olarak verilebilir (Şekil 3.28). Bu uygulamada; Hesaplanabilir izgara hedefin ötesine uzar. FDTD'nin adaptasyon avantajı vardır. Her hücre diğerlerinden bağımsız bir geçirgenliğe sahiptir. Düzlemsel dalga aynı zaman adımlarında izgaraya sokulmalı ve yayılmalıdır. Yayılan alan izgarada herhangi bir yapay yansıma uğramadan çıkmalıdır.



Şekil 3.28. Bir geometri üzerinde ftd izgaralama işlemi

FDTD ile elektromanyetik problem simülasyonunda önemli unsurlardan birisi de parametre seçimidir. FDTD ile zamanda darbesel işaretlerin simüle edilmesindeki ana amaç ele alınan yapının geniş frekans bandında davranışını incelemektir. Unutulmamalıdır ki FDTD ile her yapı her frekans bölgesinde inceleyebilir. Bu nedenle FDTD ile bir yapı simüle edilmek istendiğinde çıkış noktası parametrelerin

belirlenmesi olmalıdır. FDTD de parametre seçimi aynı zamanda bir çeşit optimizasyon anlamına da gelir.

3.11.5. Sonlu eleman metodu (FEM)

Bu metot, hem gerçek çözüme çok yakın olması, hem de kullanılması arzulanan geometriye kolayca uygulanabilmesi açısından, çok kullanışlı bir metottur. Bunun yanında sonlu farklar metodu da (FD), denklemlerinin çıkarılması ve kolayca geliştirilmesi açısından uygun bir metot olduğu için, sıklıkla, diğer nümerik yöntemleri test etmek için kullanılmaktadır. İki yöntemde bir bölgenin küçük parçalara ayrılıp türevlerinin alınması ve daha sonra parçaların birleştirilerek, bir bütün halinde çözülmesi için gerekli eşitliklerin oluşturulmasına dayanmaktadır. FEM, bölgesel yaklaşımı kullanırken, FD noktasal yaklaşım tekniğini kullanmaktadır. FEM ve FD teknikleri hassas hesap ve büyük bölgeler, için inanılmaz kolaylıklar ve gerçek hesaplara yakın büyük doğruluklarla çözümler vermektedir. Ancak bu tür hesaplar için bilgisayarların kullanılması zorunludur. FEM ve FD veya bunların entegral çözümü olan Sınır elemanları metodu (BEM) kullanılırken, çok sayıda bulunan denklemlerin çözümleri için kapasiteli bilgisayarların kullanılması zorunludur. Nümerik yöntemlerin günümüzde pek çok hazır programları da mevcutsa da, hem sınır şartlarının daha iyi kullanılması hem de geometrinin daha iyi analiz edilmesi için, her geometri ve sınır şartlarına özel bilgisayar programlarının hazırlanması, problemlerin çözümü açısından daha doğru sonuçlar verecektir. Sonlu elemanlar metodunu diğer nümerik metotlardan üstün kılan başlıca unsurlar şöyle sıralanabilir:

- i.) Kullanılan sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin değişkenliği nedeniyle ele alınan bir cismin geometrisi tam olarak temsil edilebilir.
- ii.) Bir veya birden çok delik veya köşeleri olan bölgeler kolaylıkla incelenebilir.
- iii.) Değişik malzeme ve geometrik özellikleri bulunan cisimler incelenebilir.
- vi.) Sebep sonuç ilişkisine ait problemler, genel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş kuvvetler ve yer değiştirmeler cinsinden formüle edilebilir. Sonlu elemanlar metodunun bu özelliği problemlerin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.
- v.) Sınır şartları kolayca uygulanabilir.

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir. Bir elemana ait denklemlerin elde edilmesinde değişik metotlar kullanılabilir.

Çizelge 3.3. Nümerik metotların karşılaştırılması

	Frekans Ekseni Metotları		Zaman Ekseni Metotları	
	MoM	FEM	FDTD	
Avantajları	Tek frekansta hızlıdır. Diğer metotlar ile birlikte problemlerin çözümünde kolayca birleşebilir.		Tek simülasyonda genişbant sonuç verir. Darbe tipi problemlerde iyidir.	
Dezavantajları	Darbe tipi problemlerde işlem yapışı zordur		Elektriksel olarak geniş sistemler için uygun değildir.	
Not	Tel/çubuk tipi antenler için daha uygundur.	Çok ince tel/çubuk antenlerde dikkatli olunmalıdır	Sınır koşullarında dikkatli olunmalıdır.	İnce tel/çubuk antenlerde dikkatli olunmalıdır.

3.12. Simülasyon Yöntemi

Anten tasarımlarında tasarlanacak olan antenler teorik yöntemler ile analiz etmek oldukça zor ve zaman kaybıdır. Bu nedenle tasarlanacak olan antenler her zaman bir simülasyon programı vasıtasıyla analiz edilir. Daha sonra fabrikasyonu yapılarak gerçek ortamda test edilir.

Anten tasarımında en çok kullanılan simülasyon programlarından biri CST Microwave Studio'dur. Bu proje için 2011'de çıkarılan son sürümü kullanılmış ve sonuçlar test ortamında uygulanmıştır. CST programında hem elektromanyetik, hem devre hem de sistem simülatörleri bulunmaktadır. CST üzerindeki elektromanyetik simülatör yüksek frekans problemlerinin çözümünde üç boyutlu simülasyon sonuçları ve tasarımları sunabilmektedir. Mikroşerit antenler çoğunlukla Elektromanyetik yapı üzerinden analiz edilir. Bu yapı her birinin boyutları istenen seviyede seçilebilen hücreler topluluğu üzerine kurulur. Bu hücreler üzerinde

entegral ve differansiyel denklem çözümleri yapılarak tasarlanan geometriye bağlı olarak sonuçlar grafiksel olarak çıkarılır. CST üzerinden antenlerin performansının en çok etkili olduğu geri dönüş kaybı, giriş empedansı, elektrik alan ve manyetik alan düzlemleri, bant genişliği ve çalışma frekansı grafiksel olarak rahatlıkla sonuçlanabilir. Ancak devre boyutları büyük ve birim hücre boyutları küçük seçilirse işlem yapılacak hücre sayısı artacağı için simülasyon koşturma süresi uzamaktadır. Bu nedenle mümkün oldukça optimum değerler seçilmeye gayret edilir. Ayrıca Simülasyon programı üç boyutlu analiz ve tasarım imkânı sunması üç boyutlu geometrilerin analiz ve tasarımında oldukça faydalı olmaktadır.

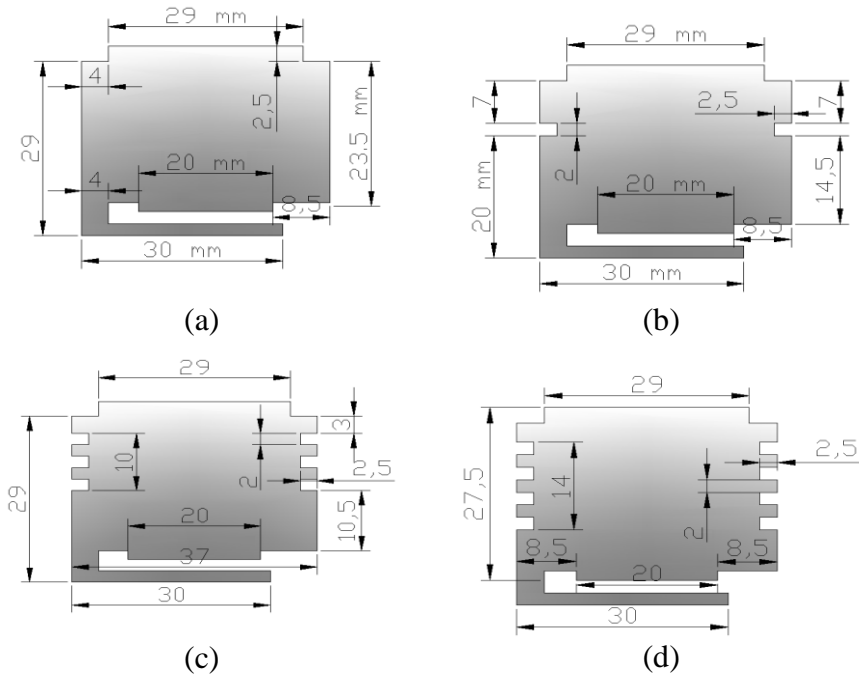
3.13. Üretim

Mikroşerit antenlerin tasarımında kullanılan malzeme için FR4 seçilmiştir. FR4 rahatlıkla bulunan bir malzeme olmasından ötürü tercih edilmiştir. PCB tasarımı simülasyon programı üzerinden elde edilen geometri profesyonel yöntemler ile olmasa da laboratuvar koşullarında FR4 malzemenin iletken kısmına yerleştirilir. Gerekli kimyasal işlemlerden sonra ışınım yapan iletken tabakaya SMB tipi konektör kullanılarak port bağlantısı sağlanmış olur. Eğer aktif eleman kullanılıyorsa kullanılan eleman yüksek frekansta çalışılmasından ötürü yüzey montajlı olan seçilir ve uygun bir lehimleme yöntemi ile elemanlar lehimlenir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Pasif Anten Tasarımı

Mikroşerit antenin ışınım yapabilmesi için geometrisi üzerinde süreksiz noktaların varlığı performansı üzerinde etki etmekte ve sonuçları değiştirmektedir. Şekil 4.1’de yer alan geometriler simülasyon üzerinde denenmiş ve önemli performans parametreleri çizelge 4.1.’de karşılaştırılmıştır.



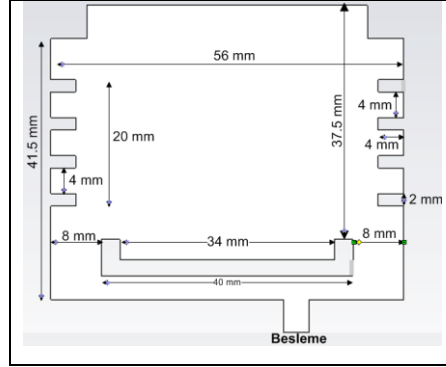
Şekil 4.1. Tasarlanan bazı antenler

Çizelge 4.1 Antenlerin simülasyon sonucu performans parametre değerleri

Geometri	(a)	(b)	(c)	(d)
Fc (Mhz)	2455	2435	2415	2405
BW (Mhz)	34	33	38	38
S ₁₁ (dB)	-25,87	-26,17	-31,24	-45,35
Z _{in} (Ohm)	48.964 – 4.84j	49.801 – 4.91j	51.043 -2.57j	49.68 + 0.43j
Kazanç (dB)	1.125	1.127	1.133	1.246

Çizelge 4.1.’den anlaşıldığı gibi en iyi performans sonucu 4 nolu geometri üzerinden alınmış ve ışınım gücünü arttırmak için Mikroşerit iletim hattı üzerinde optimizasyon

yapılarak Şekil 4.2'deki hale gelmiştir. Tasarlanan anten CST simülasyon programında oluşturulmuş ve geometri Şekil 4.2'de yer almaktadır.



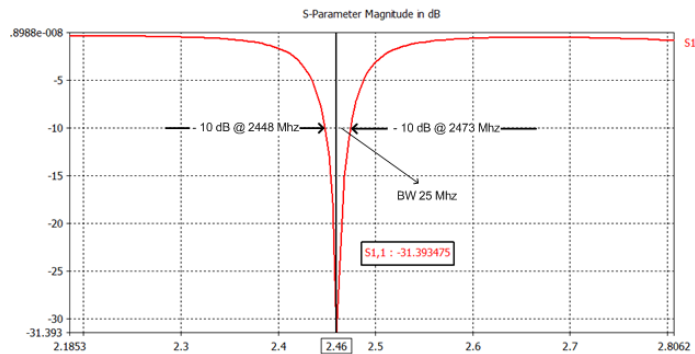
Şekil 4.2. Tasarlanan pasif anten

Simülasyon programında kullanılan malzemenin bilgileri de Çizelge 4.2'de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Dielektrik malzeme özellikleri

Alt Taban Malzemesi	Dielektrik Sabiti	Kayıp Tanjant	Dielektrik Kalınlığı	Bakır Kalınlığı
FR4 Cam elyaf	4.6	0.019	1.6 mm	1µm

Pasif mikroşerit anten için tasarlanan geometride girintilerin, çıkıntılarının ışınım üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Teoride ışınımın oluşması için süreksiz noktalar ihtiyaç olduğu için bu tasarımlar ile daha başarılı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.2'deki anten ile yapılan benzetim sonuçları aşağıda (Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.) yer almaktadır.



Şekil 4.3. Pasif antenin S_{11} sonuçları

Bu geometriden elde edilen uzak alan örüntüleri ise şekil 4.4’de yer almaktadır. Şekil 4.2 incelendiğinde kıvrım sayısının artması uzak alan örüntülerinde olumlu bir etki yarattığı tespit edilmiştir.

Eğer bir antenin yönlendiriciliği yalnızca analitik tekniklerle bulunamıyorsa, antenin ışına örüntüsü ölçümleri kullanılarak yönlendiriciliği elde edilebilir. Bu metotlardan biri Kraus yada Tai ve Pereira’nın yapmış oldukları yaklaşımlardır. Diğerleri ise nümerik teknikleridir. Test altındaki antenin uzak alan düzlem örüntülerini ölçmek için düzlem örüntülerinin yarım dalga ışına genişliğini bularak, Kraus, Tai ve Pereira’nın yaklaşımlarını kullanarak yönlendiriciliği bulunabilir.

Yönlendiriciliğin hem θ hem de ϕ bileşenleri vardır. Bunlar kısmi yönlendiriciliklerdir ve bunların her biri teker teker bulunması gerekmekte ve bunların toplamı da toplam yönlendiriciliği vermektedir.

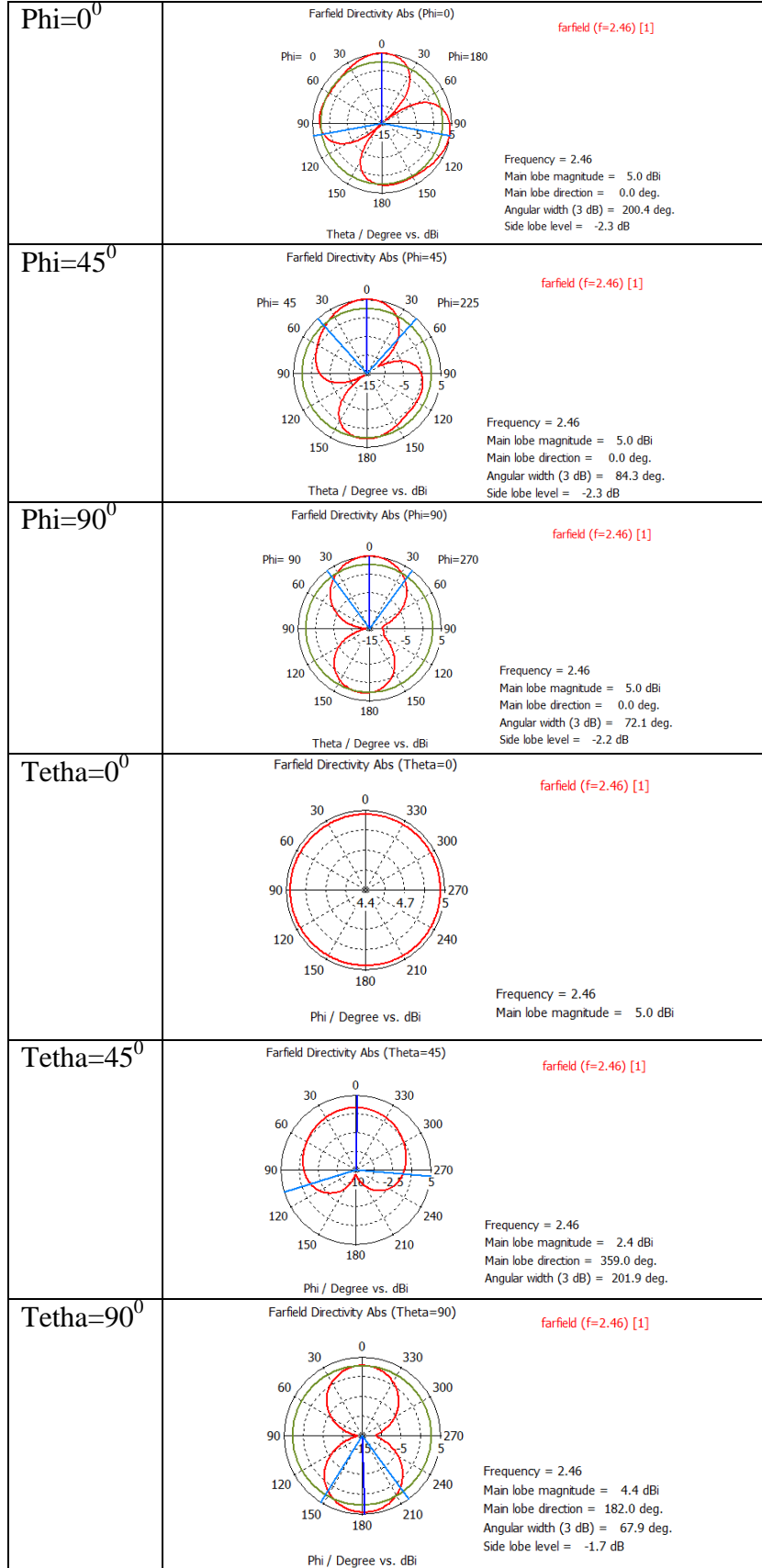
$$D_0 = D_\phi + D_\theta \quad (4.1)$$

$$D_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi} \quad (4.2)$$

$$D_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi} \quad (4.3)$$

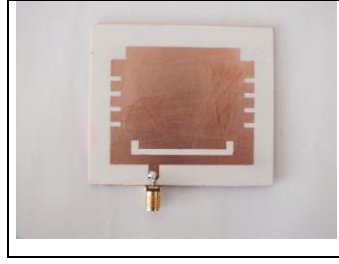
Burada U_ϕ ve U_θ ϕ ve θ açıları üzerindeki ışına yoğunluklarıdır.

Aynı teknik güç yoğunluğunu ölçmek için kullanılabilir ve ortogonal polarizasyonlu bir antenin yönlendiriciliğini de hesaplamak için kullanılabilir. Birçok antenin yalnızca bir polarizasyona sahiptir ve bu sahip olduğu polarizasyona ana polarizasyon denir. İdeal olarak diğer polarizasyonların sıfır olduğu kabul edilir ama gerçekte -40 dB civarında bile olsa bir etkisi vardır. Yönlendiricilik dairesel ve eliptik polarize antenlerde de ölçülebilir.



Şekil 4.4. Pasif antenin uzak alan örüntü sonuçları

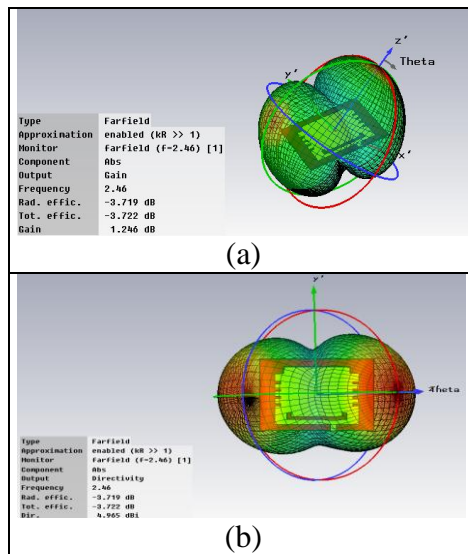
Simülasyon ile elde edilen sonuçlardan pasif anten gerçekleştirilmiş ve antenin baskı sonucu görüntüsü Şekil 4.5’de yer almaktadır.



Şekil 4.5. Pasif anten pcb devresi

Şekil 4.2’de pasif anten için elde edilen simülasyon sonuçlarında ilk olarak geri dönüş kaybı değerlendirildi. Simülasyon sonucu Geri dönüş kaybı -31.39 dB bulunmuştur. Geri dönüş kaybı bir antenin iletim gücünü bire bir etkileyen en önemli parametredir. Antenin simülasyon sonucunda bant genişliği 25 Mhz olarak görülmektedir (bant genişliği maksimum düşüş yaşanan değer -10 dB değişim yaşadığı aralık arasını kapsamaktadır). Giriş empedansının reel büyüklüğü 50 ohm’a eş değer olması ve sanal kısmının sıfıra gitmesi hedeflenmiştir. Simülasyon sonucunda giriş empedansının reel büyüklüğü 38.01 ohm bulunmuştur.

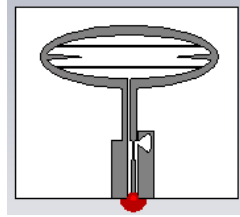
Üçüncü olarak Antenin VSWR değeri incelenmiştir. VSWR değerinin mutlak 1’den büyük olması gerektiği için 1 değerine çok yakın olması istenmiştir. Simülasyon sonuçları kıvrım sayısının artması ışınımın daha güçlü olmasının yanı sıra merkez frekansının da değiştiğini göstermektedir.



Şekil 4.6. Pasif anten grafikleri (a) kazanç (b) uzak alan örüntüsü

Şekil 4.6’da pasif antenin kazancı ve uzak alan örüntüsünün üç boyutlu simülasyonu görülmektedir. Antenin kazancı 1.246 dB olması aslında genel mikroşerit anten kazanç değerlerine göre düşük olmasına rağmen yönlendiriciliği oldukça başarılıdır.

Belen 2011 yılında yazdığı tezinde yaptığı mikroşerit anten şekil 4.7’de gösterilmektedir. Elemanın simülasyon sonuçlarını inceleyecek olursak geri dönüş kaybı 2-3GHz arasında çifte rezonansa gelmektedir. Bunlardan biri 2.36GHz de -28.926 dB dir.



Şekil 4.7 Mikroşerit anten (Belen, 2011)

Şekil 4.7’deki anten ile tasarladığım geometri karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

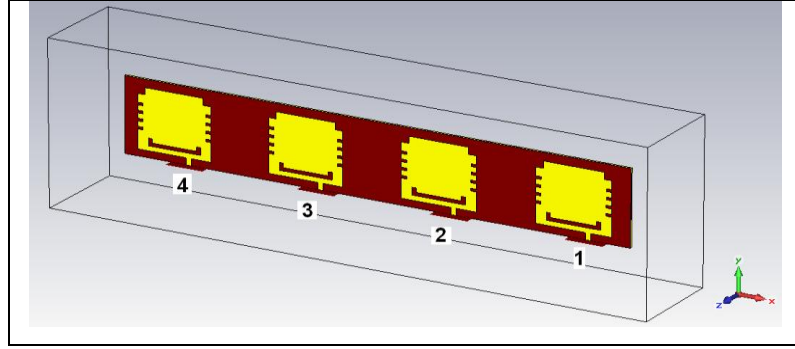
Şekil 4.8, iki farklı anten geometrisini karşılaştırarak performans analizini göstermektedir. Üst kısım, Şekil 4.7’deki mikroşerit anteni göstermektedir. Alt kısım, tasarlanan geometriyi göstermektedir. Her iki kısım da, frekans, S11, yönlendiricilik ve kazanç değerlerini içeren bir tabloya sahiptir.	Frekansı 2.36 Ghz	S11 -28.96 dB	Yönlendiricilik 4.1 dBi	Kazanç 4.356 dB
Şekil 4.8, tasarlanan geometriyi göstermektedir. Geometri, bir mikroşerit anten yapıya sahiptir ve bir substrat üzerine monte edilmiştir. Geometri, bir yarı küre şeklinde bir radyasyon kılıfına sahiptir.	Frekansı 2.46 Ghz	S11: -31.39 dB	Yönlendiricilik 4.965 dBi	Kazanç 1.246 dB

Şekil 4.8. Literatürdeki anten ile karşılaştırmalı performans analizi

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi yapılan anten geri dönüş kaybı ve yönlendiricilik açısından literatürdeki antene göre başarılı olmuş ancak kazancı daha zayıf olduğu görülmüştür. Antenin kazancı ışınım ile ilişkili olduğu için anten geometrisindeki fark kazanç değişiminde etkisini göstermektedir.

4.1.1. Pasif dizi anten tasarımı

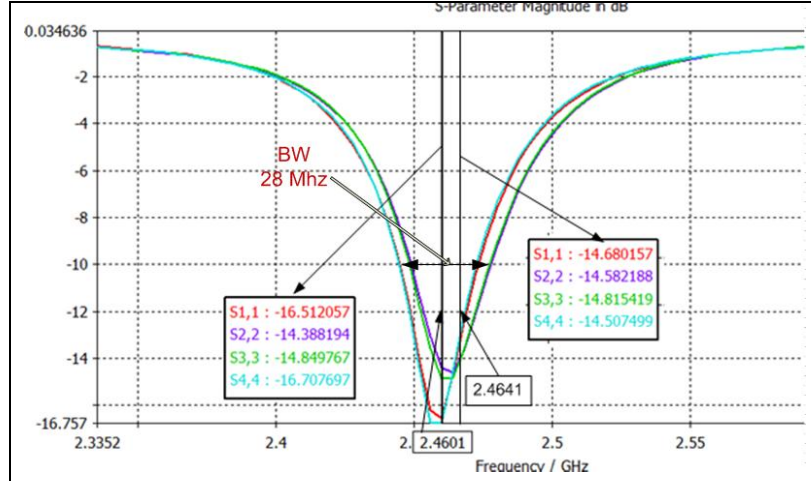
Alıcı eleman olarak tek bir antenin kullanılması, özellikle istenilen işaretin elde edilmesinin zor olduğu, gürültülü ortamlarda arzu edilen anten karakteristik genişliğini sağlamak için yeterli olmamaktadır. Bu durumda, gürültülü ortam içerisinde istenilen anten karakteristik genişliğine ulaşmak için anten dizileri kullanmak daha faydalı olmaktadır. (Hubregt J. Visser,2005). Yapılan mikroşerit antenin dizi halinde tasarımı yapılmış ve önemli parametreleri analiz edilmiştir. Tasarlanan antenden toplam dört adet olacak şekilde dizi anten tasarımı yapılmış ve bilgisayar ortamında analiz edilmiştir. Yapılan geometri şekil 4.9'daki gibidir.



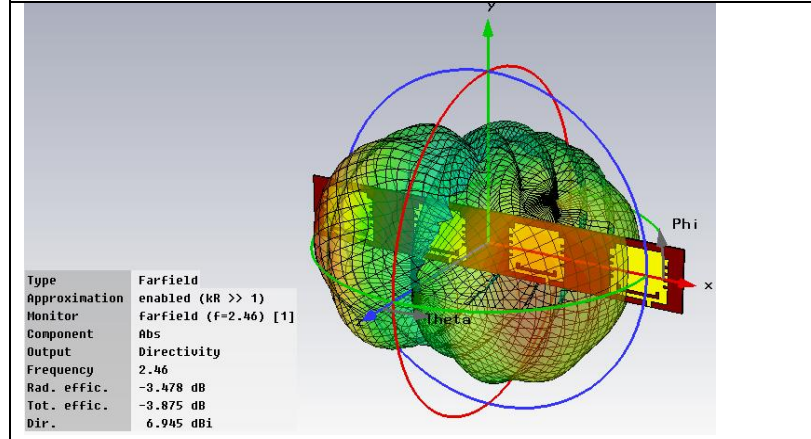
Şekil 4.9. Pasif dizi anten

Şekil 4.9'da anten dizisindeki anten numaraları sağdan başlamak üzere portları numaralandırılmıştır.

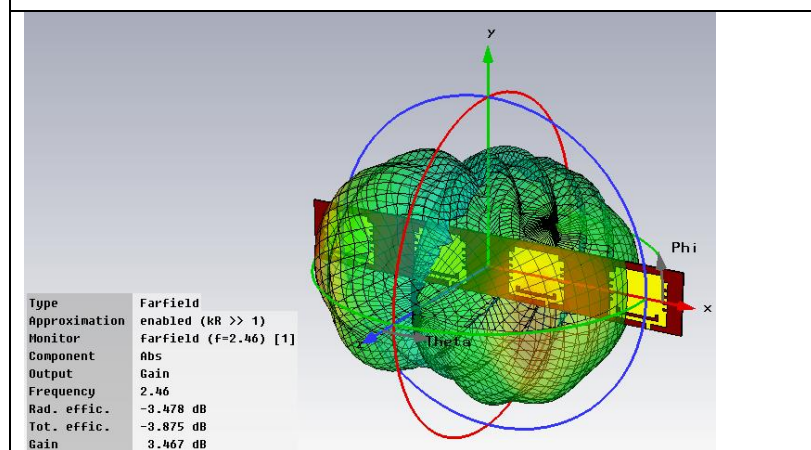
Dizi antenlerin geri dönüş kayıpları ve ışıma örüntüleri ve kazancı şekil 4.10'da verilmektedir.



(a)



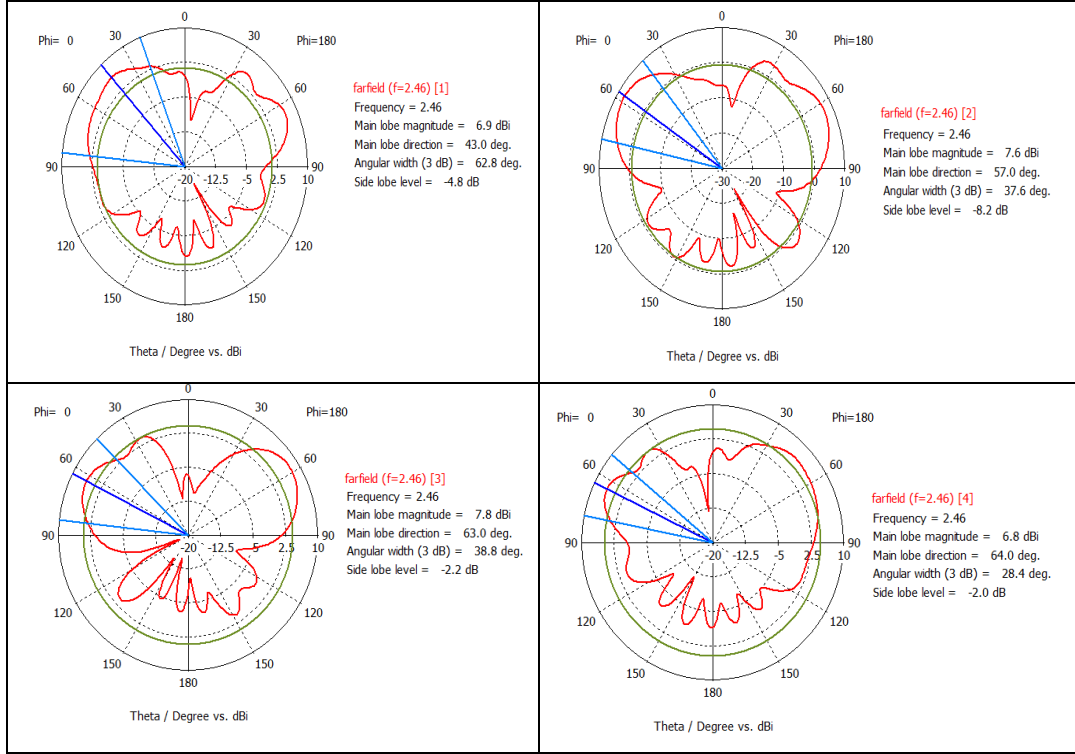
(b)



(c)

Şekil 4.10 Pasif dizi anten sonuçları (a) geri dönüş kaybı (b) uzak alan örüntüsü (c) kazanç

Geri dönüş kayıpları incelendiğinde dizi antenin 2.46 Ghz civarında ve -15 dB mertebesinde çalıştığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ile pasif antenin tek durumundaki sonuçlar karşılaştırıldığında dizi halinde kazancın ve yönlendiriciliğin belirgin bir seviyede değiştiği görülmektedir. Ayrıca frekans değişmemiş ve bant genişliği azalmıştır. Yönlendiriciliği 7 dB mertebesinde görülmekte kazancı ise 3-4 dB arasında değişmektedir.



Şekil 4.11 Pasif dizi antenin polar düzlemdeki görüntüsü

Şekil 4.11’de dizi antenin portlarından görülen uzak alan ışınma örüntüsü yer almaktadır. 1 nolu portun maksimum ışınma yaptığı açı 43° ve 7.6 dBi olarak ölçülmüştür. 2 nolu portun maksimum ışınma yaptığı açı 57° olarak ölçülmüş ve maksimum lop 6.9 dBi seviyesindedir. 3 nolu portun ise maksimumu ışınma yaptığı açı 63° ve seviyesi 7.8 dBi’dir. Son olarak 4 numaralı portun ana lobu 64° lik açı ile ışınma yapmış ve 6.8 dBi sinya seviyesi görülmüştür. Simülasyon sonuçları her port için tek tek çizelge 4.3.’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.3. pasif dizi anten sonuçları

Sıra no	Frekans (Ghz)	S11 (dB)	Yönlendiricilik (dBi)	Bant genişliği (Mhz)	Kazanç (dB)
1	2.46	-16.55	6.945	29	3.467
2	2.46	-14.38	7.620	29	4.312
3	2.46	-14.84	7.719	30	4.408
4	2.46	-16.70	6.775	29	3.492
Pasif tek anten	2.46	-31.39	4.965	25	1.246

Frekans her port için değişmemiş, bant genişliği 29 Mhz civarında görülmüştür. Kazanç ve yönlendiricilik antenin tek halindeki durumuna göre oldukça başarılı olmuştur. Ayrıca aktif elemanlar anten dizisi üzerinde ışına yönü üzerinde etkili olmuştur. Çıkış portları bir anahtarlama sistemi ile bağlanması halinde 43^0 - 64^0 'lik ışına açısı arasında port değiştikçe hüzme formunda daha yönlü ışına yapacaktır.

4.1.2. Pasif antenin laboratuvar sonuçları

Tasarlanan sistem çalışması, SDÜ, elektronik ve haberleşme mühendisliği bölümü, mikrodalga laboratuvarında gerçekleştirildi. Gerçeklenen antenlerin performans ölçümlerini test etmek amacıyla Rohde & Schwarz elde taşınabilir spektrum analizör FSH6, directional coupler, multimetre cihazları kullanılmıştır. Kullanılan spektrum analizör ve bazı antenler şekil 4.12'de yer almaktadır.



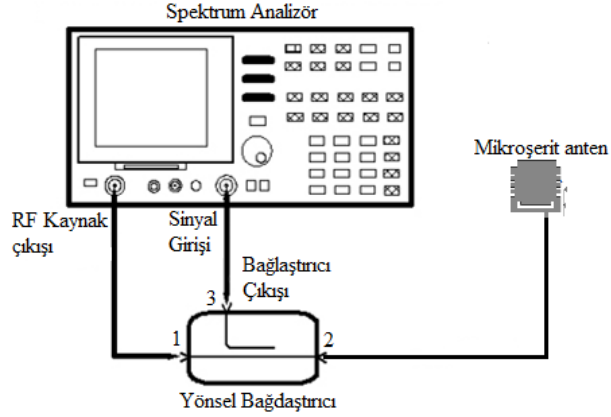
(a)



(b)

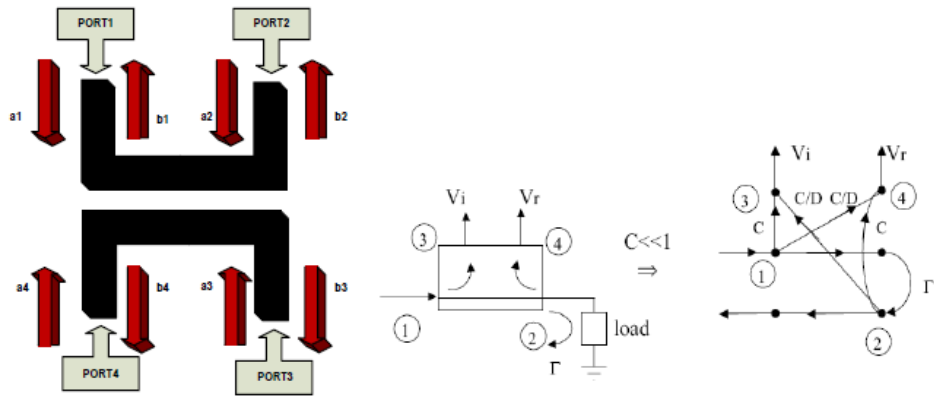
Şekil 4.12. (a) Spektrum analizör (b) Mikroşerit antenler

Laboratuvar ortamında tasarlanan antenin geri dönüş kaybının ölçülmesi için şekil 4.13'deki gibi bir düzenek kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Anten geri dönüş kaybı ölçüm yapısı

Anten performansı en önemli parametrelerden biri de geri dönüş kaybıdır. Geri dönüş kaybı sistemin parçaları arasındaki veya iletim hatları arasındaki empedans uyumsuzluğu nedeniyle gönderilen gücün bir kısmının yansımaya uğrayarak geri dönmesi sonucu oluşan güçtür. Geri dönüş kaybının ölçümünde yararlanılacak deney düzeneğinin temel elemanı yönel bağlaştırmacıdır. Yönel bağlaştırmacılar mikrodalga sistemlerde yansıyan, iletilen sinyallerden örnekler almamızı sağlayan bir yüksek frekans ölçüm elemanıdır. Bağlaştırmacı 4 portlu bir eleman olup temel yapısı şekil 4.14'deki gibidir.

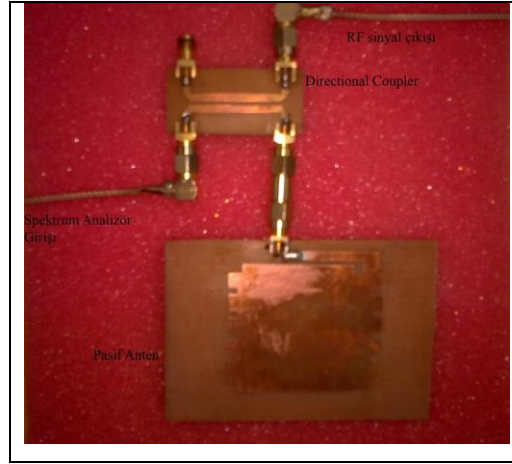


Şekil 4.14. Yönel bağlaştırmacı

$$\frac{V_r}{V_i} = \frac{1 \pm \Gamma}{1 \pm \frac{1}{D}[\Gamma]} \quad (4.4)$$

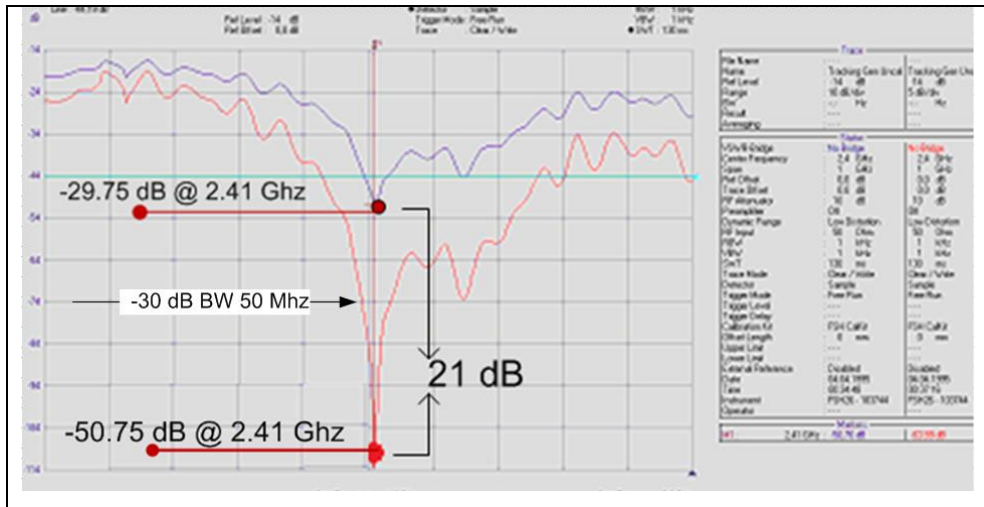
$$RL(dB) = 20 \log (P_r / P_i) \quad (4.5)$$

Test ortamı Şekil 4.15’de yer almaktadır. Geri dönüş kaybını ölçebilmek için spektrum analizörün rf çıkış portunu yönlü kuplör’ün 1 nolu portuna bağlanmış 2 nolu portuna anten bağlanmıştır. 3 nolu portu analizörün rf girişine bağlanmış 4 nolu portuna 50 ohm bir yük bağlanmıştır. Ancak laboratuvar ortamında 50 ohm yük olmadığı için 4 nolu portuna yük bağlanmamıştır.



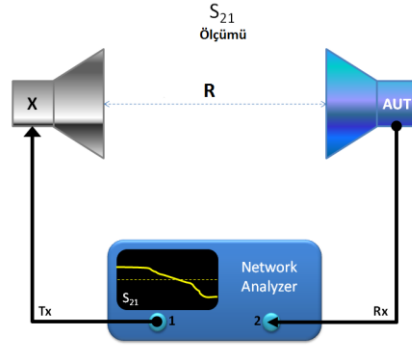
Şekil 4.15. Pasif anten geri dönüş kaybı ölçümü

Antenin spektrum analizörden elde edilen çıktısı şekil 4.16’da yer almaktadır. Anten için 2 sonuç elde edilmektedir. Bu sonuçlar aynı frekansta çalıştıklarını göstermekte ancak lehim, kablo vb sorunlar nedeniyle grafiklerin sonuçları aynı çıkmamıştır. Çıkan sonuca göre merkez frekansı 2.41 Ghz ve geri dönüş kaybı -50.75 dB mertebesindedir.



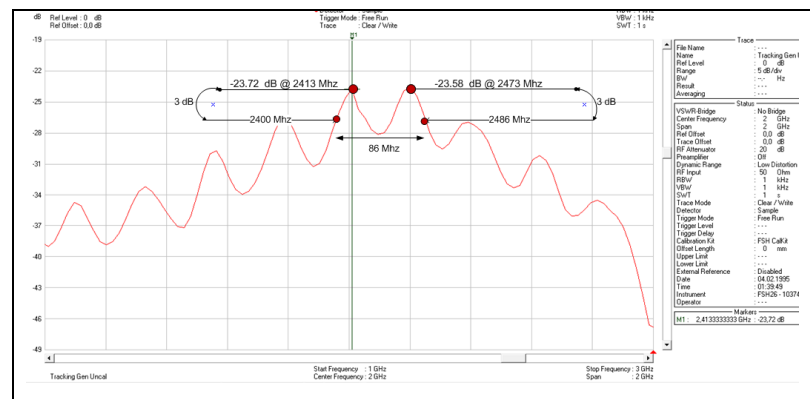
Şekil 4.16. Pasif anten spektrum analizör sonucu

Antenlerde performansı etkileyen ya da performansının ne derece iyi olduğunu gösteren parametrelerden bir diğeri de kazançtır. Anten tek portlu bir eleman olduğundan antenlerin kazanç ölçümleri diğeri sistemlerden biraz daha farklıdır. Kazanç ölçümü için birden fazla metot mevcuttur. Kolay ve uygulanabilir olması açısından iki anten metodu kullanılmıştır. Bu anten kazanç metodu isminden de anlaşıldığı gibi birbirinin aynı iki anten kullanılarak antenin kazancını ölçmede kullanılır. Antenler R kadar mesafe aralıkta yerleştirilirler. Bu R mesafesi antenlerin uzak alan ölçütlerini sağlayan bir mesafe olmalıdır. Test ortamı şekil 4.17’de yer almaktadır. Elde edilen sonuç istenilen sonuca oldukça yakındır.



Şekil 4.17. Referans antene bağlı olarak kazanç ölçümü

Şekil 4.18’de referans anten tasarlanan anten ve spektrum analizörün bağlantısı gösterilmiştir. Anten referans anten ile karşılıklı birbirlerini görececek şekilde yaklaşık 30 cm mesafeden spektrum analizör üzerinden sinyal alış-verişi değerlendirilmiştir. 2.47 Ghz’de -23.58 dB seviyesinde sinyal alış gözlenmiştir.



Şekil 4.18. Pasif antenin spektrum analizör kazanç sonucu

Pasif antenin kazancı için referans anten ile arasındaki mesafe uzak alan örüntüsü için yeterli olabilecek bir aralık olan 40 cm mesafe tercih edilmiş ve başarılı bir sonuç elde edilmiştir.

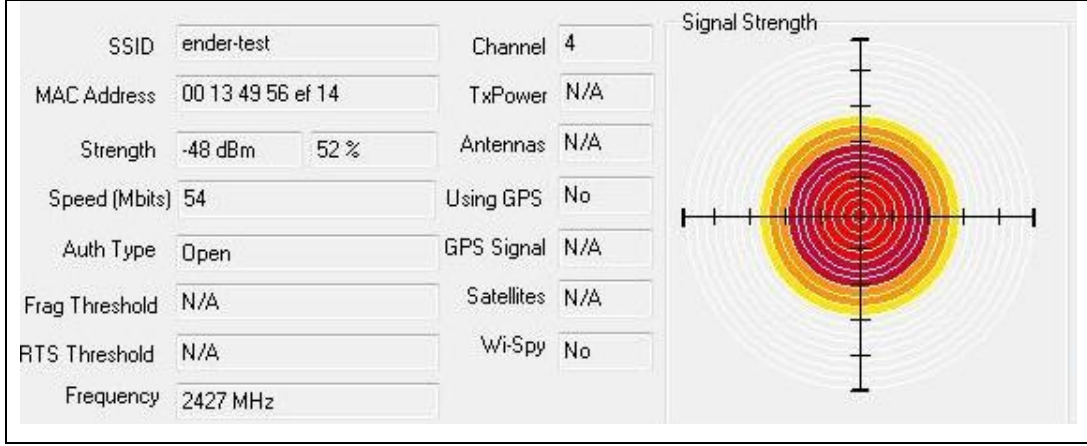
4.1.3. Kablosuz yerel alan ağ uygulaması

Kısa mesafe, hızlı veri alışverişine uygun kablosuz haberleşme protokolü olan IEEE 802.11b/g, 2.4–2.5 GHz bandında çalışmakta ve geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır. Tasarlanan anten modern hayatımızda sıklıkla kullandığımız kablosuz yerel alan ağları için kullanılan alıcı-verici sistemler üzerinde de test edilmiştir. Test ortamı şekil 4.19’da yer almaktadır. Bu ortamda kullanılan alıcı-verici görev yapan modemdir. Modemin kablosuz alan ağı için konsoldan bağlanılarak kablosuz veri alışverişı için modem konfigure edilmiş sinyal çıkışı için antene veri gönderilmesi sağlanmıştır. İlk konumda vericinin çıkışında çubuk anten kullanılmakta ve antene 1 metre mesafe uzakta ona bağlantı sağlayan bilgisayar bulunmaktadır.



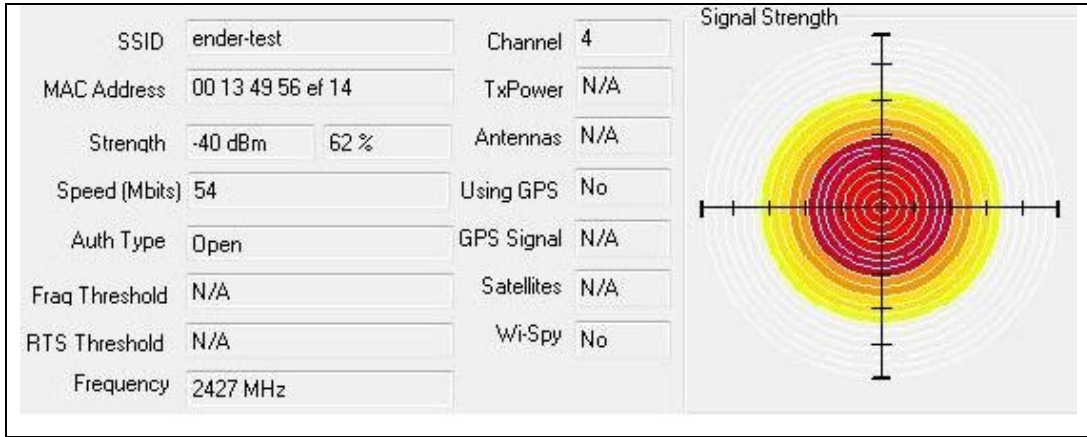
Şekil 4.19. Alıcı-Verici sistem ile antenin bağlantısı

Bilgisayar belirtilen mesafeden ışınma gücünün sonucunu çubuk anten vasıtasıyla şekil 4.20’de sonuçları yer alan wireless-moon programı üzerinden görmektedir. Sinyal alım gücü -48 dBm elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Çubuk anten ile elde edilen sonuç

Onun yerine tasarlanan pasif mikroşerit anten aynı alıcı-verici sisteme bağlanmış ve bilgisayar mesafeyi değiştirmeden, araya herhangi ışmayı engelleyici bir malzeme kullanmadan sinyali -40 dB seviyede almıştır. Sonuç wireless-moon programı üzerinden şekil 4.21’de görülmektedir



Şekil 4.21. Mikroşerit anten ile elde edilen sonuç

4.1.4. Dielektrik sabitinin değişimi

Mikroşerit antenlerin merkez frekansının değişimini sağlayan bir başka yöntem de kullanılan malzemenin bağıl dielektrik sabitinin değişimidir. Bu kapsamda Şekil 4.2’de yer alan devre üzerinde çalışma yapılmış ve Çizelge 4.4.’deki değerler elde edilmiştir.

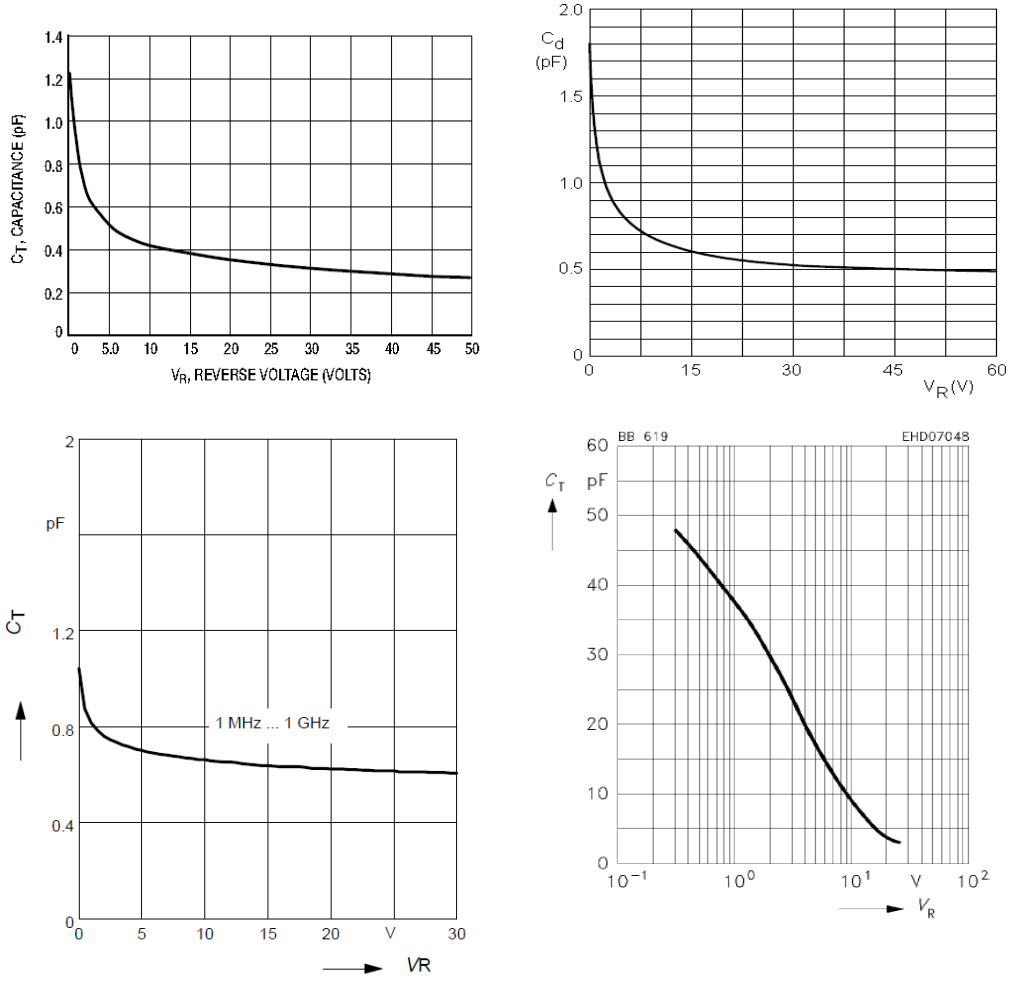
Çizelge 4.4. Dielektrik sabitinin değişimine bağlı önemli parametrelerin değişimi

Bağıl Dielektrik Sabiti	Merkez Frekansı	Geri Dönüş Kaybı (s11)	Giriş Empedansı	VSWR
4.4	2415 Mhz	-30.695 dB	47.479 + 1.321j	1.0017
4.5	2390 Mhz	-28.342 dB	46.862+1.9756j	1.0029
4.6	2365 Mhz	-26.476 dB	45.978 + 2.1367j	1.0045
4.7	2340 Mhz	-24.792 dB	44.846 + 1.8156j	1.0067

Çizelge 4.4’de yer aldığı gibi dielektrik sabitinin artması durumunda merkez frekansının azaldığını görülmektedir. Bu yolla merkez frekansının değişimi sağlanabilir. Ancak tasarlanan anten laboratuvar ortamında uygulamaya konulabilmesi için anten geometrisinin yapılması istenen malzemenin dielektrik sabitinin kontrol edilebilen bir sistem ile değiştirmek gerekmektedir. Ancak bu pek mümkün olmadığı sadece simülasyon ortamında gerçekleştirilebilmiştir.

4.2. Aktif Eleman Kullanımı

Mikroşerit antenler için 2 portlu ya da 3 portlu aktif elemanlar kullanılır. Bu durumda tasarlanan antenler aktif antenler olarak isimlendirilir. Tasarlanan anten için belirli özelliklere sahip diyotlar tercih edilmiş olup, diyotların konumu ve kapasite-gerilim eğrileri eşdeğer empedans üzerinde farklı etkiler göstermektedir. Anten tasarımı sadece bir adet aktif eleman (pin diyot, varaktor diyor, şok diyot) kullanılabilirdiği gibi birkaç tane de bağlanabilmektedir. Çoklu diyotların etkisi de incelenmiştir. Kullanılan bazı malzemeler ve bunların kapasite gerilim grafikleri şekil 4.22’de yer almaktadır.

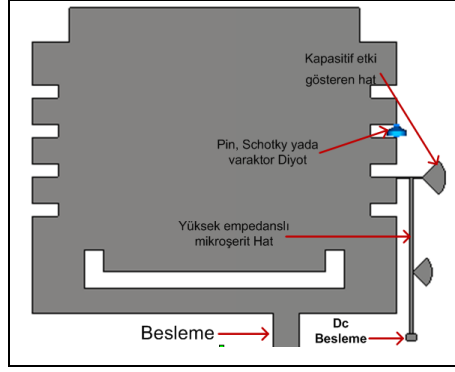


Şekil 4.22. Bazı aktif elemanları kapasite-gerilim eğrisi (a) Bas70 (b) Bas83 (c) Ba592 (d) Bb721

Şekil 4.22’de belirtilen elemanların incelersek Bas70 genel amaçlı kullanılan schottky diyot olup kapasitesi 1.6 pF’tır. Bas83 küçük sinyal schottky barrier diyot’tur ve kapasitesi 1.6 pF’tır. Ba592 silikon Rf anahtarlamalı diyot’tur kapasite değeri 0.92 pF’tır. Bb721 ayarlanabilir diyottur ve kapasite değeri 2.3pF’tır.

4.2.1. Tek aktif eleman kullanımı

Şekil 4.23’de tasarlanan aktif antenin geometrisi yer almaktadır. Anten 3 bloktan oluşmaktadır. Işıma yapan anten bloğu, aktif eleman ve aktif elemanın besleme hattıdır.



Şekil 4.23. Aktif anten

Aktif mikrodalga devre elemanları direkt olarak mikrodalga substrat malzeme üzerine yerleştirilebilir. Bu devrelerin çalışabilmesi için dc besleme gereklidir. Bu besleme mikro şerit hatlar yardımıyla yapılabilir. Ancak, devreden akan mikrodalga sinyallerin bu besleme hatları üzerinde kaybolmaması gerekir. Bu yüzden de besleme hatlarının empedansı çok yüksek seçilir. Aktif devrelerde DC besleme devresinin diğer elemanlarını etkiliyorsa DC besleme hatları mikrodalga sinyal giriş ve çıkışlarından izole edilir. Diğer devre elemanlarını korumak için dc blokaj kondansatörleri kullanılır. Bu kondansatörler mikrodalga sinyalin genliğindeki zayıflamayı önlemek için düşük empedanslı seçilir. Aktif devrelerde dc besleme hatlarında yüksek empedanslı olması demek kullanılan mikroşerit hattın eninin dar olması demektir. Hat ne kadar dar olursa empedans o kadar yüksek olur. Pratik uygulamalarda genelde $w/h < 1$ oranında tasarlanır. Burada w hattın enini, h ise kullanılan malzemenin kalınlığını göstermektedir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi besleme hattının eni w küçük seçildiği zaman yüksek empedans elde edilir.

Şekil 4.23'de yer alan anten için öncelikle tek tip aktif bir eleman kullanılmıştır. 2400 Mhz civarında çalışabilen BA592 tip diyot kullanılmıştır. Bu diyotun gerilim kapasite eğrisi referans alınmış olup aktif elemanın anten üzerindeki birebir etkisini gözlemlemek için öncelikle diyota gerilim uygulanmadan önce ve gerilim uygulandıktan sonra sonuçlar gözlenmiş sonuçlar Çizelge 4.5.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.5. Aktif elemanın etkisine bağlı anten performans sonuçları

Aktif Eleman	Yok	Var
Fc (Mhz)	2460	2456
BW (Mhz)	77	75
S ₁₁ (dB)	-26.39	-32.922
Z _{in} (Ohm)	37.76 -0.88j	48.565 + 1.51j
VSWR	1.1	1.04

Aktif elemanın açık yada kapalı olma durumuna bağlı olarak elde edilen sonuçlar gösteriyor ki aktif eleman açık konumda iken performansı kapalı konuma göre daha başarılı çıkmıştır. Antenin Işıma gücünün artması için sistem üzerine ayrıca pasif bir eleman olan direnç yerleştirmek de antenin performansı üzerinde olumlu bir etki yaratacağı düşünülmüş ve hem direnç değerine hem de konumuna bağlı olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Direnç değişimine bağlı anten performans değişimi

Kullanılan Eleman	Değeri Ohm	Anten Üzerindeki Konumu	Frekans Mhz	S ₁₁ dB	Kazanç dB	Verim dB	Directivty dB
Direnç	0.1	x=19 y=-15	2464	-22.681	0.8244	-4.116	4.940
Direnç	0.5	x=19 y=-15	2464	-22.733	0.8240	-4.112	4.936
Direnç	1	x=19 y=-15	2464	-22.741	0.8232	-4.114	4.937
Direnç	3	x=19 y=-15	2464	-22.777	0.8207	-4.119	4.939

Aktif elemanın farklı gerilimlerde farklı kapasite değerleri almasından ötürü performansının değişeceği kesindir. Bu nedenle konumu aynı kalmak koşuluyla farklı kapasitif değerlerde alacağı değerler Çizelge 4.7.'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Gerilime bağlı anten parametre değişimleri

Değer	Frekans	S11	Kazanç	Verim	Yönlendiricilik
0.1 pF	2456 Mhz	-24.96 dB	1.862 dB	-3.471 dB	5.333 dB
0.6 pF	2456 Mhz	-24.48 dB	1.848 dB	-3.482 dB	5.330 dB
0.7 pF	2456 Mhz	-24.30 dB	1.841 dB	-3.487 dB	5.328 dB
0.8 pF	2456 Mhz	-23.99 dB	1.837 dB	-3.489 dB	5.325 dB
0.9 pF	2456 Mhz	-23.60 dB	1.828 dB	-3.496 dB	5.324 dB
1 pF	2456 Mhz	-23.12 dB	1.803 dB	-3.514 dB	5.318 dB

Çizelge 4.7.'den görüldüğü gibi aktif elaman için gerilime bağlı kapasite değişimi göz önüne alındığında performansının değiştiği görülmektedir. Ayrıca kazanç değişimi çok küçük de olsa var olmaktadır. Fakat en belirgin değişimi geri dönüş kaybında göstermektedir ki antenin eşdeğer devre modeli düşünülürse eklenen aktif eleman empedansın sanal kısmında etki etmekte buna bağlı olarak mutlak değerinde etkili olmaktadır.

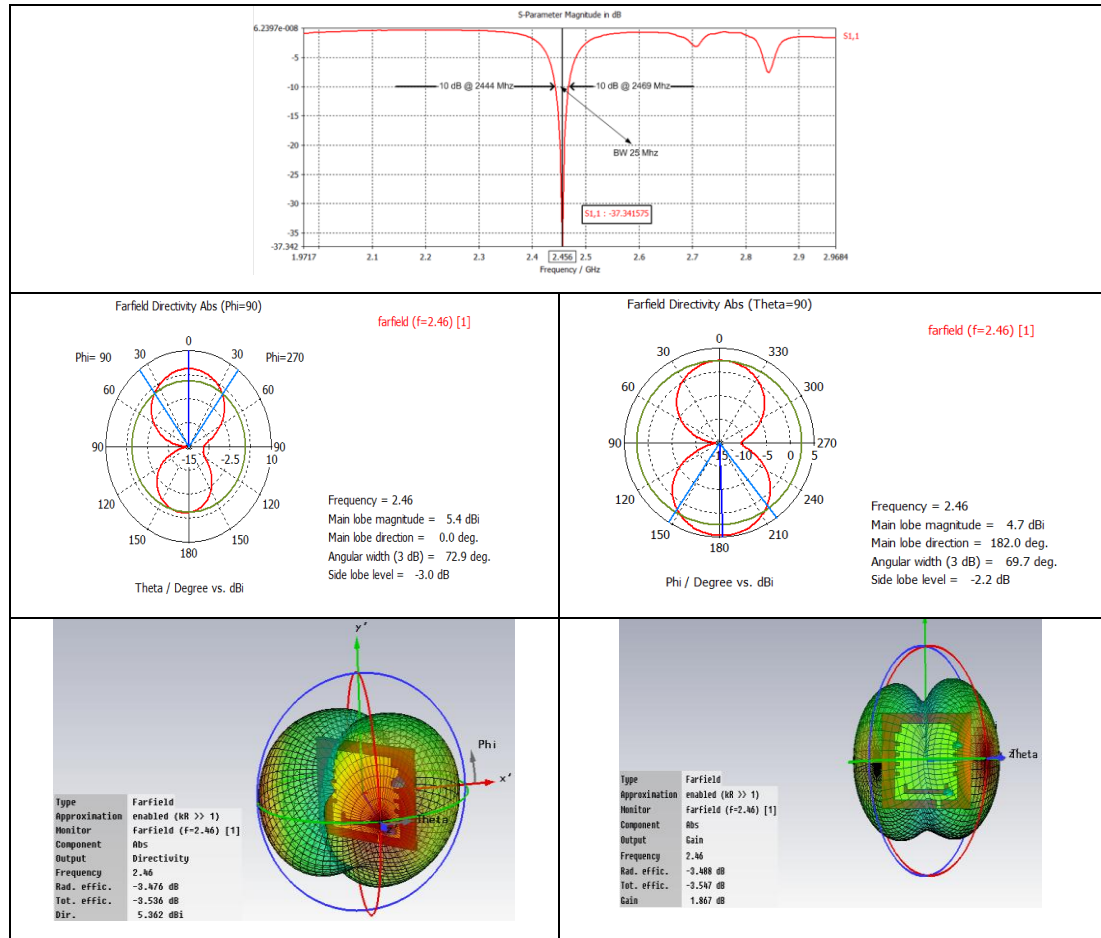
Bir antenin ışınma kapasitesini karakterize eden ışınma örüntüsü (genlikleri ve fazları), polarizasyonu ve kazancı sabit yarıçaplı bir küre yüzeyi üzerinde ölçülür. Küre üzerindeki herhangi bir nokta standart şekildeki standart koordinat sistemi kullanılarak tanımlanır. Yarıçapsal mesafe sabit olmasından dolayı sadece iki açısal koordinat (θ, ϕ) ile pozisyonu belirlemek yeterlidir. Antenin ışınma karakteristiği frekans, sabit yarıçapsal mesafe ve ϕ ve θ 'nin bir fonksiyonu olarak gösterilir ve antenin örüntüsü olarak isimlendirilir.

ϕ , z eksenini sıfır iken x-y düzlemi üzerindeki açıdır.

θ , ise x eksenini sıfır iken y-z düzlemi üzerindeki açıdır.

Genel olarak antenin örüntüsü 3 boyutludur ancak 3 boyutlu ışınma örüntüsü ölçmek pratik olarak imkânsızdır. Bunu yerine 2 boyutlu örüntü ölçümü yapılır. 2 boyutlu örüntü miktarı 3 boyutlu örüntüyü elde etmek için kullanılır. Uygun zaman ve kaynakların ve gerekli fonksiyonel tanımlamaların 3 boyutlu grafiklerde tam olarak elde edilebilmesi için İki boyutlu örüntü sayısı kullanılır. Minimum 2 boyutlu örüntü sayısı 2'dir. Bunlar genellikle dikey prensibal uzak alan düzlemlerini göstermek için seçilirler. 3 boyutlu örüntüler de örüntü kesimi ile ilgilidirler. Yani örüntü kesimi 3 boyutlu örüntülerin belirtilmesinde kullanılırlar. Örüntü kesimleri bir açının sabit kalmak şartıyla diğerinin değişimi ile elde edilir. ϕ_j sabit kaldığında $(0 \leq \phi_j \leq 2\pi)$

θ_i ($0 \leq \theta_i \leq \pi$) değişir (yatay düzlem). θ_i sabit kaldığında ϕ_j değişir (dikey düzlem). Antenin örüntüsü iletim ya da alım modunda ölçülebilir. Fakat eğer anten tersinir ise, birçok pratik antenler tersinir olmasından ötürü, iki modan birisi seçilebilir. Bunu gibi benzer durumlarda ağırlıklı olarak alıcı mod seçilir. Analitik metotlar, genlik örüntüsünü ölçmeye dayandığından ötürü alıcı ya da iletim modunda bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Alıcı modda ölçüm yapılması dış etkenlerinde ölçümlere dahil olmasını sağlamasından ötürü tercih edilir. Şekil 4.24'de aktif antenin θ ve ϕ açılarının değişimine bağlı uzak alan örüntü sonuçları görülmektedir.

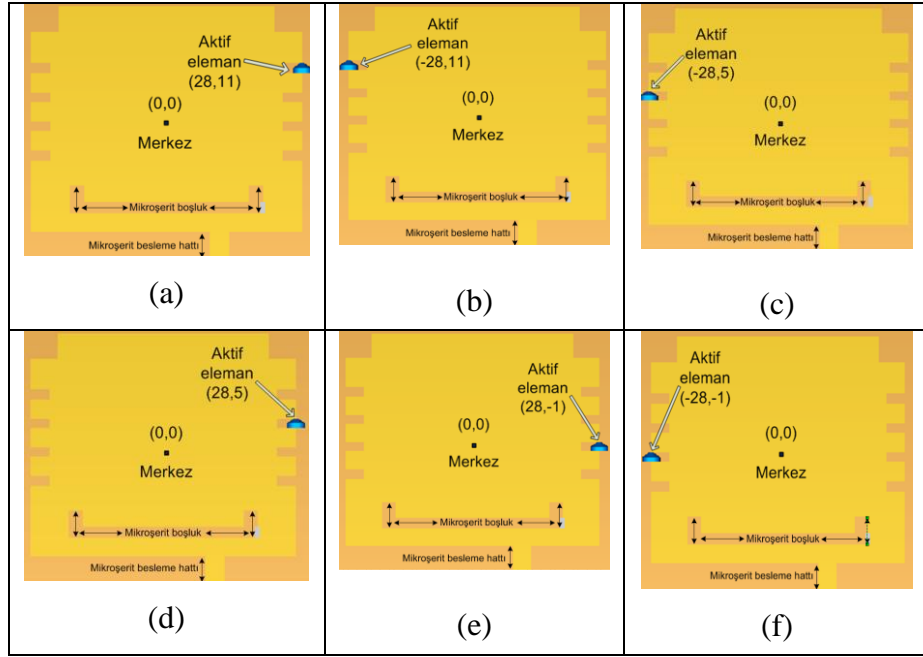


Şekil 4.24. Aktif eleman kullanılan antenin geri dönüş kaybı, uzak alan örüntüsü ve kazanç grafiği

Şekil 4.24.'den görüldüğü üzere $\phi=90^\circ$ iken yönlendiriciliği 5.4 dBi değerini almıştır. $\Theta=90^\circ$ iken ise yönlendiriciliğin 4.7 dBi değerine ulaştığı görülmektedir. Anten $\phi=90^\circ$ iken ana lobu 0° yönünde yaparken $\Theta=90^\circ$ iken ana lobu 180° 'de yapmaktadır. Kazancı ise 1.87 dB değerindedir.

4.2.2. Aktif elemanın konumun etkisi

Tasarımda en önemli ayrıntı aktif elemanın konumudur. Aktif anten üzerine yerleştirilen aktif eleman ışına yapan kenarlar üzerindeki konumu çok etkilidir. Uygulanan ve yapılan birçok test gösteriyor ki aktif eleman antenin orta noktalarına ya da ışınım yapmayan kenara yakın yerlerde ışınım örüntüsü üzerinde olumsuz sonuçlar çıkarmış ve en iyi performansı ışına yapan kenarlara yakın yerlerde göstermiştir.



Şekil 4.25. Aktif elemanın farklı konumlardaki durumu

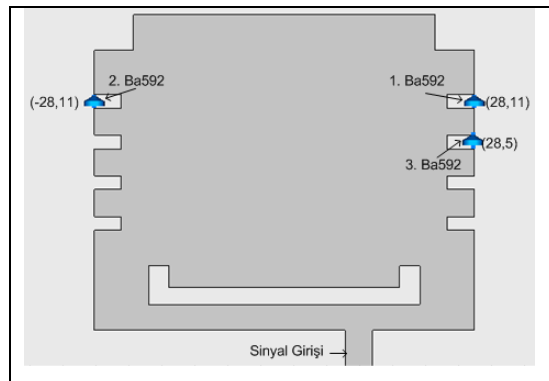
Şekil 4.23'de aktif antenin üzerindeki diyotun konumu yer almaktadır. Kullanılan aktif elemanın birkaç farklı noktada yerleştirilmesi ile farklı geometriler elde edilmiştir. Aktif elemanın farklı konumlardaki durumları şekil 4.25'de gösterilmiştir ve bu durumlara bağlı elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8.'da yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Aktif elemanın konumuna bağlı performans parametreleri

Geometri	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Fc (Mhz)	2456	2456	2456	2456	2456	3228
BW(Mhz)	63	72	81	90	10	49
S ₁₁ (dB)	-32.92	-32.86	-24.22	-30.57	-27.90	-27.49
Z _{in} (Ohm)	40.38 + 1.51j	39.9 + 1.01j	36.98 + 1.83j	39.07 - 0.19j	38.86 - 1.93j	38.42 - 1.48j
VSWR	1.04	1.04	1.13	1.06	1.08	1.08
Kazanç (dB)	1.867	1.843	1.836	1.885	1.886	1.816

Çizelge 4.8.'de aktif elemanın konumu frekans değişimi yaratmamakta ancak önemli performans parametreleri olan geri dönüş kaybı, bant genişliği giriş empedansı, duran dalga oranı ve kazanç üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi aktif eleman bazı konumlarda sonuçları incelenmiş ve simetrik değişiklikler anten performansını etkileyen önemli parametreler üzerinde belirgin bir değişiklik yaratmamıştır. Ancak, konumun ne kadar etkili olduğu tasarımlardan anlaşılabilir. Aktif eleman için birçok farklı konumda da değerlendirme yapılabilir.

4.2.3. Birden fazla aktif eleman kullanımı



Şekil 4.26. Birden fazla aktif eleman kullanımı

Şekil 4.26'da ba592 model diyot mikroşerit anten üzerinde belirtilen konumlara yerleştirilmiştir. Mikroşerit antenler tasarlanırken sadece bir adet aktif eleman kullanmak yerine birden fazla aktif elemanın kullanılması durumunda frekans değişimi yaşanabileceği düşünülmüş ve tek aktif eleman kullanılması durumuna göre performansı artıp artmayacağı gözlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.9.'da yer almaktadır.

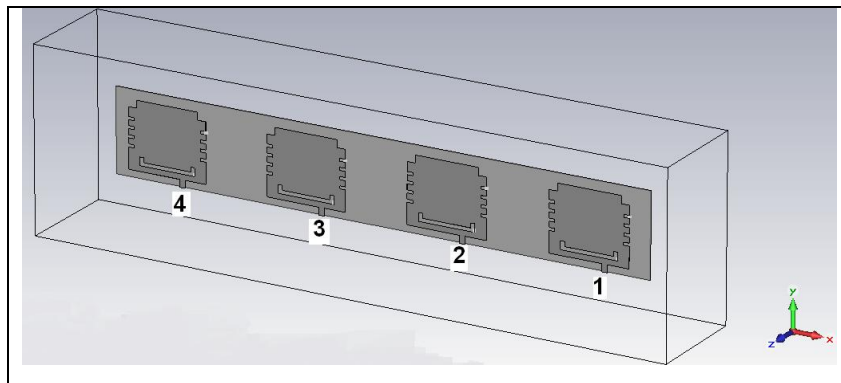
Çizelge 4.9. Aktif eleman sayısına bağlı anten performans parametreleri

Aktif Eleman	1 adet ba592	2 adet ba592	3 adet ba592
Fc (Mhz)	2456	2452	2448
BW (Mhz)	75	75	75 (<10 dB)
S ₁₁ (dB)	-32.922	-30.56	-32.67
Z _{in} (Ohm)	48.565 + 1.51j	39.34 + 1.15j	31.95 + 0.277j
VSWR	1.04	1.04	1.04

Çizelge 4.9'da görüldüğü gibi kullanılan aktif eleman sayısının artması antenin merkez frekansının kaymasına ayrıca giriş empedansının değişmesine neden olmaktadır. Bu gibi sorunlar daima tek aktif elemanın kullanılması gerektiği sonucunu çıkarmaz çünkü aktif elemanın anten üzerindeki konumu çok önemlidir.

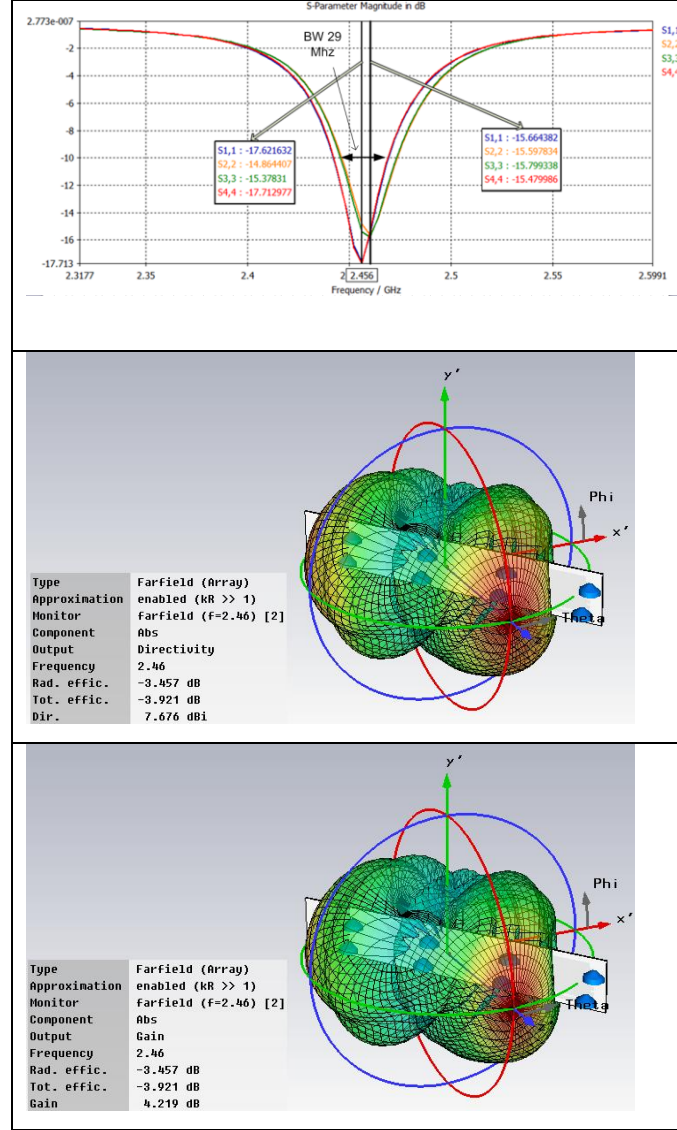
4.2.4. Aktif dizi anten tasarımı

Pasif anten ile yapılan dizinin ardından aktif anten ile dizi anten tasarımı yapılmıştır. Aktif elemanın etkisi dizi anten yapımı ile etkisi de bu yolla kontrol edilmiştir. Şekil 4.27'de aktif elemanlardan oluşan dizi anten yer almaktadır. Toplamda 4 adet anten yatay düzlemde yer almaktadır.



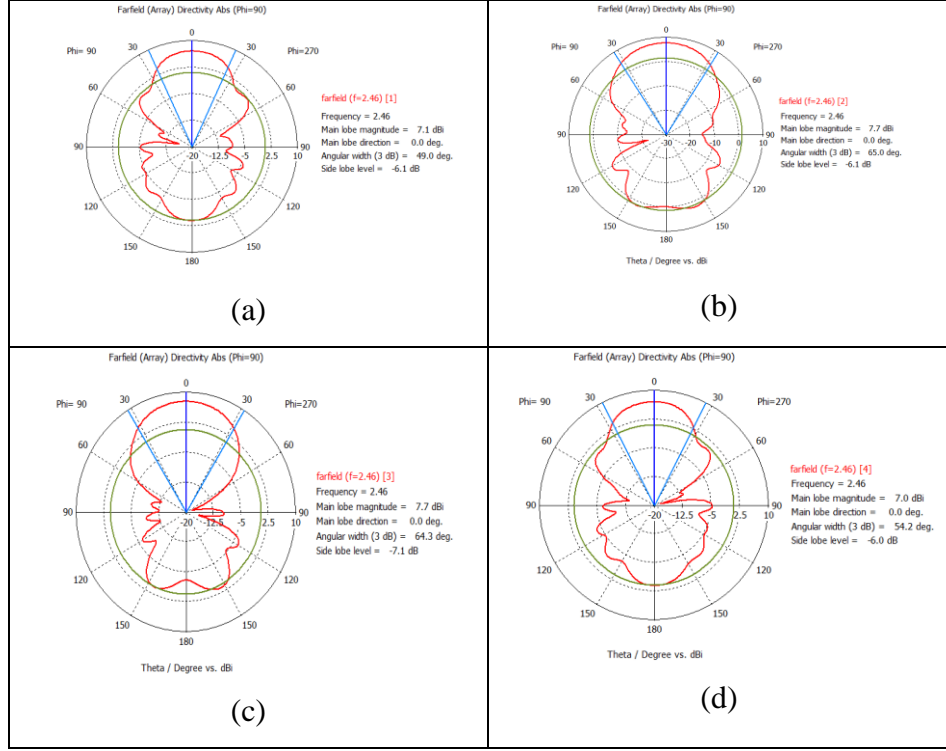
Şekil 4.27. Aktif dizi anten tasarımı

Aktif antenlerden oluşan dizide antenlerin numaraları sağdan başlayacak şekilde birden dört'e kadardır. Şekil 4.28'de dizi antenin simülasyon sonuçları yer almaktadır.



Şekil 4.28. Dizi anten simülasyon sonuçları

Şekil 4.28'den görüldüğü gibi aktif dizi anten 2.46 Ghz'de rezonansa gelmiştir. Bu frekans bölgesinde -15 ile -17 dB arasında geri dönüş kaybı değişimi görülmüştür. Frekans değişimi kullanılan diyot üzerindeki kapasitif değer değişmediği için frekans kayması gözlenmemiştir. Kazancı ve yönlendiriciliği dizi kullanılmayan haline göre daha başarılı olmuştur.



Şekil 4.29. Aktif dizi anten uzak alan örüntü polar sonuçları

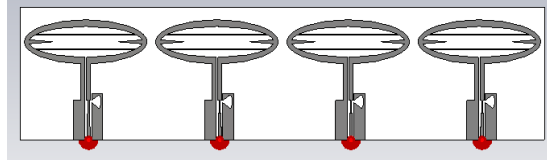
Aktif dizi anten Şekil 4.29’da görüldüğü gibi dört farklı portu için uzak alan ışınım sonuçları incelenmiş ve ana lob sonuçları sırasıyla 7.1, 7.7, 7.7 ve 7.0 dB olarak görülmüş ve ana yön açısı 0^0 ’dir. Bunun yanı sıra ana loba bağlı yarı güç ışınım genliği arasındaki bant genişliği sırasıyla 49^0 , 65^0 , 64^0 ve 54^0 olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.10’da detaylı sonuçlar tablo halinde gösterilmektedir.

Çizelge 4.10. Aktif dizi anten sonuçları

Sıra no	Frekans (Ghz)	S11 (dB)	Yönlendiricilik (dBi)	Bant genişliği (Mhz) (s11<10 dB)	Kazanç (dB)
1	2.456	-17.62	7.056	30	3.413
2	2.46	-15.60	7.676	29	4.219
3	2.46	-15.80	7.750	28	4.288
4	2.456	-17.71	6.015	27	3.549

Çizelge 4.10. incelendiğinde frekansın değişimi görülmektedir. Ayrıca her bir port için bant genişliğinin değiştiği bunun yanı sıra kazancın tek aktif anten kullanılması halindeki duruma göre kazancının ve yönlendiriciliğinin daha iyimser olduğu görülmektedir.

Pasif dizi anten ile (Çizelge 4.3.) karşılaştırıldığında geri dönüş kaybı ve kazancın pek fazla değişmemesine rağmen yönlendiriciliğin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Belen 2011 yılındaki tezinde yaptığı dizi anten şekil 4.30’da verilmiştir.

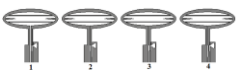
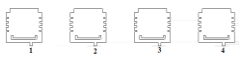


Şekil 4.30. Mikroşerit dizi anten (Belen, 2011)

Şekil 4.7’de yer alan tek elemanı tasarlanan dipol anten geometrisine x ekseninde üç eleman daha ekleyerek dört elemanlı dipol dizi tasarlanmıştır (Belen, 2011).

Tasarlanan aktif dizi anten şekil 4.30’da tasarlanan dizi anten ile karşılaştırılmış ve çizelge 4.11’deki sonuç elde edilmiştir.

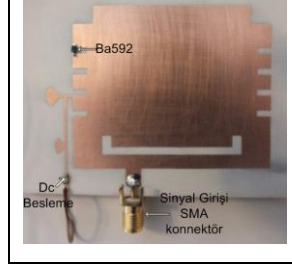
Çizelge 4.11. Dizi anten karşılaştırma sonuçları

Anten	Sıra no	Frekans (Ghz)	S11 (dB)	Yönlendiricilik (dBi)	Bant genişliği (Mhz)	Kazanç (dB)
	1	2.392	-13.28	4.849	45	-6.649
	2	2.394	-13.49	6.482	43	-4.603
	3	2.395	-13.52	6.709	41	-4.418
	4	2.394	-13.28	5.494	42	-6.947
	1	2.456	-17.62	7.056	31	3.413
	2	2.46	-15.51	7.676	39	4.219
	3	2.46	-15.69	7.750	28	4.288
	4	2.456	-17.71	7.015	26	3.549

Çizelge 4.11.’den görüldüğü gibi aktif eleman ile tasarlanan dizi anten literatürdeki anten ile karşılaştırıldığında geri dönüş kaybı açısından ortalama 2-4 dB arası daha başarılı olmuştur. Ayrıca yönlendiriciliği incelendiğinde 1-2 dB arası daha pozitif değerler aldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra tasarlanan dizi anten literatürde yer alan antene göre kazanç açısından 10 dB civarında kazanç farkı yaratmıştır.

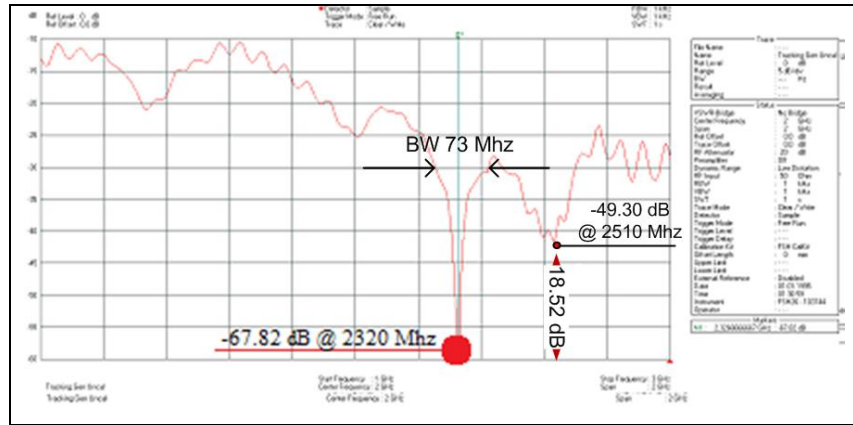
4.3. Aktif Anten Laboratuvar Sonuçları

Aktif Antenin laboratuvar koşullarında merkez frekansının değişiminin analizi edebilecek en uygun yöntem dc besleme gerilimine bağlı geri dönüş kaybının incelenmesidir. Tasarlanan Aktif anten Şekil 4.31’de yer almaktadır.



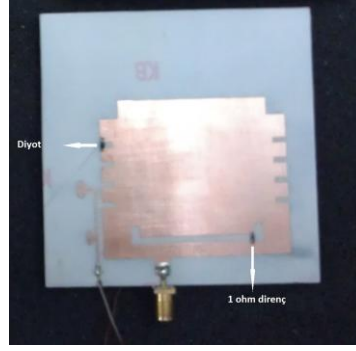
Şekil 4.31. Aktif anten pcb

Spektrum analizöre bağlanan aktif anten önce dc besleme uygulamadan incelenmiş elde edilen sonuç Şekil 4.32’de yer almaktadır.



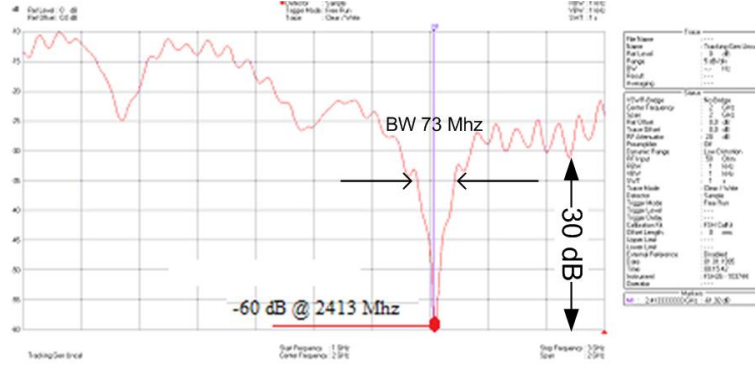
Şekil 4.32. Aktif elemanın S11 sonucu

Şekil 4.32 incelendiğinde 2.32 Ghz frekansında -67.82 dB geri dönüş kaybı gözlenmiştir. Pasif antene göre değerlendirme yapılırsa (şekil 4.16.) hem frekans kayması yaşanmış hem de geri dönüş kaybının daha iyi bir değer aldığı görülmüştür. Aktif elemanın bulunduğu mikroşerit anten üzerine akım dağılımı olabilmesi için 1 ohm'luk bir direnç ilave edilmiştir. Şekil 4.33’de antenin görünümü yer almaktadır.



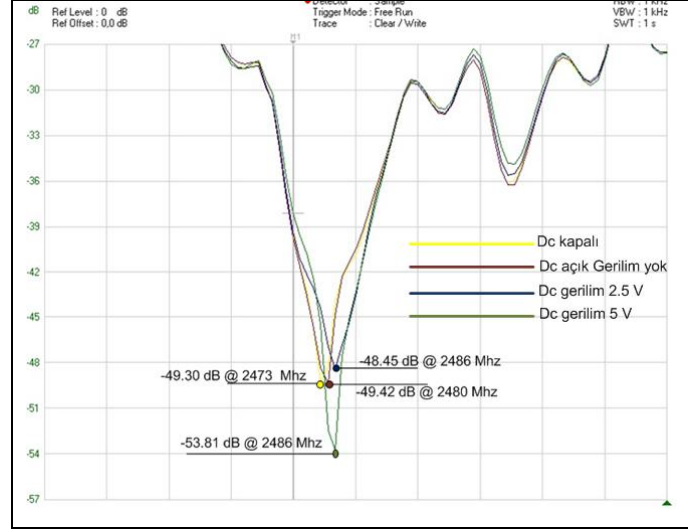
Şekil 4.33. 1 ohm'luk direnç eklenmesi halinde aktif antenin görüntüsü

Şekil 4.33'deki anten üzerindeki direnç için ölçüm yapılmış ve S_{11} değişimi gözlenmiştir. Şekil 4.34'de 1 ohmluk direnç bağlanması durumunda elde edilen spektrum analizör çıkış görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.34. 1 ohm'luk direnç bağlanması durumu

Şekil 4.34'de görüldüğü gibi 2.413 GHz'de -60 dB seviyesinde S_{11} elde edilmiştir. Bunu yanı sıra bant genişliği 73 Mhz ve rezonansa gelinen en yakın frekans ile 30 dB fark yaratmıştır.



Şekil 4.35. Dc gerilime bağlı geri dönüş kaybı

Şekil 4.35’de ise dc gerilimin değişimine bağlı antenin rezonansa geldiğini görülmektedir. Merkez frekansı açısından simülasyon sonuçları ile uygulama sonuçlarının tutmaması simülasyon programının bazı parametreleri ihmal etmesinden ayrıca baskı devre teknolojisinin 0.25 mm duyarlılığı kaldırabilecek kadar gelişmiş olmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak tüm bunlara rağmen gerilimin değişimine bağlı aktif elemanın kapasitif değerinin değiştiği buna bağlı olarak antenin rezonansa geldiği frekansın kaydığı görülmüştür. Daha sonraki tasarımlarda aktif elemanın anten ile dc blok arasına yerleştirilmesi daha uygun görülmüş ve gerilimin değişimine bağlı olarak frekans değişimi incelenmiştir. Tasarımda diyot genellikle ters polarite gerilimine maruz bırakılıp bu yolla antenin giriş portunun da gerilimden etkilenerek spektrum analizör üzerinde olumsuz etkiler doğurmasının da önüne geçilmiştir.

Gerilim değişiminin S_{11} üzerinde değişiklik yaratması beklenildi. Çünkü değişen gerilim ba592 model diyot üzerindeki kapasiteyi değiştirecek yapılan bu işlem de eşdeğer empedansı değiştirecektir. Gerilim uygulanmayan halde ölçülen S_{11} değeri -49.30 dB olarak ölçülmüş ve frekansı 2473 Mhz görülmüştür. Gerilim kaynağı aktif edilmiş ancak gerilim verilmemiştir. Bu durumda frekans değişmiş ve S_{11} üzerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Frekans 2480 Mhz s_{11} ise -49.42 dB olmuştur. Dc gerilim yavaş yavaş arttırılmış ve 2.5 V’a erişildiğinde frekansın değiştiği gözlenmiştir. Burada da S_{11} -48.45 dB frekans 2486 Mhz ölçülmüştür. Gerilim değeri yükseltilmeye devam edilmiş ve 5 V’a geldiğinde frekansın değişmediği ancak S_{11} ’in

değiştii gözlenmiştir. Bu gerilim değerinde -53.81 dB değer görülmüştür. Gerilim değerinin bu aşamadan sonra artırılması frekansın değişmemesine ayrıca S_{11} 'in gerilim ilerledikçe düşmesine neden olmuştur. Kullanılan aktif eleman'ın c-v eğrisi göz önüne getirilirse 10v'dan sonra kapasitesinin anten üzerindeki eşdeğer empedansı üzerinde etki edebilecek bir ölçüde değişmeyeceği için ölçüm sonuçları pek değişmemiştir.

Antenin ışma karakteristiğini belirleyen en önemli parametre kazancıdır. Kazanç ölçümleri için değişik teknikler vardır. Bütün seçimler genel olarak çalışma frekansına bağlıdır. Genellikle serbest uzayda kazan ölçümleri 1 Ghz üzerinde yapılır. Ek olarak dalga kılavuzlu elemanların kullanıldığı mikrodalga teknikleri de kullanılabilir. Düşük frekanslarda dalga boyunun yüksek olmasından ötürü serbest uzay şartlarında simüle etmek zordur. Bu nedenle 0.1-1 Ghz arasında yer yansıma alanları kullanılır. Skala modeli bu frekans bölgesinde de kullanılabilir. Fakat iletkenlik ve kayıp faktörünü skala etmek uygun değildir, full skala modeli anten kazancını tanımlamada diğer bir metot olarak bulunabilir. Bu metot yönlendiricilik ve verimin çarpılması sonucu kazancın elde edilmesi prensibine dayanır. Anten kazançları 1 Mhz in altında genellikle ölçülemez. Bunun yerine antenden yayılan dalganın yer yüzeyindeki elektrik alan büyüklüğü ölçümlendirilir. Genellikle 2 temel metot elektromanyetik ışma yapan antenin kazancını ölçmede kullanılır bunlar sırasıyla mutlak kazanç ve kazanç transfer ölçümleridir. Laboratuar çalışması sırasında mutlak kazanç ölçümünün bir alt birimi olan iki anten yöntemi ve uygulanmıştır.

İki anten yönteminde antenler R mesafede birbirinden ayrılırlar ve R uzak alan kıstası sağlamalıdır. Maksimum yönlü ışmayı elde etmek için polarizasyon uyumu sağlanır. Bu durumda formül;

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (4.6)$$

halini alır.

$(G_{ot})_{dB}$ = iletilen antenin kazancıdır.

$(G_{or})_{dB}$ = alıcı antenin kazancıdır.

P_r = alınan güç (W)

P_t = iletilen güç (W)

R= antenler arasındaki mesafe (m)

λ = çalışma dalga boyudur. (m)

Eğer antenler özdeş ise ($(G_{ot})_{dB} = (G_{or})_{dB}$) dir. Formül

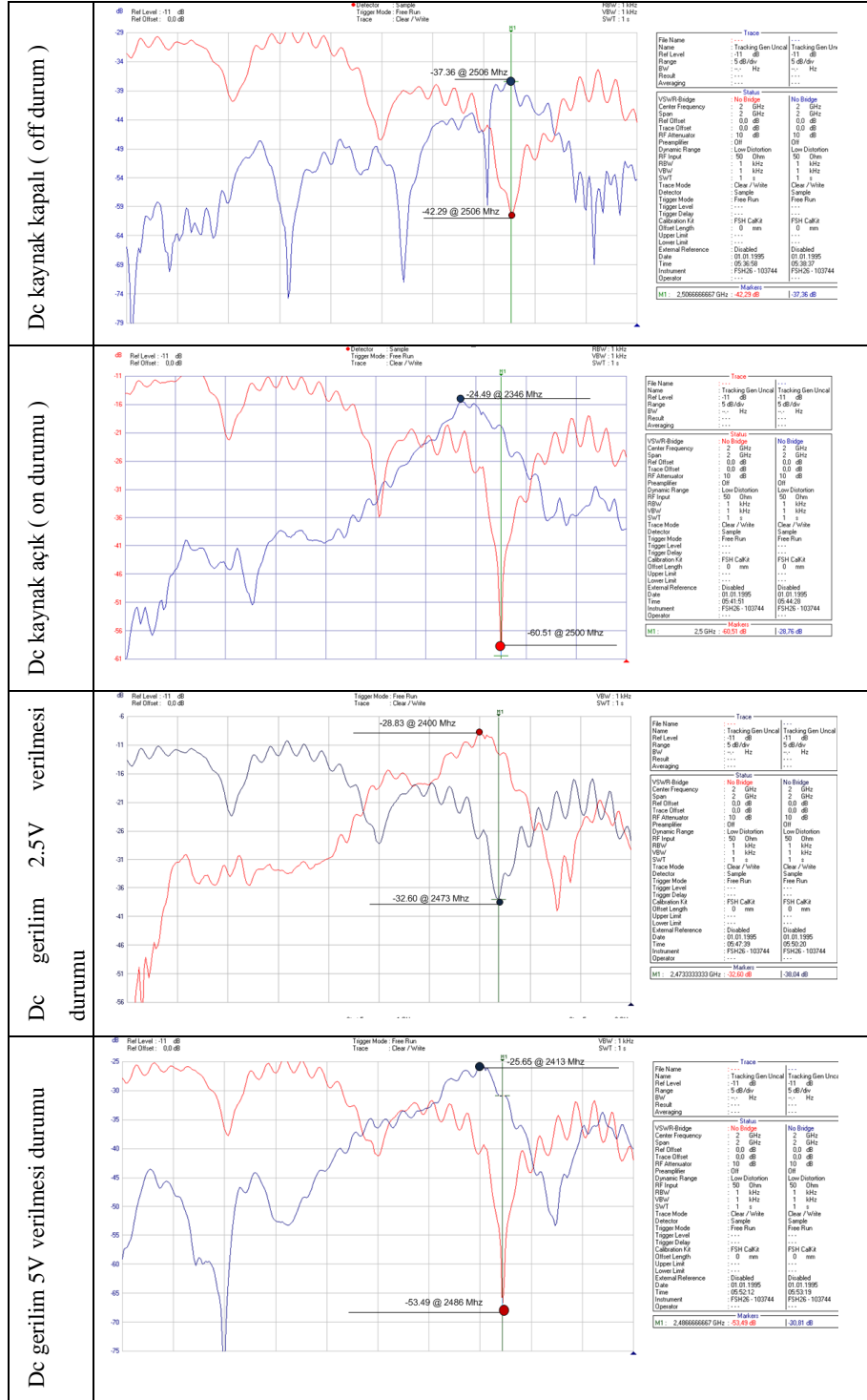
$$(G_{or})_{dB} = (G_{ot})_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 5 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (4.7)$$

haline gelir.

λ, R ve $\frac{P_r}{P_t}$ oranının ölçümünün hesaplanması ile antenin kazancı bulunabilir.

Sistem oldukça basittir. Geniş bant antenler gibi sürekli çok frekanslı ölçümlerde frekans tarama cihazlarından yararlanılabilir.

Aktif antenin kazancını ölçmek için referans anten ile birlikte ölçümler yapılmıştır. Dc besleme gerilimleri değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar şekil 4.36'da yer almaktadır.



Şekil 4.36. Aktif eleman üzerindeki S21 ölçümleri

Şekil 4.36’da görüldüğü gibi aktif elemanın ışına üzerinde etkisi çok fazla olmamaktadır. Çünkü mikroşerit yapı üzerindeki geometride bir değişiklik olmadığı için S_{21} üzerinde değişiklik beklenmemiştir. Gerilim verilmeyen pin diyot için kapalı durumda 2.5 Ghz’de rezonansa geldiği görülmüştür, dc besleme verilmeden sıfır volt

durumda geri dönüş kaybının değiştiği gözlenmiş ancak S_{21} üzerinde önemli bir değişiklik ya da sapma yaşanmıştır. Frekans kaybı 2.34 Ghz seviyesine ulaşmıştır. Gerilim uygulamaya başlandıkça geri dönüş kaybının yaşandığı frekans 2.47 Ghz civarında iken, S_{21} 2.41 Ghz seviyelerinde değişimler göstermiştir. Bu durum bize antenin 0^0 üzerinde ışınım yapmadığını da göstermiştir. Ancak aktif elemanın etkisi S_{21} üzerinde 10 dB mertebesinde olumlu etki yarattığı açıkça görülmüştür.

Faz ölçümleri analitik formüller üzerine kurulur. Elektrik alanın faz örüntüsü, birim vektör yönüne bağlı olarak,

$$\vec{E}_u = \vec{u} \cdot E(\phi, \theta) \cdot e^{j\psi(\phi, \theta)} \cdot \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (4.8)$$

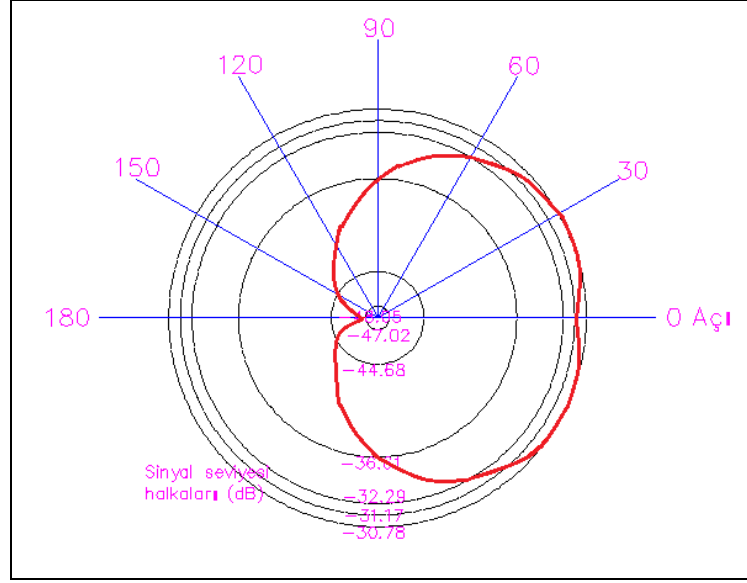
Formülündeki $\psi(\phi, \theta)$ ile gösterilir.

ϕ, θ sırasıyla x-y eksenindeki ve x-z eksenindeki açıları göstermektedir.

lineer polarizasyon için \vec{u} gerçeldir. Birim vektör bu durumda \vec{a}_ϕ yada \vec{a}_θ ile gösterilir. Antenin fazı periyodiktir ve fazının 360^0 ile çarpılması ile tanımlanır. Ek olarak, faz bağımlı bir değerdedir ve referans değeri ölçümler boyunca sağlanır.

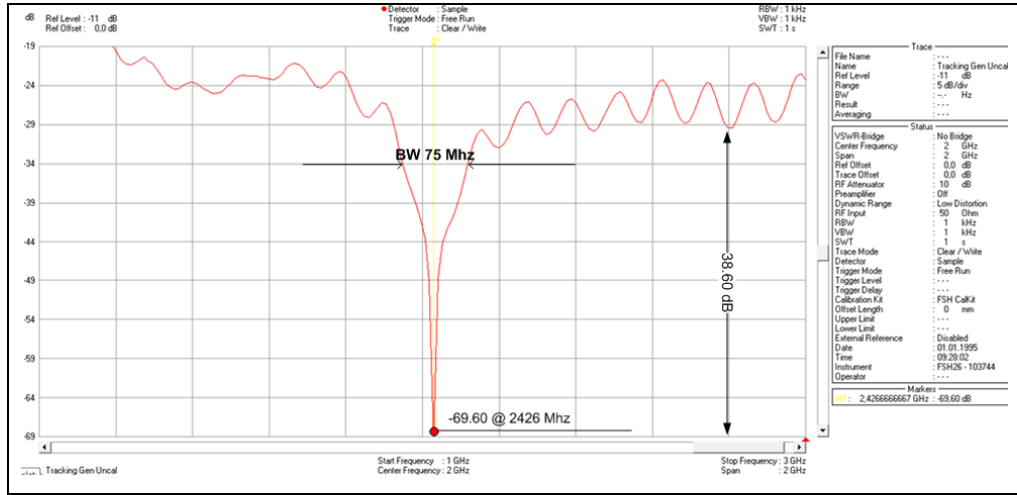
Uzak ve yakın alan bölgelerindeki faz örüntüsünün ölçümü için 2 temel sistem tekniği vardır. Yakın alan için ölçümlerde, referans sinyal iletim hattından test altındaki anten ile birleştirilir. Bu şekilde antenden gelen sinyalin faz örüntüsü ile referans sinyali karşılaştırılmış olur. Uzak alan bölgesinde ise, referans sinyali ile test sinyali direkt olarak karışmasına izin verilmez. Bu durumda sabit bir antenden gelen sinyaller kaynak anteni tarafından alınır. Ve fazı ölçülür. Aynı şekilde test altındaki antende sinyalleri alır, sabit anten referans olarak çalışır, ancak test altındaki anten dairesel olarak döner bu yolla farklı açılardaki faz örüntüsü ölçülmüş olur.

Aktif antenin ışınım örüntüsünü çıkarabilmek için sırasıyla $0^0, 30^0, 60^0, 90^0, 120^0, 150^0, 180^0$ lik açılar ile örüntüleri alınıp işlenmiş ve ışınım örüntüsü elde edilmiştir. Şekil 2.37'de örüntünün çizimsel sonucu yer almaktadır.



Şekil 4.37. Aktif anten ışınma örüntü ölçüm sonucu

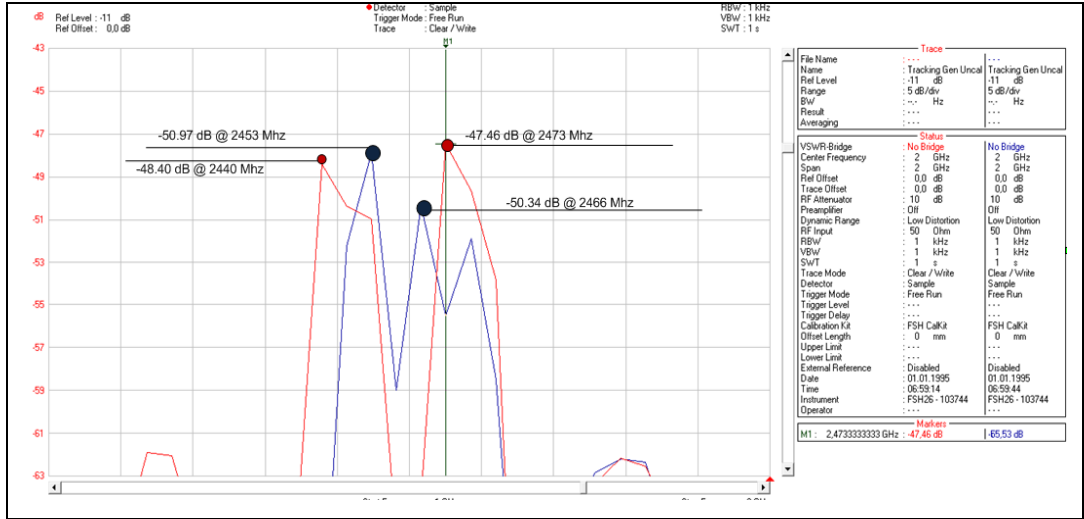
Simülasyon sonuçları ile kıyaslandığında ışınma örüntüsünün 30^0 civarlarında ışınmayı en yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. Mikroşerit anten üzerine diyot'un yanı sıra 1 adet 1pF kapasitör eklenmiş ve S_{11} değişimi gözlenmiştir.



Şekil 4.38. 1 pF kapasite eklenme durumu

1 pF eklenmesi halinde sistemin merkez frekansı 2.426 Ghz ve S_{11} -69.60 dB olarak ölçülmüştür (Şekil 4.38.). Kapasite eklenmesi merkez frekansın değişmesine neden olmuş ancak gerilim verilmesi halinde kullanılan ba592 diyot eklenen kapasite eşdeğer kapasite değişimine büyük ölçüde etki yaratamayacağı için frekans üzerinde kayma meydana gelmemiştir. Çünkü birbirine paralel bağlı iki kapasitenin eşdeğeri

kapasite değerlerinin aritmetik ortalaması değildir. Anten Laboratuvarımızda bulunan 2.4 Ghz test transmetter’i kullanarak referans anten ile aktif anten karşılaştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar şekil 4.39’da yer almaktadır. Elde edilen sonuçlarda referans anten ile ilk ölçüm yapılmış ve 2.453 Ghz’de -47.86 dB değer ölçülmüş, aktif anten ile en uygun gerilim seviyesinde (5V dc) 2.473 Ghz’de -47.46 dB seviye ölçülmüştür.



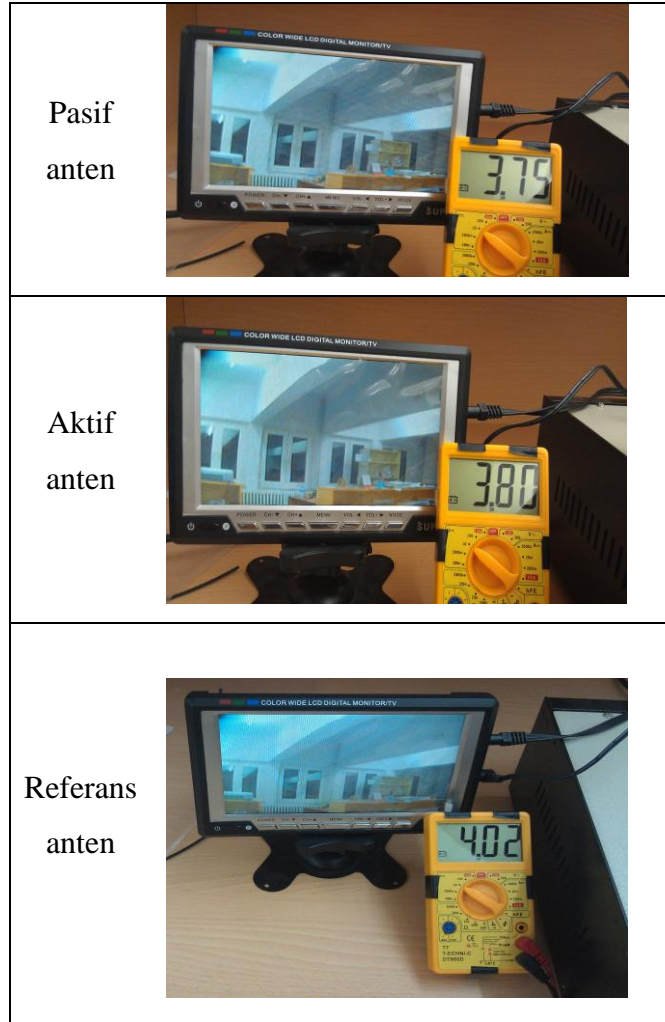
Şekil 4.39. Test verici S21 sonucu

Aktif antenin bir alıcı-verici sistem üzerinde test edilerek performansını analiz etmek amacıyla FPV542 model görüntü ve ses vericisiyle ilk önce standart monopole anten ile daha sonra da tasarlanan pasif ve aktif anten ile modülümüzün ölçümler alınmış üç farklı ölçümde görüntü kalitesinin farklı olduğu görülmüş ve anten standart monopol antene karşı göstermiş olduğu performans vurgulanmıştır. Test ortamı Şekil 4.40’da yer almaktadır.



Şekil 4.40. FPV542 model görüntü ve ses vericisi

Test ortamında temel olarak 4 adet anten, 1 adet kamera, 1 adet verici, 1 adet alıcı, 1 adet alıcı-verici ve 1 adet monitör bulunmaktadır. Verici kamera üzerinden aldığı görüntüyü işleyerek 5.76 Ghz ile Mikroşerit anteni üzerinden alıcı-vericiye iletmektedir. Alıcı-verici ise gelen 5.76 Ghz sinyali işleyerek 2.4 Ghz mertebesine indirgeyerek Mikroşerit anteni üzerinden monitör'e bağlı olan alıcının antenine sinyal göndermektedir. Sinyali alan anten bağlı olduğu alıcıya veriyi göndermekte alıcı sinyali işleyerek monitöre iletmektedir. Görüntünün kalitesini alıcının RSSI çıkışından da görebiliriz. Görüntü için RSSI'ye gelen seviyeyi multimetre ile ölçtüğümüzde gelen dc seviye ne kadar güçlü ise görüntü kalitesi o kadar başarılı olur.



Şekil 4.41. FPV542 model görüntü sistemi test sonucu

Şekil 4.41'den elde edilen sonuçlar ışığında yapılan aktif ve pasif anten ışına olarak aşağı yukarı aynı performansı göstermiştir. Referans antenin sonucu yapılan

antenlere göre daha başarılıdır. Tasarlanan antenlerin geometrik yapısı değiştirilerek performansı artırılabilir.

Çizelge 4.12. Anten sonuçları

	Frekans (Mhz)	RL (dB)	BW(Mhz) (<10 dB)	Kazanç (dB)
Pasif Sim.	2460	-31.39	25	1.246
Aktif Sim.	2456	-37.34	25	1.87
Pasif dizi Sim.	2460	-16.7	28	3.467
Aktif dizi Sim.	2456	-17.71	29	4.219
Pasif Lab.	2410	-30.75	50	5.597
Aktif Lab.	2486	-47.82	73	5.671

Tasarlanan tüm antenler için en önemli parametre sonuçları çizelge 4.12'deki gibidir. Simülasyon sonuçları ile laboratuvar sonuçları incelendiğinde frekansın 2.4 Ghz bölgesinde çalıştığı görülmektedir. Geri dönüş kayıpları aktif ve pasif antenlerin simülasyon ve laboratuvar sonuçları karşılaştırıldığında birbirlerine çok yakındır. Laboratuvarda pasif ve aktif antenin kazancı ile ilgili testler FPV542 model görüntü ve ses vericisinin RSSI çıkına bağlı olarak yapılmıştır. Referans antenin veri sayfasındaki kazanç değeri 6 dB verilmiştir (EK-3). RSSI değeri ölçüm sonuçlarında (şekil 4.41) 4.02 V değerinde 6 dB'ye tekabül ettiği düşünülürse pasif ve aktif anten için elde edilen sonuçlardan dB değerlerine dönüştürülüp çizelge 4.12'ye işlenmiştir. Sonuç olarak tasarlanan antenler hem frekans açısından değişim göstermiş hem de kazanç ve geri dönüş kaybı açısından daha performanslı sonuçlar vermiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada kablosuz haberleşme sistemleri için aktif eleman kullanarak 2.4GHz kablosuz haberleşme standartlarıyla (IEEE802.11b, IEEE802.15.4) uyumlu endüstriyel, ticari ve son kullanıcılar için 2.4GHz ISM bandlarında veri, ses ve görüntü iletimi için RF alıcı-verici modülleri çıkış uçlarına yerleştirilebilen antenler tasarlanmıştır. Bu tez kapsamında Beykent üniversitesi, Journal Science and Technology dergisinde bir tane makale yayınlanmıştır.

Tezin teklif aşamasında tasarlanacak olan mikroşerit yama antenin aktif bir eleman kullanılarak merkez frekansının değişimi üzerinde odaklanılmış ayrıca aktif eleman içermeyen mikroşerit yama antenin de performansının değişiminin olabileceği düşünülerek karşılaştırma yapılmıştır. Bunun yanı sıra dizi anten tasarımı yapılarak performansının arttığı görülmüş, aktif dizi uygulamasının kazanç ve yönlendiricilik üzerindeki değişimi kontrol edilmiştir.

Antenler günümüzde sıklıkla kullanılan kablosuz haberleşme sistemleri üzerine entegre edilmiş ve tel antenler ile karşılaştırılmış ve daha başarılı sonuçlar elde edebileceği görülmüştür.

Diyotun konumu anten ile rezonansa gelme açısından çok önemli olduğu ve ışıma yapan kenarlar yerine saçak bölge yakınına konması durumunda performansı daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada 2.4 Ghz bölgesinde çalışacak olan aktif anten için kullanılacak olan diyotun C-V eğrisinde maksimum kapasite aralığı 0-5 pF arasında olmalıdır. Aksi halde uygulanması gereken dc besleme gerilimi artmakta ve diyotun ısınarak ışıma üzerinde negatif etkiler yapmasına sebep olabilmektedir. Diyotlar antenin var olan polarizasyonunu da değişikliğe uğratmamıştır. Her geometri için pasif antenler 2.4 Ghz civarında rezonansa gelmiştir. Pasif anten üzerine eklenen diyot antenin önemli olan geri dönüş kaybı, giriş empedansı, Kazanç, duran dalga oranı gibi parametreleri olumlu yönde değiştirmiştir. Ancak Diyotun sistem üzerindeki ısınma etkisi ve buna bağlı olarak ışıma üzerinde yaratacağı negatif etkilerin belirlenememesi bir eksiklik olarak değerlendirilebilir.

Yerel alan ağ uygulamalarında da kullanılan antenler profesyonel baskı devre teknikleri kullanılmadan yapılmasından ötürü baskı devre hataları performanslarını

da etkilemiştir.

Öneriler

Anten tasarımında kullanılan malzeme FR4'tür. Bu malzeme farklı frekans bölgelerinde stabil davranmaması nedeniyle simülasyon sonuçları ile laboratuvar sonuçları birebir olmamıştır. Ayrıca simülasyon programında kullanılan teknikler bazı değerleri ihmal ettiği için birebir aynı sonuçlar elde edilememiştir. Daha sonraki uygulamalar için değeri net bilinen ve belirli bir frekansta stabil olan malzemeler kullanılmak şartıyla profesyonel yöntemler ile tasarım yapılması durumunda daha olumlu sonuçlar elde edilebilir.

Tasarlanan aktif antenler üzerinde frekans değişimini sağlamanın en kolay yolu aktif eleman üzerine gelen dc gerilimi değiştirmek olacaktır. Bu nedenle anten üzerinde dc geriliminin basamak basamak değişimini sağlayacak elektronik bir devre uygulamak sistemi daha kullanılabilir bir hale getirecektir.

Tasarlanan antenler alıcı-verici sistemler için optimum uyumlandırma ile çalışmasından ötürü kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılabilirler.

6. KAYNAKLAR

- Balanis, A. Constantine., 2005. Antenna Theory analysis and design third edition. John Wiley & Sons, Inc, 1073p . Canada
- Balanis, A. Constantine., 2008. Modern Antenna Handbook. John Wiley & Sons, Inc, 1073p . Canada
- Bodur, Aydın. 2010. Anten Tasarımı. Emo Yayın evi, 340s. Ankara
- Cotter, W. Sayre. 2008. Complete Wireless Design Second Edition. McGraw-Hill
- Dong-Hyuk Choi and Seong-Ook Park, 2005, Active Integrated Oscillator Antenna Using Microstrip-T Coupled Patch Antenna, proceedings of ISAP, vol.1 , nO.2,
- Gupta, K.C., Hall Peter S., 2000. Analysis and Design of Integrated Circuit-Antenna Modules. John Wiley & Sons, Inc, 424p . New York
- Hadi Sadoghi Yazdi¹, Mehri Sadoghi Yazdi², and Abedin Vahedian³, 2009, A New Regressor for Bandwidth Calculation of a Rectangular Microstrip Antenna. International journal of microwave and optical technology IJMOD, vol.4 , nO.6,
- Jenshan Lin, Student Member, IEEE, and Tasuo Utoh, Fellow, 1994, IEEE, Active Integrated Antennas IEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol.42 , nO. 12,
- Kai Chang, Fellow, IEEE, Robert A. York. ,Senior Member, and Tasuo Utoh, Fellow, 2002, IEEE, Active Integrated Antennas IEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol.50 , nO. 3,
- Kumar, Girish., Ray K.P., 2003. Broadband Microstrip Antennas. Artech House, 432s. London
- Lin, S.Y., Chuang, H.R., Horng, T.S., 1999a. 2.4 GHz LNA/PA/circularly polarized active microstrip antennas. Microwave Journal, 42, 22-24.
- Maci, S., Gentili, B., 2007. Dual-frequency patch antenna. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 39, 6.
- M. S. Nishamol, V. P. Sarin, D. Tony, C. K. Aanandan, P. Mohanan, K. Vasudevan, Design of Frequency and Polarization Tunable Microstrip Antenna Cochin University of Science and Technology, vol.22 , nO. 1,
- Öztürk, E., 2004. WLAN Kablosuz Yerel Alan Ağları (Wireless Local Area Networks) Teknolojisinin Gncelenmesi, Mevcut Düzenlemelerin

Değerlendirilmesi ve Ülkemize Yönelik Düzenleme Önerisi.
Telekomünikasyon Kurumu, Uzmanlık Tezi, 144s, Ankara.

Ramesh Garg, Prakish Bharti, Microstrip Antenna Design Handbook, 2000.

Tatsuo, Itoh., George, Haddad., James, Harver., 2001. RF Technologies for Low Power Communications. John Wiley & Sons, Inc

Yazd, M. H. and Faraji-Dana, 2005, Novel Smart Antenna Array for IEEE 802.11a Wireless LAN Applications. IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium. IEEE. 295 – 298.

Y. J. Sung, T. U. Jang, and Y. -S. Kim, 2004, IEEE, Reconfigurable Microstrip Antenna for Switchable Polarization. IEEE microwave and wireless components letters, vol.14 , nO.11,

EKLER

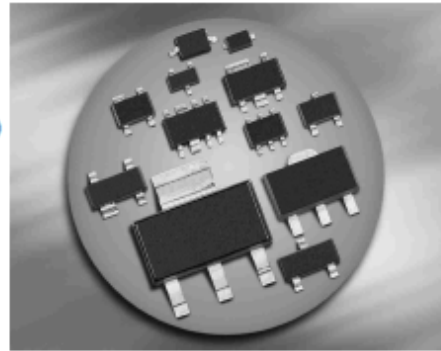
EK-1



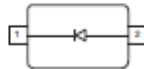
BA592/BA892...

Silicon RF Switching Diode

- For band switching in TV/VTR tuners and mobile applications
- Very low forward resistance (typ. 0.45 Ω @ 3 mA)
- Small capacitance
- Pb-free (RoHS compliant) package
- Qualified according AEC Q101




BA592
BA892/-02L
BA892-02V



Type	Package	Configuration	L_S (nH)	Marking
BA592	SOD323	single	1.8	blue S
BA892	SCD80	single	0.6	AA
BA892-02L	TSLP-2-1	single, leadless	0.4	AA
BA892-02V	SC79	single	0.6	A

Maximum Ratings at $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Value	Unit
Diode reverse voltage	V_R	35	V
Forward current	I_F	100	mA
Junction temperature	T_J	150	°C
Operating temperature range	T_{Op}	-55 ... 125	
Storage temperature	T_{Stg}	-55 ... 150	




SATELLITE TRAINER STC10

Satellite Communication Lab STC10 Features:

- * 7 PLL Uplink 5.8GHz & 4 PLL Downlink 2.4GHz channels.
- * Different Baud rates PC-PC link.
- * Variable path loss at uplink and downlink channels
- * PLL synthesized frequency in Transmitter, Receiver and Satellite Emulator
- * Gold Plated SMA connectors & Silver Teflon cables
- * Dish & Patch array for linear & circular polarization.
- * C/N and S/N measurement facility
- * Transmit Audio, Video, Digital/analog data, Tone, Voice, function generator waveforms etc.
- * Receives & demodulates 3 Signals Simultaneously.
- * Camera and Monitor for video link


1. Satellite Uplink Transmitter



Technical specifications:

Frequency	: 7 channels in 5.8 GHz band ; PLL with frequency selection switch & LED Indication
Spurious output	: -30 dB typical
RF Output	: 50 Ohms Unbalanced SMA
RF output level	: +3 dBm nominal with wideband RF amplifier
Path Loss	: 10dB Typical
Audio 1	: Int. 1KHz sine wave / Ext Mic Ext. Function Generator waveform
Audio 2	: Int. 1KHz sine wave / Ext Mic Ext. Function Generator waveform
Video	: Analog Camera compatible
Waveform	: upto 5MHz Function Generator
Digital	: Max rate 100KHz typical
Baseband	: Transmits 3 signals simultaneously at each uplink frequency
Processor	: PIC-16F4 - 8 bit RISC processor based PLL with 4 Mhz clock
Bandwidth	: 20 Mhz
Modulation	: 5/ 5.5MHz Audio FM Modulation 8 Mhz Video FM Modulation
Antenna	: Detachable Parabolic dish with mount
Power Supply	: 100-240V AC 47-63Hz


2. Satellite Downlink Receiver



Technical specifications:

Frequency	: 4 channels in 2.4 to 2.5 GHz band PLL Controlled ISM Band
RF Input	: 50 Ohms Unbalanced SMA
Sensitivity	: -95dBm
Audio 1out	: Speaker inbuilt/output
Audio 2 out	: Speaker inbuilt/output
Video Out	: 5MHz, 1V p/p
Digital	: Max rate 100KHz typical TTL
RSSI Out	: Received signal strength output for C/N measurement
IF	: 479.5MHz
Antenna	: Detachable Parabolic dish with mount
Demodulation	: receives & demodulates 3 signals simultaneously
Power Supply	: 100-240V AC 47-63Hz


3. Satellite Link Emulator



Technical Specifications:

Transponder Uplink	
Frequency	: 7 channels in 5.8 GHz band ; PLL Synthesized ISM Band with select switch
RF Input Z	: 50 Ohms Unbalanced SMA
Sensitivity	: -95dBm
Transponder Downlink	
Frequency	: 4 channels in 2.4 to 2.5 GHz band ; PLL Synthesized ISM Band
Spurious output	: -30 dB typical
RF Output Z	: 50 Ohms Unbalanced SMA
RF output level	: 0 dBm nominal
Path Loss	: 10 dB Typical
Band limiting	: 15MHz fixed typical
Antennas	: Patch array antenna X2
Power Supply	: 100-240V AC 47-63Hz
Accessories	: Camera, Video to VGA converter Card, Cables BNC-BNC X2
Signal fading	: Variable 25dB

Mfd by: Amitec Electronics Ltd.
 Regd. Off: 504, Nilgiri, Barakhamba Road, New Delhi-110001, India
 Works: 4/32, Site-4, Industrial Estate Sahibabad, UP-201010, India
 amitec@amitecld.com, www.amitecld.com
 +91-120-4371276, +91-98118-39949, +91-98101-93153



ISO 9001:2000
Quality Management System
Cert. No. 191

amitec

SATELLITE TRAINER STC10

4. Camera



Camera : Colour CCD Type
Power Supply : From Tx
Resolution : 400 Lines
Size : 1/3" CCD
Video O/P : 1Vp-p composite

8. Microstrip rectangular patch array 2X2-6.8 GHz



F_c : 5.8 \pm 0.1 GHz
 S_{11} : 10 \pm 2dB
Polarisation : Linear
Gain : 7dBi
Impedance : 50 Ohms
Connector : SMA

6. Monitor



Screen : 7" Colour LCD
AV Input : Analog
Power Supply : Adapter
Display Mode : 16 : 9
Viewing Angle : Wide
Adjustable : Colour, Brightness, Contrast
Remote control : card style

10. Serial Communication Software



Serial communication software
Baud rate : 1200 bps-38,600bps
Comport : User Selectable

8. Microstrip Circular Patch Array 2X2-2.4GHz



F_c : 2.4 \pm 0.1 GHz
 S_{11} : 10 \pm 2dB
Polarisation : Circular
Gain : 7dBi
Impedance : 50 Ohms
Connector : SMA

11. Accessories

- 1) Transmitter antenna mounting stand.
- 3) All necessary connectors & Teflon RF cables.
- 4) Experimental Manual
- 5) Software CD
- 6) BNC-BNC Cables -2 Nos.
- 7) RS232 Lead -2 Nos.
- 8) SMA-SMA lead -4 No
- 9) BNC Tee -2 Nos.
- 10) RS 232 adapter

E-Manual: Installation Video for ease of Learning

Dimensions: 68X62X44cms Weight: 22Kgs
Warranty: 3 yrs.

7. Microstrip Rectangular Patch Array 2X2-2.4 GHz



F_c : 2.4 \pm 0.1 GHz
 S_{11} : 10 \pm 2dB
Polarisation : Linear
Gain : 9dBi
Impedance : 50 Ohms
Connector : SMA

Areas of Experimentation and scope of study

- To set up an active & passive satellite communication link and study their difference. To study the communication satellite link design: process of transmitting a signal to a satellite (UPLINKING), reception of same signal via satellite (DOWN LINKING) and functioning of transponder of a satellite.
- To measure the baseband analog signal parameters in a satellite link.
- To measure the signal parameters in an analog FM/FDMTV/Satellite link.
- To study the functionality of a satellite MODEM.
- To study the phenomenon of Linear polarization.
- To measure the C/N ratio.
- To measure the S/N ratio.
- To study the effect of fading and measure the fading margin of a received signal.
- To measure the digital baseband signal parameters in a satcom link.
- To setup a RS-232 satellite communication link using com ports of PC.
- To calculate Bit Error Rate in a satcom link.

8. Parabolic Dish - 2 Nos.



S11: >10dB
Bandwidth: 2.4 \pm 0.1GHz
Gain: 6dBi
Beamwidth : E plane 40°
Beamwidth : H Plane 60°
Polarisation : Linear
Front to Back Ratio: 10dB
Connector : SMA

Mfd by: Amitec Electronics Ltd.
 Regd. Off: 504, Nilgiri, Barakhamba Road, New Delhi-110001, India
 Works: 4/32, Site-4, Industrial Estate Sahibabad, UP-201010, India
 amitec@amitecltd.com, www.amitecltd.com
 +91-120-4371276, +91-98118-33949, +91-98101-93153



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ender KARAZEYBEK

Doğum Yeri ve Yılı : Yakasinek, 1984

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Aldemir Atilla Konuk Anadolu Lisesi, 2003

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, 2008

Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl

2008– ... Türk Telekom A.Ş Güney-1 Bölge Müdürlüğü Network Yönetimi Sistemleri IP/MPLS

Yayınları (SCI ve Diğerleri)

1. “Diodes Loaded Active Microstrip Antennas Design and Analysis of Diodes effect on Active Antennas for RF Wireless-Receiver-Transmitter” Beykent Üniversitesi, Journal Science and Technology,3, 199-208, (2009).