

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

**AMC REFLEKTÖR KULLANIMI İLE MIMO DUAL BAND MİKROŞERİT
ANTEN TASARIMI**

Serap KILINÇ EVRAN

**Danışman
Doç. Dr. Özlem COŞKUN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Serap KILINÇ EVRAN]

TEZ ONAYI

Serap KILINÇ EVRAN tarafından hazırlanan "AMC Reflektör Kullanımı ile MIMO Dual Band Mikroşerit Anten Tasarımı" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Özlem COŞKUN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİFCİ
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



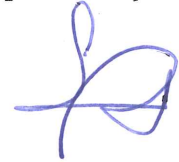
Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Serap KILINÇ EVRAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Zamanla Değişen Alanlar Ve Maxwell Denklemleri	4
1.1.1. Zamanla değişen alanlar	4
1.1.1.1. Faraday indükleme yasası	5
1.1.2. Maxwell denklemleri	5
1.1.2.1. Maxwell denklemlerinin integral biçimleri	7
1.1.2.2. Maxwell denklemleri ve anlamları	8
1.2. Antenler ve Çeşitleri.....	9
1.2.1. Anten.....	9
1.2.2. Anten çeşitleri.....	10
1.2.2.1. Wire anten.....	10
1.2.2.2. Aperture anten.....	10
1.2.2.3. Mikroşerit anten	11
1.2.2.4. Array (Dizi) anten	12
1.2.2.5. Reflektör anten.....	13
1.2.2.6. Lens anten	14
1.3. Temel Anten Parametreleri	14
1.3.1. Işıma modeli	14
1.3.1.1. Model çeşitleri	15
1.3.1.2. Alan bölgeleri.....	16
1.3.2. Işıma yoğunluğu	17
1.3.3. Yönlendiricilik.....	17
1.3.3.2. Anten örüntüleri ve yönlülük	18
1.3.4. Kazanç	21
1.3.5. Anten verimliliği.....	21

1.3.6. Yarı güç ışıma genişliği	22
1.3.7. Bant genişliği	22
1.3.8. Polarizasyon.....	22
1.3.8.1. Liner polarizasyon	23
1.3.9. Polarizasyon kayıp faktörü ve verimliliği.....	23
2. KAYNAK ÖZETLERİ	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Materyal.....	33
3.1.1. Anten tasarımıda kullanılan simülasyon programı ve malzeme	33
3.1.2. Yapay manyetik iletken	34
3.3. Yöntem	37
3.3.1. Mikroşerit antenlerin besleme teknikleri	37
3.3.2. Anten elemanları arasındaki yalıtımın artırılması	37
3.3.3. Yapay manyetik iletken tasarımı	39
3.3.4. T mikroşerit anten tasarımı	41
3.3.5. L Mikroşerit Anten Tasarımı	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	47
4.1. T Mikroşerit Anten Simülasyon ve Ölçüm Sonuçları	47
4.2. L Mikroşerit Anten Simülasyon ve Ölçüm Sonuçları	54
4.2.1. L mikroşerit anten kazanç ölçümü.....	61
5. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	69

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AMC REFLEKTÖR KULLANIMI İLE MIMO DUAL BAND MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Serap KILINÇ EVRAN

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

Danışman: Doç. Dr. Özlem COŞKUN

Bu yüksek lisans tez çalışmasında 2.45 GHz ve 5.2 GHz’de çalışan T mikroşerit anten; 2.45 GHz ve 5.8 GHz frekansında çalışan L mikroşerit MIMO dual band anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımlar CST simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Kablosuz haberleşme sistemlerinde özellikle gelişen servislerle çoğul–ortam veri iletimi için iç-ortam WLAN sistemlerinde veri hızı ve erişim kalitesi açısından artış gerekmektedir. Yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinde yüksek iletim performansı ve yüksek veri hızlarına gönderici ve alıcıda çoklu anten kullanımı sağlayan MIMO sistemler ile ulaşılabilmektedir. MIMO sisteminde uzaysal alan kullanılarak aynı zaman ve frekansta çoklu anten üzerinden paralel veri iletimi yapılabilir. Anten parametrelerinin verimini artırmak içinde; yapay manyetik iletken tasarımı (AMC) yapılarak, anten için reflektör olarak kullanılmıştır. Tasarlanan dual band MIMO mikroşerit antenlerin; yansıma katsayısı, ışıma diyagramları, kazanç gibi parametrelerini incelenmiştir. Dual band MIMO mikroşerit anten sistemi ile klasik anten sistemlerini karşılaştırarak, avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. MWA uygulamalarda mevcut klasik dual band MIMO mikroşerit antenlere göre; AMC substratlar kullanılarak daha performanslı, yönlülüğü daha yüksek, parametreleri iyileştirilmiş anten sistemi elde edilmiş ve tasarlanan antenlerle hedef spesifikasyonları ve uluslararası standartları (WHO, FCC vb.) sağlanmıştır. AMC substrat ile beraber anten tasarımı, anten fonksiyonlarının testi, simülasyonu bu tez çalışmasının temelini oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yapay manyetik iletken, mikroşerit anten, MIMO

2018, 69 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DESİGN OF DUAL BAND MICROSTRIP ANTENNA WİTH AMC REFLEKTÖR

Serap KILINÇ EVRAN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özlem COŞKUN

In this master thesis study, T microstrip antenna operating at 2.45 GHz and 5.2 GHz; L microstrip MIMO dual band antenna design operating at frequencies of 2.45 GHz and 5.8 GHz. The designs were made using the CST simulation program. In wireless communication systems, especially in emerging services, it is necessary to increase the data rate and quality of access in the internal WLAN systems for multi-media data transmission. New generation wireless communication systems can be achieved with MIMO systems that provide high transmission performance and high data rates using multiple antennas at the transmitter and receiver. In the MIMO system, parallel data can be transmitted over multiple antennas at the same time and frequency using the spatial field. An artificial magnetic conductor design (AMC) was used to increase the efficiency of the antenna parameters and it was used as a reflector for the antenna. Designed dual band MIMO microstrip antennas; reflection coefficient, radiation diagrams, gain, etc. Advantages and disadvantages of dual band MIMO microstrip antenna system are compared with conventional antenna systems. In MWA applications, using AMC substrates according to the conventional dual band MIMO microstrip antennas, more performance, higher directional, improved parametric antenna system was obtained and target specifications and international standards (WHO, FCC etc) were provided with designed antennas. Antenna design together with AMC substrate, testing of antenna functions, simulation is the basis of this thesis work.

Keywords: Artificial magnetic conductor, microstrip patch antenna, MIMO

2018, 69 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime değerli bilgi ve deneyimleri ile katkıda bulunan danışman hocam Doç. Dr. Özlem COŞKUN'a ve ölçüm çalışmalarımda bana gerekli yardımı sağlayan SDÜ Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN'a çok teşekkür ederim. Bu tezi, hayatımın her safhasında bana destek olan aileme ve sevgili eşime ithaf ediyorum.

Serap KILINÇ EVRAN
ISPARTA, 2018



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. PEC ve AMC yer düzleminin karşılaştırılması.....	3
Şekil 1.2. İletim hattı Thevenin eşdeğer modeli	9
Şekil 1.3. Loop Anten	10
Şekil 1.4. Mikroşerit antenin genel yapısı.....	11
Şekil 1.5. Dizi anten çeşitleri a) Yagi-uda dizi anten b) Açıklık dizi anten c) Mikroşerit dizi anten	13
Şekil 1.7. Lens antenler.....	14
Şekil 1.8. Anten analizi için koordinat düzlemi.....	15
Şekil 1.9. Işıma örüntüsü gösterimi	15
Şekil 1.10. Anten alanları.....	16
Şekil 1.11. Bir hertz dipolün ışıma örüntüleri.....	18
Şekil 2.1. a) Mikroşerit patch anten b) MIMO mikroşerit anten	25
Şekil 2.2. Dual band MIMO anten a) Anten geometrisi b) S-parametreleri c) Anten prototipi	26
Şekil 2.3. İki kollu MIMO TFA geometrisi a) Genel görünüm b) Anten elemanının detayı gösterim c) Dual-band MIMO monopol anten d) Dual-band MIMO monopol anten CST Çizimi e) Kazanç f) Direktivite f) S_{11}	27
Şekil 2.4. 802.11a/b AMC için alüminyumdan yapılan temsili laptopa yerleştirilmiş AMC anten için örnek gösterim	28
Şekil 2.5. AMC üzerinde fabrikasyon anten	29
Şekil 2.6. Sunulan antenin fabrikasyonu a) Ön yüzey b) Arka yüzey	29
Şekil 2.7. İç mekan erişim noktası için önerilen AMC yüzeyi ile yüklenen düzlemsel dipol anten a) Perspektif görünüşü b) 4*4 periyodik AMC yüzeyinin geometrisi..	30
Şekil 2.8. AMC'li anten tasarımı	31
Şekil 2.9. Tasarlanan anten a) Yama yapısı b) AMC yapısı	32
Şekil 3.1. Yapay manyetik iletken üzerinde dikey kutuplanmış bir dalga olayı	35
Şekil 3.2. Yapay manyetik iletken paralel polarize dalga olayı	35
Şekil 3.3. Besleme hattı mikroşerit anten yapısı	37
Şekil 3.4. İki elemanlı bir MIMO sisteminde anten elemanları arasındaki ortak etkileşim	38
Şekil 3.5. Dikey elemanlı bir MIMO anten yapısı	39
Şekil 3.6. AMC reflektör simülasyon görüntüsü a) T mikroşerit anten için reflektör b) L mikroşerit anten için reflektör c) Boyutlar d) L mikroşerit antenin AMC reflektör yapısı ile görünüşü	40
Şekil 3.7. AMC reflektör yapısı için normalde gelen bir düzlem dalga için simüle edilmiş yansıma evreleri grafiği	41
Şekil 3.8. T antenin simülasyon görüntüsü ve boyutlarını.....	42
Şekil 3.9. T antenin AMC reflektör ile simülasyon görüntüsü	42
Şekil 3.10. 2.45 ve 5.2 GHz frekansında çalışan T geometrili mikroşerit antenin AMC reflektör ile baskı devresi	43
Şekil 3.11. 2.45 GHz ve 5.8 GHz frekansında çalışan anten geometrisi ve boyutları	44
Şekil 3.12. AMC reflektörlü L mikroşerit antenin simülasyon görüntüsü a) Ön yüz b) Yan konum görünüşü.....	44
Şekil 3.13. Tasarlanan L mikroşerit antenin a) Baskı devresi b) AMC'li anten.....	45

Şekil 3.14. Anten deney ölçüm düzeneğinden görüntüler a) PEC reflektörlü anten b) AMC'li anten c) AMC'li anten d) Anten ölçüm düzeneği e) AMC'li anten f) FielFox Network Analizör	46
Şekil 4.1. AMC reflektörlü antenin S_{11} simülasyon sonucu.....	47
Şekil 4.2. Antenin farklı reflektörlerle S_{11} simülasyon sonuçları	48
Şekil 4.3. Antenin farklı reflektörlerdeki S_{21} simülasyon sonuçları, yeşil hat AMC'li anten, siyah hat mikroşerit anten, kırmızı hat PEC'li anten	49
Şekil 4.4. AMC'li T mikroşerit antenin frekans-duran dalga oranı grafiği	49
Şekil 4.5. T mikroşerit antenin 2.45 GHz için uzak alan örüntü sonuçları.....	51
Şekil 4.6. T mikroşerit antenin 5.2 GHz için uzak alan örüntü sonuçları	52
Şekil 4.7. T mikroşerit anten yönlülük ve kazanç değerleri.....	53
Şekil 4.8. AMC'li antenin geri dönüş kaybı simülasyon ve ölçüm sonucu	54
Şekil 4.9. AMC'li antenin S_{21} simülasyon ve ölçüm sonuçları grafiği	55
Şekil 4.10. L antenin ve farklı reflektör ile kullanımının ölçüm sonuçları	55
Şekil 4.11. AMC'li antenin kazanç grafiği simülasyon sonucu.....	56
Şekil 4.12. L anten 2.45 GHz için uzak alan örüntü sonuçları.....	57
Şekil 4.14. L mikroşerit anten için yönlülük ve kazanç sonuçları	59
Şekil 4.15. AMC reflektörlü L mikroşerit antenin frekans – duran dalga oranı (VSWR) değişimi	60
Şekil 4.16. Referans anten ile kazanç ölçümü düzeneği	61
Şekil 4.17. Kazanç ölçümü yapılan referans anten	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. FR4 malzemenin özellikleri.....	33
Çizelge 4.2 Antenin ve AMC'li antenin baskı devre ölçüm sonuçları	56
Çizelge 4.3. Anten kazanç ölçüm değerleri	62
Çizelge 5.1. Literatür ile anten kazanç değeri karşılaştırılması.....	64



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Anten fiziksel alanı
AMC	Yapay manyetik iletken
B	Manyetik alan yoğunluğu
BW	Band genişliği
C	Çizgisel integral yolu
CST	Bilgisayar simülasyon teknolojisi
D	Anten boyu
d	Elektromanyetik enerji soğuran objenin ortalama çapı
dB	Desibel
E	Elektrik alan şiddeti
f	Frekans
FNBW	İlk sıfır ışıma genişliği
ρ	Serbest yük yoğunluğu
G	Anten güç kazancı, iletkenlik, giga
GHz	Giga hertz
H	Manyetik alan şiddeti
HPBW	Yarım güç ışıma genişliği
I	Akım
k	Kilo
L	Endüktans
mm	Milimetre
MIMO	Çoklu giriş çoklu çıkış
P	Güç
p	Piko
PEC	Mükemmel elektrik iletken
PMC	Mükemmel manyetik iletken
R	Direnç, yansıma kaybı (dB)
RF	Radyo frekansı
RL	Geri dönüş kaybı
t	Zaman, kalınlık, uzunluk, gönderilen taraf alt matrisi
UWB	Ultra geniş band
V	Gerilim
VSWR	Duran dalga oranı
W	Güç birimi, depolanan enerji
w	Genişlik
WLAN	Kablosuz yerel alan ağı
WiMAX	Mikrodalga erişim için dünya çapında birlikte çalışabilirlik
ϵ	Dielektrik sabiti
ϵ_r	Bağıl dielektrik sabiti
θ	Açı
λ	Dalga boyu
μ	Manyetik geçirgenlik, mikro
μ_r	Bağıl manyetik geçirgenlik
π	3.1416 sabit sayısı

ω	Açısal frekans($2 \pi f$)
Ω	Direnç birimi (ohm)
Hz	Frekans birimi (Hertz)
IEEE	Uluslararası Elektrik Mühendisleri Enstitüsü



1. GİRİŞ

Giderek artan kablosuz iletişim sistemleri, anten mühendislerini sürekli olarak yeni anten yapıları oluşturmaya ve mevcut anten tasarımlarını geliştirmeye zorlamaktadır. Hesaplamalı elektromanyetik ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler nedeniyle, anten mühendisleri günümüzde anten tasarımlarında karmaşık mühendislik elektromanyetik malzemeleri kullanmaktadır. Modern ticari ve savunma kablosuz iletişim sistemlerinde, iyi radyasyon verimine sahip hafif düşük profilli antenler büyük ölçüde istenmektedir. Çünkü RF ve mikrodalga devreleri ile kolayca entegre edilebilirler. Ayrıca taşıtlar ve gemiler gibi kurulum platformlarına uygun hale getirilebilirler. Düşük profilli tasarım genellikle, genel yüksekliği, çalışma dalga boyunun onda birinden daha az olan bir anten yapısına değinmektedir (Yang ve Samii, 2007).

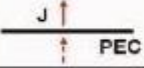
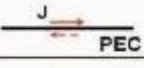
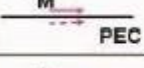
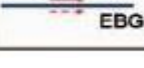
Mikroşerit yama teknolojisinin icadı; antenin boyutunun azaltılmasını sağlayarak, kablosuz iletişim cihazlarının boyutunun azaltılmasına büyük ölçüde yardımcı olmuştur. Üretim sürecinde düşük ve fiziksel boyutta kompakt olduğundan, son zamanlarda mikroşerit yama anteni, iletişim cihazları için yaygın olarak kullanılan anten tiplerinden biridir. Düşük maliyet, düşük ağırlık, düşük profil ve imalat kolaylığı gibi birçok avantajı olmasına rağmen; genel olarak mikroşerit bant yama antenine dar bant genişliği ve düşük kazanç gibi birkaç sınırlama eşlik etmektedir (Balanis, 1997; Pozar, 2003). Sadece bu sınırlamaların üstesinden gelmek için değil; aynı zamanda gücünü daha da artırmak için, mikroşerit yama anteni ve uygulamaları ile ilgili araştırmalar ve gelişmeler kablosuz haberleşme sistemleri ile tüm dünyada gerçekleştirilmektedir (James, 1989; Sutinah ve Munir, 2010).

Verilen bir rezonans frekansı için ihtiyaç duyulan anten yamasının büyüklüğünü en aza indirecek ya da sıklıkla yama minyatürizasyonu olarak adlandırılan teknikler hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Önerilen yöntemlerden biri, meta-materyalleri yer düzlemi olarak kullanmaktır (Yu vd., 2008; Sutinah ve Munir, 2010). Metamaterial kullanımında geleneksel mikroşerit yama antenine kıyasla, yama boyutunu ve toplam anten boyutunu % 65'e kadar azaltılabilmektedir (Sutinah ve Munir, 2010).

Bilinen bir başka benzer teknik, yamanın altındaki yönlendirilmiş dalga propagasyonlarını azaltmak ve rezonansın rezonans frekansını azaltmak için substrat olarak yüksek dielektrik sabiti olan bir malzemenin uygulanmasıdır (Huang, 2001).

Yüksek empedanslı yüzey olarak da bilinen AMC (yapay manyetik iletken), yansıma fazı ile ilgili ayrı bir özelliği olan bir yapıdır. Bu nedenle yansıma fazı, gelen faza göre bir yüzey üzerindeki yansıyan elektrik alanının fazıdır. Bilindiği gibi, PEC (mükemmel elektrik iletken) 180° yansıma fazı sergileyebilen bir malzemedir. PEC'nin teorik karşısı, doğal olarak mevcut olmayan ve gelen dalgaya göre sıfır derece yansıma fazı sergileyebilen bir malzeme olarak tanımlanan bir PMC (mükemmel manyetik iletken) olarak adlandırılır. Belli bir dar frekans bandında sıfır dereceli yansıma özellikleri gösterebilen bir malzeme olarak bilinen AMC, PMC'nin fiziksel olarak yakınlştırılmasıdır (Olivia vd., 2010; Clavijo, 2003).

Son yıllarda, yapay manyetik iletkenlerin geliştirilmesi, düşük profilli anten uygulamalarında önemli ilerlemelere yol açmıştır. AMC yapısı, frekans arttıkça 180° ila -180° arası yansıma fazı değişimleri ile yüksek empedanslı yüzey sağlar. Bu nedenle, bazen yüksek empedans yüzey (HIS) veya mükemmel manyetik iletken (PMC) olarak kabul edilmektedir. Bu sıra dışı sınır koşulu nedeniyle AMC yüzeyi, düşük profilli antenler için yeni bir zemin düzlemi tipi olarak işlev görebilmektedir (Balanis, 2005). Öte yandan PMC, dipol reflektörün hemen üzerine yerleştirilebilir, bu da profilini performansını etkilemeden yaklaşık $\lambda/20$ 'ye düşürmektedir. Bunun nedeni, PEC yüzeyinin yansıma katsayısının $R = -1$ olmasından kaynaklanmaktadır, ancak PMC'nin $R = +1$ dir. Ayrıca, AMC'nin yansıma fazı, doğada bulunmayan ideal bir PMC'ye benzeyen belirli bir frekansta $R = +1$ 'dir. Bu, tüm yüzeylerin gelen dalgayı tamamen yansıttığı anlamına gelir, ancak PEC bir faz tersine neden olur; AMC ise olmaz. Şekil 1.1'de bu temel prensibi göstermek için, AMC toprak düzlemini tel ve mikroşerit anten tasarımlarında geleneksel PEC toprak düzlemi ile karşılaştırılmaktadır (Zouhdi vd., 2008; Yang vd., 2009).

seçenek	verim	düşük profil	antenler
 PEC			monopol
 PEC			N/A
 PEC			mikroşerit anten
 EBG			tel anten

Şekil 1.1. PEC ve AMC yer düzleminin karşılaştırılması (Zouhdi, 2008)

Literatüre bakıldığında, çeşitli mühendislik malzemelerinin araştırıldığı ve çok sayıda anten uygulamasının önerildiği gözlemlenmiştir (Sievenpiper, 1999). Örneğin, PMC etkisinde düz bir metal levha üzerinde bir dizi metal çıkıntı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çıkıntılar iki boyutlu bir kafes şeklinde düzenlenmiştir ve yüzeyden çıkıntı yapan mantarlar veya raptiyeler olarak görselleştirilebilmektedir. Ayrıca, kare yastıkları ve iç içe geçmiş dar çizgilerden oluşan bağlantısız gelişmiş yapılar da önerilmiştir (Yang vd., 1999; Caloz vd., 2001). Son zamanlarda, basit AMC yapıları da sadece kare yamalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bütün bu yüzeyler bir AMC yüzeyi ile aynı saçılma özelliklerini göstermektedir (Zhang vd., 2003; Nuaimi, 2009).

Çoklu Giriş-Çoklu Çıkış (MIMO) teknolojisi IEEE 802.11 n (Wi-Fi), IEEE 802.11 ac (Wi-Fi), HSPA + 3G, LTE 4G dahil olmak üzere gelişmekte olan ve gelecekteki kablosuz iletişim standartları için temel bir ihtiyaç olarak kabul edilmiştir (Li, 2010). MIMO teknolojisi, iletim hızını, kanal kapasitesini ve bit hızını iyileştirerek temel olarak kablosuz iletişim sistemlerinin performansını artırmaktadır. MIMO, iletim ve alım için çoklu antenler kullanarak çok yönlü yayılımı kullanmaktadır (Foschini, 1998).

1.1. Zamanla Değişen Alanlar Ve Maxwell Denklemleri

1.1.1. Zamanla değişen alanlar

Elektrik alan şiddeti vektörü E ve elektrik akı yoğunluğu D vektörü olarak tanımlanmıştır. Temel diferansiyel denklemler

$$\nabla \times E = 0 \quad (1-1)$$

$$\nabla \cdot D = \rho_V \quad (1-2)$$

olarak gösterilir. Lineer ve yön bağımsız ortamlar için E ve D arasındaki ilişki

$$D = \epsilon E \quad (1-3)$$

denklemi ile gösterilir. Manyetostatik model için B manyetik akı yoğunluğu vektörü ve H manyetik alan şiddeti vektörü olarak tanımlanır. Temel diferansiyel denklemler ise

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (1-4)$$

$$\nabla \times H = J \quad (1-5)$$

olarak ifade edilir. Lineer ve yön bağımsız ortamlarda B ve H arasındaki bağıntı ise

$$H = \frac{1}{\mu} B \quad (1-6)$$

dir. İletken ortamdaki statik elektrik alanı bir durgun akım akmasına neden olur ve sonucunda bir statik manyetik alan oluşturur. Manyetik alan ise bir sonuç olduğu için elektrik alanın hesaplanmasında işin içine girmez.

Statik model basittir ama zaman içinde değişken elektromanyetik olayları açıklamakta yetersizdir. Statik elektrik ve manyetik alanlar enerji ve bilgi iletim dalgaları üretmez. Dalgalar uzak elektromanyetik aktivitenin temelidir. Bir elektrik alanı zamanla değişken bir manyetik alan tarafından indüklenir ve bunun tersi de geçerlidir.

Zamanla değişken alanlar durumunda, E ve D'yi manyetik alan vektörleri B ve H ile uygun şekilde ilişkilendiren bir elektromanyetik modelin oluşturulması gerekmektedir. Denklem (1-1) 'de verilen $\nabla \times E$ denklemini değiştiren ve Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon yasasının temelini oluşturan bir önermeyle başlanır. Yeni denklem ile $\nabla \times H$ denklemini de yükün korunumu yasası uyumlu şekilde değiştirilmesi gerekmektedir. Denklemler (1-2) ve (1-4) ile verilen iki ıraksama denklemi ile birlikte Maxvell denklemi olarak bilinirler ve elektromanyetik teorelin temelini oluşturmaktadır (Cheng, 2009).

1.1.1.1. Faraday indüklemeye yasası

Elektromanyetik teoredeki büyük gelişme, 1831'de bir iletken devreden geçen manyetik akışın zamanla değiştiği zaman döngüdeki bir akımın uyarıldığını keşfeden Michael Faraday tarafından sağlanmaktadır. Deneysel olan, indüktif EMF ve akış eşleşmesi arasındaki bu niceliksel ilişki Faraday yasası olarak bilinir. Deneysel bir yasa olduğu için denklem olarak alınabilir.

Elektromanyetik indüklemenin temel postülatı

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-7)$$

olarak ifade edilir. Değişken bir manyetik akım yoğunluğuna sahip bir bölgedeki elektrik alanının yoğunluğu korunmaz ve bir skalar potansiyelin gradyanının negatif olarak ifade edilemez (Cheng, 2009).

1.1.2. Maxwell denklemleri

Elektromanyetik indüklemenin temel postülatı, zamanla değişen bir manyetik alanın bir elektrik alanı oluşturduğunu açıklamaktadır. Bu açıklama çok sayıda deneyle de sağlanmıştır. Sonuç olarak zamanla değişen durumda Eşitlik (1-1)'deki $\nabla \times E = 0$ denklemini Eşitlik (1-7)'deki $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ ile değiştirilmelidir.

Aşağıdaki ise iki dönel denklemi Eşitlik (1-7)&Eşitlik (1-5) ve iki ıraksama denklemini; Eşitlik (1-2) &Eşitlik (1-4) verilmektedir.

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-7)$$

$$\nabla \times H = J \quad (1-5)$$

$$\nabla \cdot D = \rho_V \quad (1-2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (1-4)$$

Tüm zamanlarda yükün korunumu ilkesinin sağlanması gereklidir. Yükün korunumunun matematiksel ifadesi süreklilik denklemidir:

$$\nabla \cdot J = -\frac{\partial \rho_V}{\partial t} \quad (1-8)$$

Burada önemli olan Eşitlik (1-7, 1-5, 1-2, 1-4)'de verilen dört denklemlilik kümenin zamanla değişen durumda Eşitlik (1-8) ile belirtilen gereksinme ile tutarlı olup olmadığıdır.

Cevabın olumsuz olduğu Eşitlik (1-5)'nin ıraksaması alınarak hemen görülebilir:

$$\nabla \cdot (\nabla \times H) = 0 = \nabla \cdot J \quad (1-9)$$

Öte yandan, Eşitlik (1-8) zamanla değişen durumda $\nabla \cdot J$ 'nin sıfır olmadığını belirttiğinden Eşitlik (1-5) genel durumda doğru değildir. Eşitlik (1-7, 1-5, 1-2, 1-4), Öncelikle Eşitlik (1-9)'un sağ tarafına $\frac{\partial \rho_V}{\partial t}$ terimi eklenmelidir.

$$\nabla \cdot (\nabla \times H) = 0 = \nabla \cdot J + \frac{\partial \rho_V}{\partial t} \quad (1-10)$$

Eşitlik (1-10)'da Eşitlik (1-2) kullanılırsa,

$$\nabla \cdot (\nabla \times H) = \nabla \cdot (J + \frac{\partial D}{\partial t})$$

Bulunur ki bu da,

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (1-11)$$

olarak ifade edilir. Eşitlik (1-11), zamanla değişen bir elektrik alanın serbest akım akışı olmadığında dahi (yani $J=0$ olduğunda dahil) bir manyetik alan oluşturduğunu belirtir. Eklenen $\frac{\partial D}{\partial t}$ terimi Eşitlik (1-11)'i yükün korunumu ilkesiyel tutarlı kılmak için gereklidir. $\frac{\partial D}{\partial t}$ teriminin akım yoğunluğu (SI birimi A/m^2) birimine sahip olduğu kolaylıkla görülebilir. Zamanla değişen durumda süreklilik denklemi ile tutarlı olabilmek için Eşitlik (1-1, 1-5)'teki her iki dönel denklemi de genelleştirilmelidir. Eşitlik (1-7) ve teki her iki dönel denklemi de genelleştirilmelidir. Eşitlik (1-7, 1-5, 1-2, 1-4)'ün yerine kullanılacak dört tutarlı denklem kümesi

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-12)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (1-13)$$

$$\nabla \cdot D = \rho_v \quad (1-14)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (1-15)$$

olarak ifade edilir. Bu denklemler Maxwell denklemleri olarak bilinir. Bu 4 denklem tüm makroskopik elektromanyetik olayları açıklamak ve tahmin etmek için kullanılır. Eşitlik (1-12, 1-13, 1-14, 1-15)'deki dört Maxwell denklemi tutarlı olmakla birlikte, birbirinden bağımsız değildir (Cheng, 2009).

1.1.2.1. Maxwell denklemlerinin integral biçimleri

Eşitlikteki (1-12, 1-13, 1-14, 1-15) verilen dört Maxwell denklemi, uzayın her bir noktası için geçerli diferansiyel denklemlerdir. Fiziksel bir ortamda elektromanyetik olayları tanımlarken belirli şekil ve sınırlara sahip sonlu cisimler ele alınır. Bu nedenle, diferansiyel formları integral eşdeğerlerine dönüştürmek gerekmektedir.

Eşitlik (1-12) ve (1-13) dönel denklemlerin her iki tarafındaki yüzey integrallerini sınırı C olan S bir yüzeyinde alınıp Stokes teoremi uygulanırsa

$$\oint_C E \cdot dl = - \int_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot ds \quad (1-16)$$

$$\oint_C H \cdot dl = \oint_S \left(J + \frac{\partial D}{\partial t} \right) \cdot ds \quad (1-17)$$

elde edilir. Eşitlik (1-14) ve (1-15)'deki ıraksama denklemlerinin her iki tarafının hacim integralini, S kapalı yüzeyi ile sınırlandırmış V hacmi üzerinde alınırsa

$$\oint_S D \cdot ds = \int_V p_v \cdot dv \quad (1-18)$$

ve

$$\oint_S B \cdot ds = 0 \quad (1-19)$$

elde edilmiş olur.

1.1.2.2. Maxwell denklemleri ve anlamları

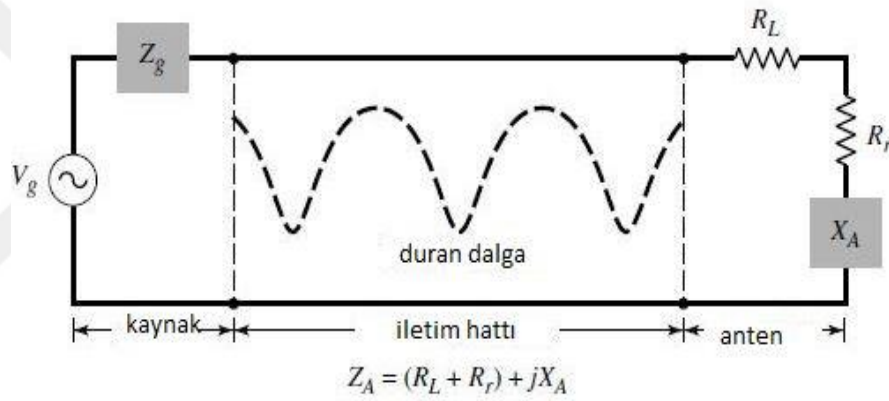
Diferansiyel Biçim	İntegral Biçim	Denklem İsmi
$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$	$\oint_C E \cdot dl = - \frac{d\phi}{dt}$	Faraday Yasası
$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$	$\oint_C H \cdot dl = I + \int_S \frac{\partial D}{\partial t} \cdot ds$	Amper devre yasası
$\nabla \cdot D = p_v$	$\oint_S D \cdot ds = Q$	Gauss yasası
$\nabla \cdot B = 0$ yük yoktur.	$\oint_S B \cdot ds = 0$	İzole manyetik

1.2. Antenler ve Çeşitleri

1.2.1. Anten

Bir anten RF ya da mikrodalga gücü yayabilen ve yayılan gücü alabilen elemanlardır. Antenler hem alıcı hem de verici olarak çalışabilen resiprok cihazlardır. Antenler serbest uzay dalgaları ile kılavuz dalgaları arasında geçiş sağlayan yapılardır. Antenin maksimum ışımaya sahip olabilmesi için dizayn edildiğinde, iletim hattı minimum ısıma kaybına sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Bir antenin iletim hattı modelinde Thevenin eşdeğeri Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. İletim hattı Thevenin eşdeğer modeli (Balanis, 2005)

Burada;

Z_e =Kaynak iç empedansı

R_L =Kayıp direnci

$R_R + jX_A$ =Işıma empedansı

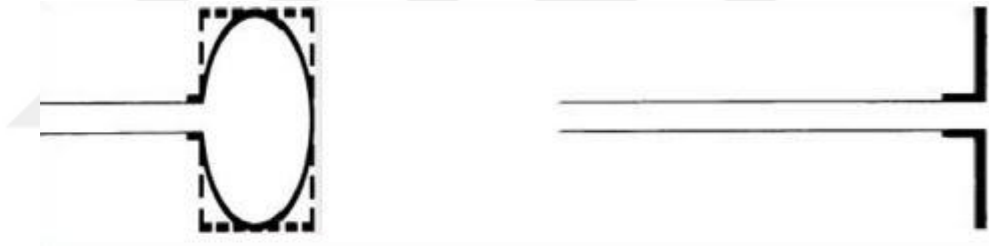
olarak gösterilmiştir. Hattan kaynaklanan kayıplar, düşük kayıplı hatları seçerken en aza indirebilirken, anteninkileri, R_L olarak gösterilen direnci azaltarak azaltabilir.

1.2.2. Anten çeşitleri

- 1) Wire (Tel) Anten
- 2) Aperture Anten
- 3) Mikroşerit Anten
- 4) Array (Dizi) Anten
- 5) Reflektor Anten
- 6) Lens Anten

1.2.2.1. Wire anten

Wire anten binalarda, otomobillerde, uçaklarda, gemilerde oldukça fazla kullanılması sebebiyle çok tanınan anten çeşitlerindendir. Wire anten dipole, loop gibi çeşitli şekillere sahiptir. Bunların şekilleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Loop Anten

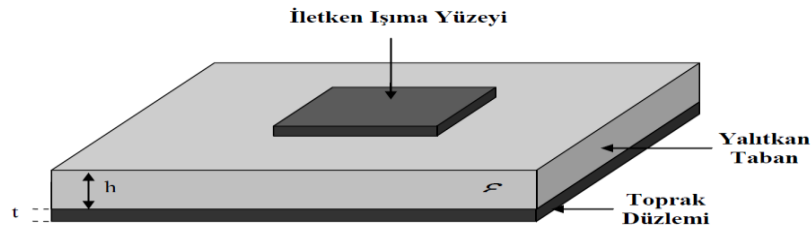
Loop antenlerin sadece dairesel olma durumu yoktur. Dairesel, dikdörtgen, elipsi şekillerde de olabilir. Ancak en yaygın olarak kullanılanı dairesel şekle sahip olanıdır.

1.2.2.2. Aperture anten

Aperture antenler daha yüksek frekans olmaları ve daha gelişmiş anten formlarının artması ile geçmişten günümüze kadar kullanılan bir anten çeşididir. Bazı anten formları aşağıda gösterilmiştir. Bu anten çeşidi yüzeye montaj edilebilmesi sebebiyle daha çok uçaklar ve uzay araçlarında kullanılır.

1.2.2.3. Mikroşerit anten

Mikroşerit antenlerin uzay araçları, uçaklar, radarlar uydu haberleşmesi, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda kolaylıkla kullanılabilir yapısından dolayı ve baskı devre teknoloji ile prototipinin üretilmesi gibi kolay üretim tekniği ile mikrodalga antenleri içinde son yıllarda başlı başına bir konu biçimine gelmiştir.



Şekil 1.4. Mikroşerit antenin genel yapısı

Şekilde en basit bir mikroşerit anten yapısı görülmektedir. Bir toprak düzlemi üzerinde aynı taban alanına sahip bir yalıtkan olan alttaş onun üzerinde bulunan ışıma yüzeyinden meydana gelmektedir.

Yaklaşık olarak 100 MHz'den 50 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin bilinen mikrodalga antenlerine göre üstünlüklerini aşağıdaki biçimde sıralanabilmektedir.

- a) Hafifliği ve küçük hacimli olması.
- b) Düşük üretim maliyeti.
- c) Düzlemsel biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması,
- d) Çok ince biçimli yapılabilmesi nedeniyle uzay araçlarının aerodinamik yapısını bozmazlar.
- e) Mikroşerit antenler, güdümlü mermiler, roketler ve uydular gibi özel hassasiyet gerektiren araçların üzerine önemli değişikliklere neden olmaksızın yerleştirilebilirler.
- f) Düşük saçılma ara kesitine sahiptirler.

- g) Besleme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışıma yapabilirler.
- h) İkili frekansta çalışan antenlerinin kolaylıkla yapılabilir olması,
- i) Osilator, değişken zayıflatıcılar, yükselteç modulatörler, yükselteç, faz değiştiricileri v.s. gibi katı hal devreleri mikroşerit antenlerin aynı taban malzemesi üzerine ilave edilerek, bileşik sistemler geliştirilebilir.
- j) Besleyici hatları ve uyumlandırma devreleri, mikroşerit antenle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimdedir.

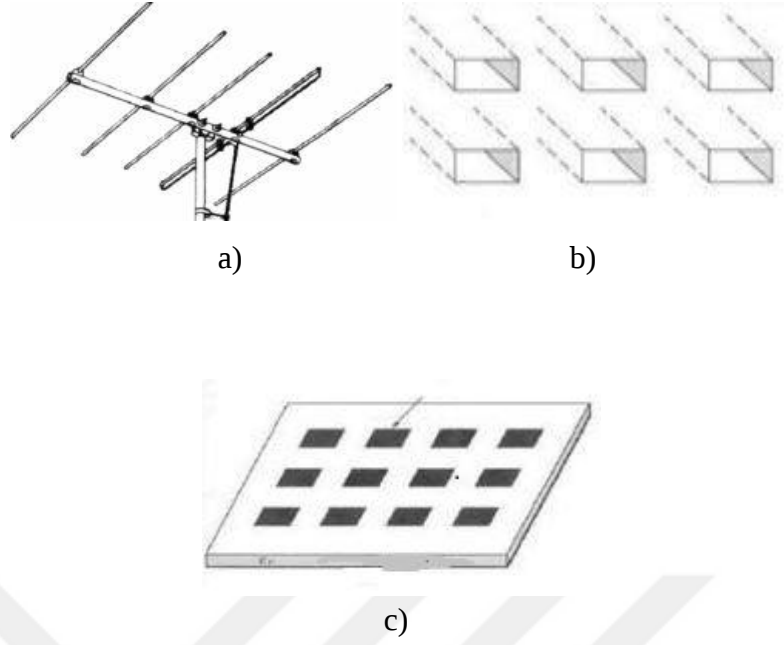
Mikroşerit antenlerin verilen üstünlüklerinin yanı sıra temel dezavantajları da şu şekilde sıralanabilir;

- a) Dar band genişliğine sahip olmaları
- b) Çeşitli kayıplar sonucu; düşük kazançlı olmaları.
- c) Mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışırlar.
- d) 20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde pratik güçlükler olması.
- e) Düşük endfire ışıma performansı.
- f) Besleyici ve ışıma elemanı arasındaki zayıf yalıtım.
- g) Yüzey dalgaları uyarımının mümkün olabilmesi,
- h) Düşük güç kapasitesi olması.

Belirtilen dezavantajlardan bazıları ise tasarım ve üretimde en düşük düzeye indirilebilirler.

1.2.2.4. Array (Dizi) anten

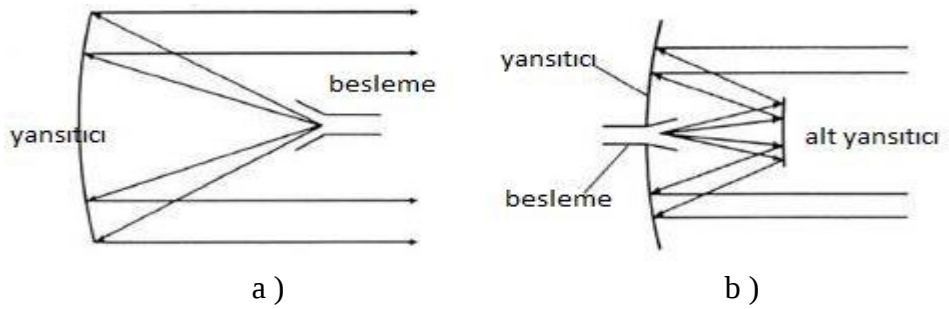
Tek bir kısımdan oluşan antenin ışıma karakteristiklerinin yeterli olmadığı bazı uygulamalar vardır. Işıma elemanlarının elektriksel ve geometrik olarak tekrar düzenlenmesi ile gereken ışıma karakteristikleri elde edilebilir. Bu şekilde birkaç ışıma elemanının düzenlenmesi ile oluşan antenlere array (dizi) anten denir. Dizi antenlerin düzenlenmesi sayesinde özel doğrultularda maksimum ışıma yapması, diğer yönlerde ise istenen ışıma elde edilebilir. Şekil 1.4 de bazı dizi anten örnek şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Dizi anten çeşitleri a) Yagi-uda dizi anten b) Açıklık dizi anten c) Mikroşerit dizi anten

1.2.2.5. Reflektör anten

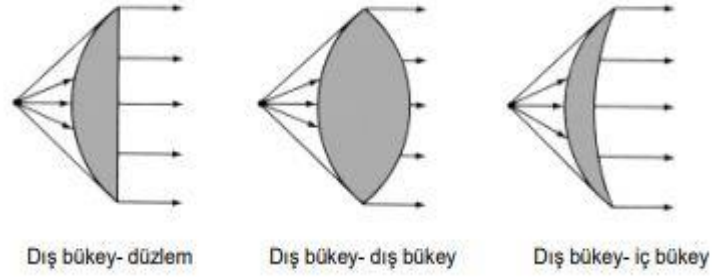
Uzak mesafelerle haberleşme ihtiyacı sebebiyle, özel formdaki antenler yüzlerce kilometrelik mesafelerde sinyal alma ve gönderme için kullanılır. Uzak mesafelerle haberleşme için kullanılan antenlerden biri de reflektör antenlerdir. Bu tip antenler metrelerce uzunlukta yarıçapa sahiptir. Bu büyük boyutlar antenin kilometrelerce uzağa sinyal alma ve gönderme yapabilmesi için gereklidir.



Şekil 1.6. a) Parabolik ön beslemeli b) Reflektör parabolik cassegrain

1.2.2.6. Lens anten

Lensler istenmeyen yönlerde yayılan enerjiyi bir noktada odaklama özelliğine sahiptir. Lens antenler reflektör antenlerin kullanıldığı uygulamalarda kullanılabilir. Lens antenler materyallerine ve geometrik şekillerine göre sınıflandırılır.



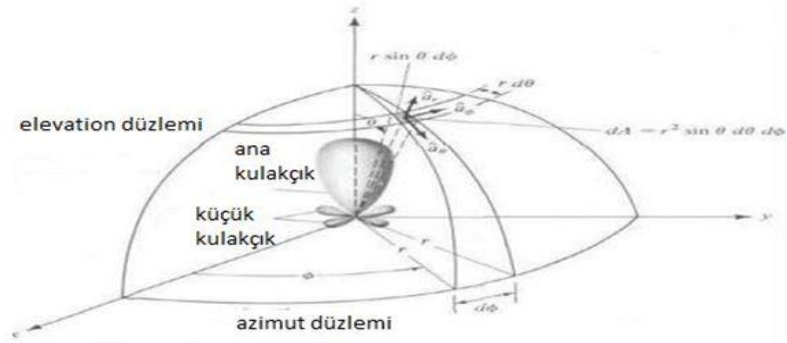
Şekil 1.7. Lens antenler

1.3. Temel Anten Parametreleri

Anten performansına dair fikir sahibi olabilmesi için bazı parametrelere ihtiyaç olacaktır. Bazı parametreler birbiriyle ilişkilidir ve anten performansının eksiksiz bir tanımı için hepsinin belirtilmesi gerekmez. Bu parametreler ışıma modeli, ışıma gücü, güç yoğunluğu, bant genişliği, yönlendiricilik, anten verimi ve kazançtır.

1.3.1. Işıma modeli

Işıma modeli, antenin ışıma özelliklerinin uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak matematiksel ya da geometrik gösterimi olarak tanımlanabilir. Çoğu durumda ışıma modeli uzak alanda belirlenir ve yönsel koordinatların bir fonksiyonu olarak gösterilir.

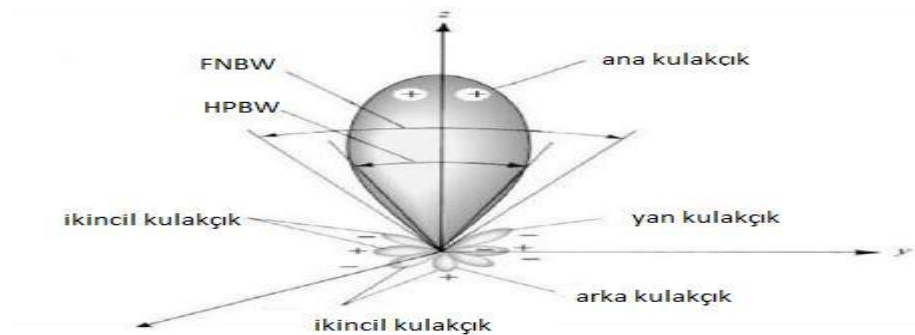


Şekil 1.8. Anten analizi için koordinat düzlemi

Ana kulakçıkta maksimum ışıma yapılır, küçük kulakçıklar ışımanın yapıldığı diğer yönlerdir.

1.3.1.1. Model çeşitleri

- İzotropik Pattern; teorik olarak kayıpsız sayılan antenin bütün yönlerde eşit olarak yaptığı pattern çeşididir.
- Directional Pattern; elektromanyetik dalgaların belirli yönlerde verimli olarak ışıma ve alma işlemi gerçekleştirdiği patterndir.
- Omnidirectional Pattern; verilen bir düzlemde nondirectional modele sahip ve herhangi bir ortogonal düzlemde directional patterne sahip olan modeldir. Yani directional patternin özel bir tipidir.



Şekil 1.9. Işıma örüntüsü gösterimi

Şekil 1.9'da ışıma örüntüsü gösterilmiştir,

HPBW (half power beamwidth) = Gücün yarıya düştüğü yer

FNBW (first null beamwidth) = Anten radyasyon modeli üzerinde ölçülür. Ana anten huzmesinin ya da radyasyon paterninin her iki tarafında ilk boşluğun açısal genişliğidir.

1.3.1.2. Alan bölgeleri

Anten çevre uzayı 3 bölgeye ayrılır. Bunlar reaktif yakın alan, ışıma yakın alanı (Fresnel), uzak alan (Fraunhofer)'dır.

- Reaktif Yakın Alan (Reaktif Near Field); reaktif alanın hakim olduğu antenin çevresindeki yakın alan bölgesidir.

Bu alanda anten yüksek reaktif dalga empedansı ve anten yakınında yayılmayıp depolanan yüksek enerjiye sahiptir.

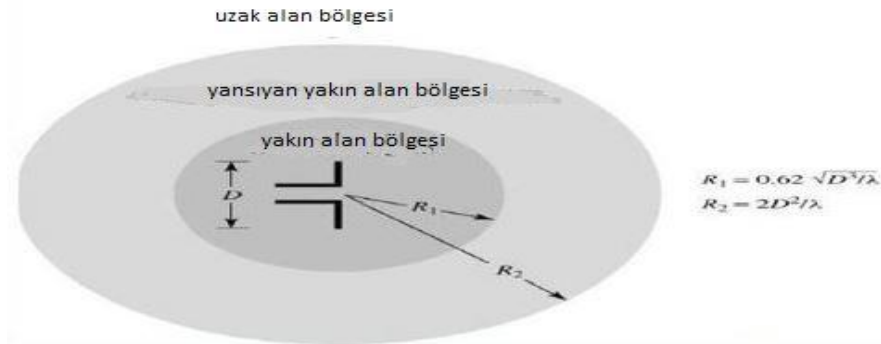
- Işıyan Yakın Alan (Radiating Near Field); reaktif alan ile uzak alan arasında kalan alandır.

Özellikleri;

-Alan faz eksenindedir.

-Pattern uzaklıkla değişir.

-Yakın alan ölçümlerinin yapıldığı bölgedir.



Şekil 1.10. Anten alanları (Balanis, 2005)

- Uzak Alan (Far Field); bir antenin mesafeden bağımsız açısal alan dağılımı bölgesidir.

Özellikleri;

- Alan küresel olarak ifade edilir, bu nedenle model ideal olarak mesafe göre değişmez.
- Elektrik ve manyetik alanlar faz eksenindedir.
- Dalga empedansı reel ifadedir.
- Güç genellikle reeldir.

1.3.2. Işıma yoğunluğu

Işıma yoğunluğu verilen bir yönde bir antenden birim katı açı başına yayılan güç olarak tanımlanabilir. Işıma yoğunluğu bir uzak alan parametresidir ve uzaklığın karesinin güç yoğunluğu ile çarpımı olarak ifade edilir.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (1-20)$$

Bir izotropik kaynak için U yani radiation intensity σ ve ϕ açılarından bağımsızdır. Bu nedenle şu denklem yazılabilir.

$$U = \frac{P_{rad}}{4\pi} \quad (1-21)$$

1.3.3. Yönlendiricilik

Yönlendiricilik, verilen bir yöndeki ışıma yoğunluğunun bütün yönlerdeki ışıma yoğunluğuna oranı olarak tarif edilir. Genel olarak, bir antenin ışıma karakteristiklerinin analizinde aşağıda verilmiş olan üç adım izlenmektedir.

1. Anten üzerindeki bilinen veya kabul edilen J akım dağılımından manyetik vektör potansiyeli A belirlenir. Harmonik zaman bağımlılığı için, gecikmiş fazör vektör potansiyeli ,

$A = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{J e^{-jkR}}{R} dv$ ile verilir. Burada $k = w\sqrt{\mu\epsilon} = 2\pi/\lambda$ dalga numarasıdır.

2. A'dan manyetik alan şiddeti H bulunur.

$$H = \frac{1}{\mu} \nabla \times A \quad (1-22)$$

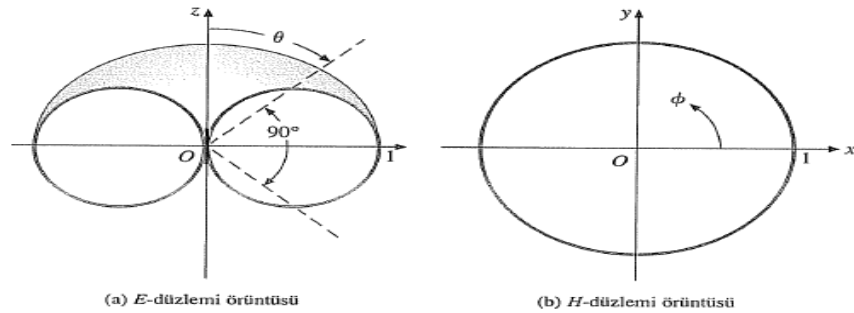
3. H'dan elektrik alan şiddeti E bulunur. Uzayda $J=0$ olarak bakılır.

$$E = \frac{1}{jw\epsilon} \nabla \times H \quad (1-23)$$

E ve H bilindikten sonra antenin diğer bütün yayılma karakteristikleri belirlenebilir

1.3.3.2. Anten örüntüleri ve yönlülük

Uzayda, her yönde düzgün bir şekilde yayılım gösteren fiziksel bir anten yoktur. Bir antenden sabit bir mesafede, yöne göre karşı göreceli uzak alan şiddetini gösteren grafik, antenin ışıma örüntüsüdür. Bir antenin ışıma örüntüsü genellikle üç boyutludur, küresel koordinatlarda hem θ hem ϕ ile değişim verir. Üç boyutlu çizimin zorluklarından kaçınmak için anten örüntüsü sabit bir ϕ düzleminde normlanmış (tepe değerine göre) alan şiddetinin genliğinin θ 'ya göre değişimi (E-düzlemi örüntüsü) ve $\theta = \frac{\pi}{2}$ için normlanmış alan şiddetinin ϕ 'ye göre değişimi (H-düzlemi örüntüsü) olarak ayrı verilir.



Şekil 1.11. Bir hertz dipolün ışıma örüntüleri (Cheng, 2009)

Antenin belirli bir yöndeki güç ölçümünün yönünü göstermek için kullanılan genel parametre yönlü kazançtır, ışıma şiddeti olarak ifade edilebilir. Işıma şiddeti, katı açı başına düşen zamanda - ortalama güçtür. Işıma şiddetinin SI birimi steradyan başına düşen watt (W/sr) dır. Her birim katı açı için küre yüzey alanı R^2 olduğuna göre, ışıma şiddeti U , R^2 kere zamanda –ortalama Poyting vektör ($\mathcal{P}_{av}$)‘ye eşittir:

$$U = R^2 \cdot \mathcal{P}_{av} \quad (\text{W/sr}) \quad (1-24)$$

Toplam zamanda – ortalama yayılan güç ise

$$P_r = \oint \mathcal{P}_{av} \cdot ds = \oint U \cdot d\Omega \quad (\text{W}) \quad (1-25)$$

‘dır ve burada $d\Omega$ diferansiyel katı açısı , $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$ olarak yazılabilir.

Bir antenin yönlü kazancı $G_D(\theta, \phi)$, (θ, ϕ) yönündeki ışıma şiddetinin ortalama ışıma şiddetine oranıdır ve aşağıdaki gibi yazılır :

$$G_D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{P_r / 4\Omega} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{\oint U d\Omega} \quad (1-26)$$

Yönbağımsız veya tüm yönlü (bütün yönlerle eşit ışıyan anten) antenin yönlü kazancının bire eşit olduğu bilinmektedir. Yönbağımsız anten pratikte yoktur. Antenin en yüksek kazancı, antenin yönlülüğünü gösterir. Yönlülük, en yüksek ışıma şiddetinin ortalama ışıma şiddetine oranıdır ve genellikle D ile ifade edilir:

$$D = \frac{U_{max}}{U_{av}} = \frac{4\pi U_{max}}{P_r} \quad (\text{birimsiz}) \quad (1-27)$$

Elektrik alan şiddeti cinsinden ise D aşağıdaki gibi yazılır.

$$D = \frac{4\pi |E_{max}|^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi |E(\theta, \phi)|^2 \sin\theta d\theta d\phi} \quad (\text{birimsiz}) \quad (1-28)$$

Yönlülük desibel cinsinden ifade edilir.

Güç kazancı anten verimliliğinin kriterlerlerindendir. Bir antenin güç kazancı veya kısaca kazancı G_p , bir izotropik kaynağa göre verilir ve en yüksek ışıma şiddetinin, aynı giriş gücüne sahip kayıpsız ve izotropik bir kaynağın ışıma şiddetine oranıdır.

Eşitlik (1-24)'de tanımlanan yönlü kazanç, ışıyan güç (P_r) bazlıdır. Antenin kendi üzerinde ve toprağı da içeren yakınındaki kayıplı yapılar nedeniyle oluşan ohmik güç kaybı (P_i) daha azdır.

$$P_i = P_r + P_l \quad (1-29)$$

Bir antenin güç kazancı bu durumda

$$G_p = \frac{4\pi U_{max}}{P_i} \quad (\text{birimsiz}) \quad (1-30)$$

olacaktır. Bir antenin kazancının, yönlülüğüne oranı ise ışıma verimidir ve ζ_r ile gösterilir:

$$\zeta_r = \frac{G_p}{D} = \frac{P_r}{P_i} \quad (\text{birimsiz}) \quad (1-31)$$

Bir antenden ışıyan gücün miktarının bir parametresi ışıma direncidir. Bir antenin ışıma direnci, ışıyan güç (P_r)'ye eşit miktarda güç harcayan bir izdüşüm dirençtir. Bu dirençten gelen akım antenden geçen akımın en yüksek değeridir. Yüksek ışıma direnci bir anten için arzu edilen özelliklerdendir.

D =Yönlendiricilik

D_{max} =Maksimum yönlendiricilik

U_{max} =Maksimum ışıma güç yoğunluğu

P_{rad} =Toplam ışıyan güç

1.3.4. Kazanç

Bir diğer anten performansını gösteren parametre ise kazançtır. Anten kazancı yönlendiricilik ile ilişkili olmasına rağmen anten kazancı anten veriminin de hesaba katılarak yapıldığı bir ölçümdür. Yönlendiricilik antenin sadece directional özelliklerini belirten bir ölçümdür. Antenin mutlak kazancı; ışıma yoğunluğunun anten tarafından alınan toplam güce oranı olarak tanımlanabilir.

Denklem (1-30)'da formülize edilmiştir;

$$\text{Kazanç} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (1-32)$$

Göreceli kazanç ise verilen bir doğrultudaki anten güç kazancının referans bir doğrultudaki referans antenin güç kazancına oranı olarak nitelendirilir. Her iki anteninde giriş gücü aynı olmalıdır. Referans anten genellikle dipol, horn ya da kazancı bilinen veya hesaplanabilinen antenler seçilir.

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{kaynak izotropi kaynak})} \quad (1-33)$$

Yönlülük ile kazanç arasındaki ilişki;

$$G(\theta, \phi) = e \cdot D(\theta, \phi) \quad (1-34)$$

olarak ifade edilir.

1.3.5. Anten verimliliği

Toplam anten verimliliği giriş terminallerindeki kayıpları hesaba katmak için kullanılır. Bu kayıplar aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı ortaya çıkmaktadır.

- 1) Anten ile iletim hattı arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan yansımalar
- 2) I^2R kayıpları

Tüm verimlilik şu şekilde ifade edilir;

$$e_o = e_r \cdot e_c \cdot e_d$$

e_o = toplam verimlilik

e_r = yansıma verimliliği

e_c = iletim verimliliği

e_d = dielektirik verimliliği

Genellikle e_c ve e_d bir bütün olarak ele alınır ve anten ışıma verimliliği olarak isimlendirilir.

$$e_{cd} = e_c e_d$$

$$e_o = e_r e_{cd}$$

1.3.6. Yarı güç ışıma genişliği

Bir ışının maksimum yönde bulunduğu düzlemde ışının ışıma yoğunluğunun maksimum olduğu noktadaki değerinin yarısına eşit olduğu iki doğrultu arasındaki açıdır. Bir antenin ışıma genişliği onunla yan loblar arasında seçim yapılmasını sağlamada kullanılır.

1.3.7. Bant genişliği

Bant genişliği bazı antenlerin karakteristiklerine bağlı olarak iyi bir performans sergilediği frekans aralığı olarak tanımlanabilir. Merkez frekansındaki geri dönüş kaybının 20 dB seviye düştüğü frekans değerleri arasındaki fark bant genişliği olarak seçilebilir.

1.3.8. Polarizasyon

Bir anten polarizasyonu verilen bir doğrultuda anten tarafından gönderilen dalga polarizasyonu olarak tanımlanır. Işıyan dalganın polarizasyonu, zaman ekseninde

tanımlanan bir elektromanyetik dalganın ve elektrik alan vektörünün göreceli büyüklüğünün bir özelliğidir. Polarizasyon üç şekilde sınıflandırılabilir; Lineer, dairesel ve eliptik.

1.3.8.1. Liner polarizasyon

Eğer elektrik alan ya da manyetik alan vektörü her anı zaman diliminde o noktada aynı doğrultuda yönlendirilmişse, zaman harmonik dalga uzayda liner olarak polarize edilmiş durumdadır.

1.3.9. Polarizasyon kayıp faktörü ve verimliliği

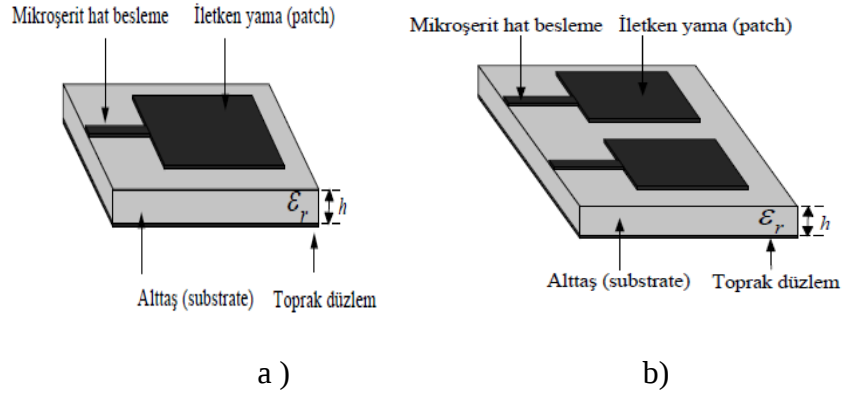
Genellikle alıcı anten polarizasyonu gelen dalga polarizasyonu ile aynı olmayacaktır. Bu polarizasyon uyumsuzluğu denir. Polarizasyon kaybı nedeniyle alıcı antende gelen sinyalin maksimum genliğe ulaşması zordur. Polarizasyon kaybı polarizasyon kayıp faktörü olarak isimlendirilen PLF faktörü tarafından hesaplanır. Anten verici modda iken anten polarizasyonuna dayanarak polarizasyon kayıp faktörü PLF hesaplanır.

$$PLF=|p_w \cdot p_a|^2 \quad (1-35)$$

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İlk olarak mikroşerit antenlerin kavramı Deschamps (Deschamps, 1953) tarafından 1953 yılında öneri olarak ortaya çıkmıştır. 1955 yılında ise Fransada Gutton ve Bassinot (Gutton ve Baissinot, 1995) adına patenti alınmıştır. Yaklaşık yirmi yıl kadar bir süre geçtikten sonra, ilk pratik mikroşerit anteni 1970 senesinde Munson (Munson, 1973) ve Howell (Howell, 1975) tarafından üretilmiştir. İlk olarak Howell mikroşerit anten tasarımını yaparken, Munson düşük profil mikroşerit antenini roketlere ve füzelere monte etmek için çalışmıştır. Bu çalışmaların yanı sıra mikroşerit antenlerin gelişmesindeki araştırma yayınları Bahl ile Bhartia (Bahl ve Bahartia, 2001) ve James, Hall ile Wood (James, 1981) tarafından yapılmıştır. Aynı şekilde mikroşerit antenler ile ilgili araştırmalar Dubost tarafından da yürütülmüştür. Ekim 1979 yılında, ilk Uluslararası toplantı mikroşerit antenlerin malzemesi, pratik tasarımları, düzen konfigürasyonları ve teorik modelleri hakkında New Mexico State Üniversitesinde ABD Askeri Araştırma Ofisi ve New Mexico State University's Physical Science Laboratory sponsorluğunda düzenlenmiştir. 1980 yılları sadece önemli araştırma yayımlarıyla olmamakla birlikte aynı zamanda pratikte mikroşerit antenlerin gerçekleştirilmesinin ve fabrikasyonunun da yapıtaşı olmuştur (Anonim, 1979).

Şekil 2.1.a'da geleneksel bir dikdörtgen mikroşerit anten yapısı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, mikroşerit antenler, iletken yamanın toprak düzlemi üzerindeki bir dielektrik malzeme üzerine yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Işıyan iletken yamanın beslenmesinde; mikroşerit hat, koaksiyel veya kuplaj gibi yöntemler kullanılmaktadır (Kumar ve Ray, 2003; Wong, 2002). Mikroşerit antenler aynı zamanda düşük kazanç, düşük güçte çalışma ve dar bant genişliği gibi dezavantajlara da sahiptir. Mikroşerit antenler, rezonans frekansı ve bant genişliği gibi performans parametrelerine bağlı olarak çeşitli geometrilerde tasarlanmaktadır. Anten tasarımında kullanılan başlıca yöntemler; iletken yama veya toprak düzleminde boşluk açma, kısa devre pin veya kısa devre duvar ve yama bükme metotlarıdır (Wong, 2002). Bu yöntemler kullanılarak, anten boyutları küçültülmekle beraber istenilen çalışma frekansı ve bant genişliği elde edilebilir.



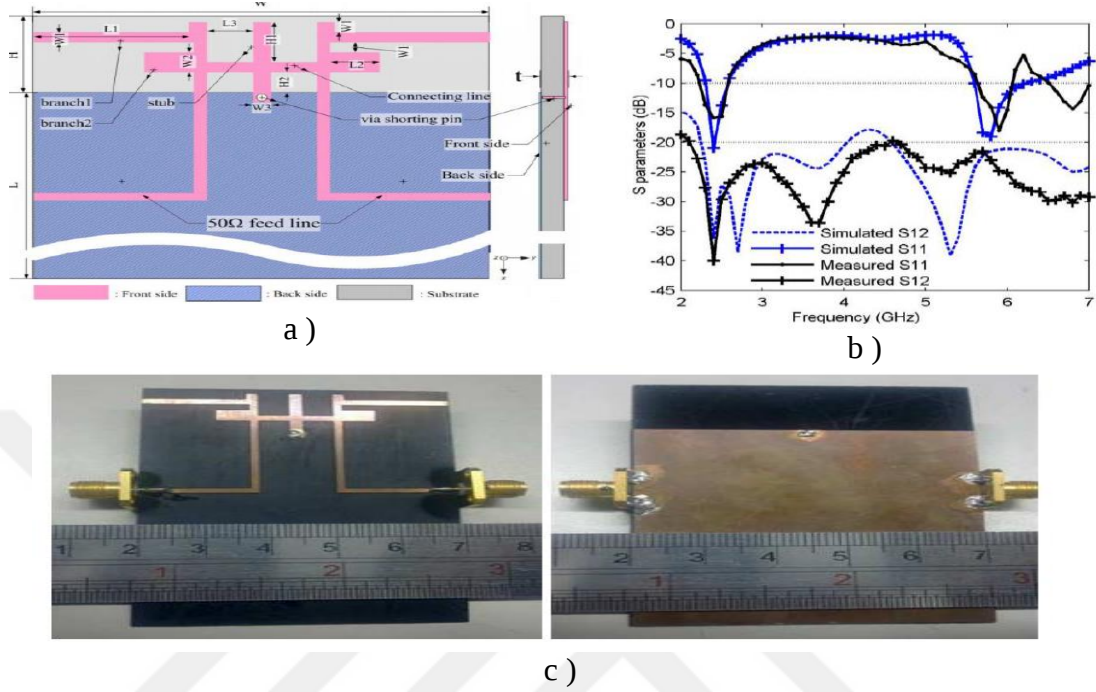
Şekil 2.1. a) Mikroşerit patch anten b) MIMO mikroşerit anten

Şekil 2.1.b’de gösterildiği gibi MIMO antenler; karşılıklı iletim (alış–veriş) yapabilen; ayrı besleme girişlerine sahip birden fazla anten elemanının aynı altaş üzerinde birbirinden yalıtılmış olarak çalışan, yüksek spektral verim sağlayan antenlerdir (Hanzo vd., 2011; Kaise ve Zheng; 2010; Balanis, 2007). Kablosuz iletişimde genellikle, baz istasyonu antenleri ile gezgin terminaller çeşitli yapılar sebebiyle direk olarak birbirlerini görememektedir. Bu nedenle, alıcıya ulaşan sinyal, gönderilen sinyalin çeşitli yapılardan saçılmış ve her biri farklı zayıflamaya uğramış kopyalarını içermektedir. MIMO sistemi; çoklu anten kullanımı sayesinde, çoklu iletim kanalı üzerinden yüksek spektral verim sağlamasına ilave olarak çeşitlemeye imkân vermektedir.

AMC tek frekansta bir mükemmel elektrik iletken (PEC)’e göre 0 derece yansıma fazına sahip bir yüksek empedans yüzeydir. Basılı antenler bir sıfır derece yansıma aşaması görelî bir frekansta mükemmel elektrik iletken (PEC) için bir yüksek empedans yüzeydir. Basılan antenler $\lambda/50$ kadar ince olan bu düşük profilli yüzeyi kullanarak üretilebilirler. AMC’ler anten yapmak için genişlik olarak keskin bir şekilde kısaltıldığında, anten rezonans frekansı AMC rezonansından çok daha yüksek olabilir (sıfır derece yansıma fazı frekansı) (Sievenpiper, 1999).

(Ling ve Li, 2011) tarafından sunulan çalışmada, taşınabilir kablosuz cihazlar için çift bantlı bir MIMO anten sunulmuştur. Anten geometrisi, prototipi ve S-parametreleri şekilde verilmiştir. Anten dizisi 2.45 GHz ve 5.8 GHz bantlarını kapsamaktadır. MIMO anten dizisi, aralarında $0.096 \lambda_0$ (havada 2.4 GHz için) mesafe olan sırt sırta

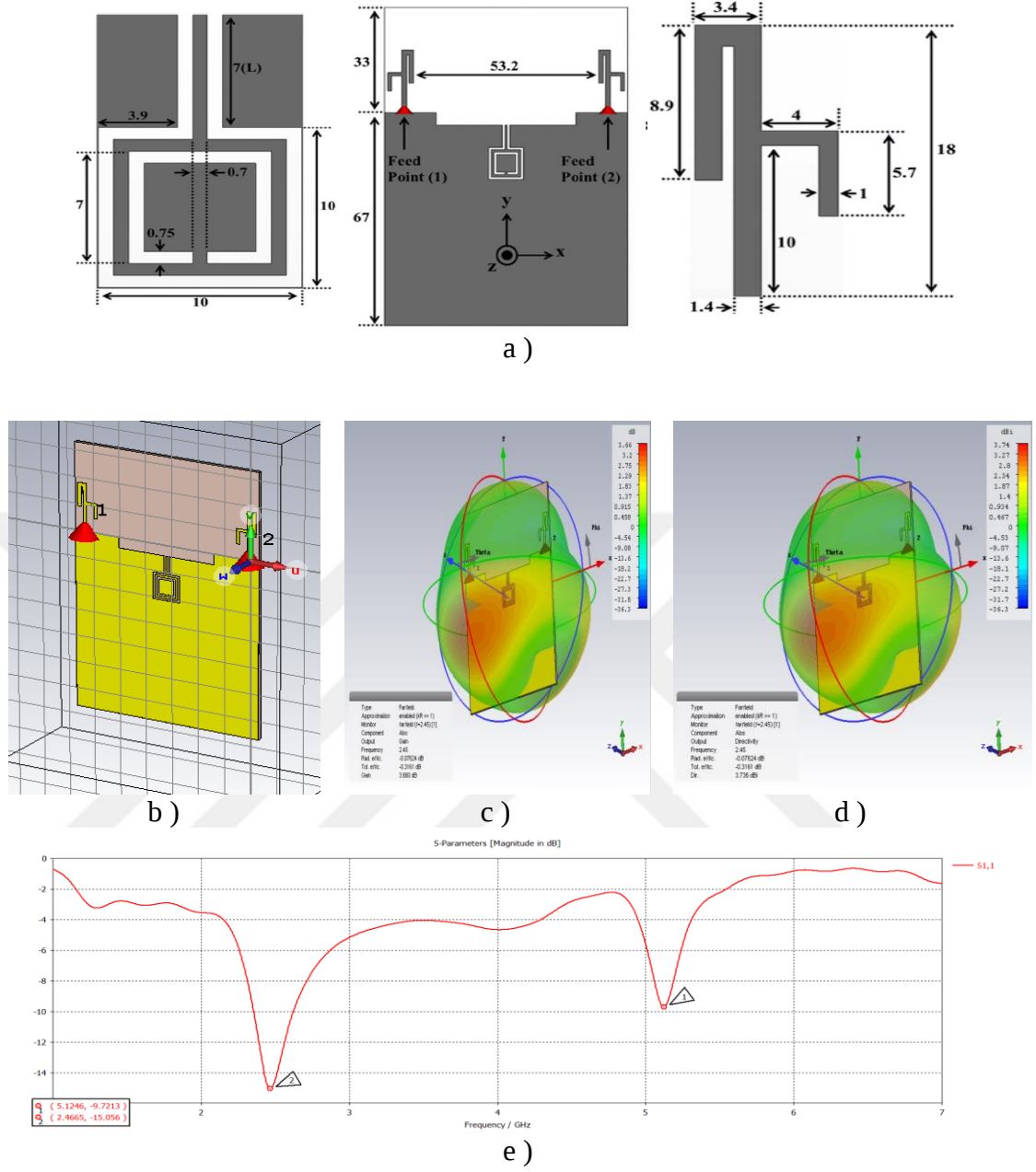
yerleştirilmiş iki monopol elemandan oluşmaktadır. Anten elemanları arasındaki ortak etkileşimi azaltmak için kısa devre pin ve izolasyon şeridi kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Dual band MIMO anten a) Anten geometrisi b) S-parametreleri c) Anten prototipi (Ling ve Li, 2011)

Yang vd., tarafından 2014 yılında, 2450 MHz ve 5200 MHz frekanslarında çalışan bir MIMO TFA anten önermiştir. Şekil 2.3’de gösterilen antenin yapısı, simetrik olarak yerleştirilmiş boyutları 7,4 x 18 mm² olan eş iki kolun birleşmesi ile oluşmuş, antenin izolasyonu artırmak için iki eleman ortasında, 10 x 17 mm² boyutlarında iç içe geçmiş dikdörtgen halka şeklinli ince iki boşluk açılmıştır. Anten elemanları arasında en az 15 dB’lik bir ortak etkileşim seviyesi bulunmaktadır.

Şekil 2.3’de antenin “CST Microwave Studio” üç boyutlu simülasyon programı ile tasarlanan ölçüleri gösterilmiştir. Tasarlanan MIMO antenin yalıtkan malzemesi Rogers 4003’dir ve $\epsilon_r = 3.55$, boyutları 70x90 mm²’lik metal olmayan alt katmandan tasarlanmıştır.

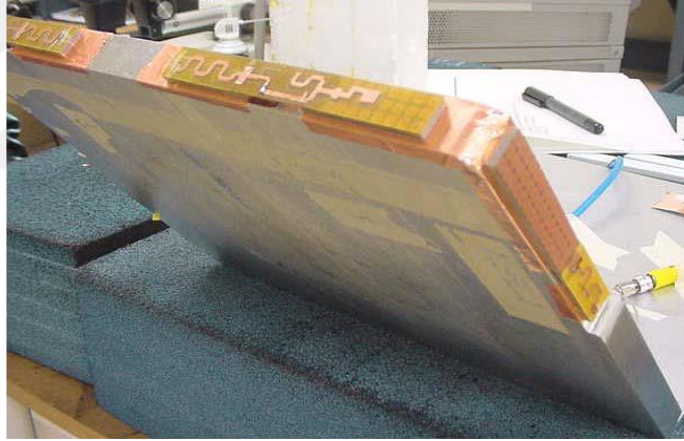


Şekil 2.3. İki kollu MIMO TFA geometrisi a) genel görünüm b) Dual-band MIMO monopul anten CST Çizimi c) Kazanç d) Yönlülük e) S_{11} (Yang vd., 2014)

Şekil 2.3.c’de de görüldüğü gibi çift slotlu mikrodalga koaksiyel anten 2.45 GHz’de simüle edilmiş, kazanç değeri 3.660 dBi; Şekil 2.3’de yönlülük değeri 3.736 dBi olarak elde edilmiştir; Şekil 2.3.e’de S_{11} parametresinin 2.45 GHz için -15.056 dB, 5.12 GHz için -9.721 dB’e ulaşıldığı görülmektedir.

Rogers vd., 2003 yılında yaptığı çalışmaya göre en son teknolojiye sahip laptoplar kablosuz haberleşmede (2.4-2.48 GHz) anten ve radyo standardı olan 801.11b ile üretilirler. 802.11b'ye ek olarak, gelecek nesil laptoplar kablosuz iletişim protokolü 802.11a (5.15-5.35 GHz) ya sahip olacak şekilde donatılacaktır. 802.11 mobil antenler sıklıkla baz istasyonunun yeri bilinmediğinden, verimli olmalı ve en iyi şekilde her yöne yayını sağlamalıdır.

802.11 antenlerini ekranın üzerine montajı için iki farklı avantaj vardır. (1) Bu laptop' ın üzerinde en yüksek yer olduğundan mükemmel kapsama ve (2) antenler kullanıcının elleri ve vücudundan uzakta olduğundan daha az zayıflamasıdır. Aynı zamanda metal kabın dışına monte edilmiş antenler daha iyi izole edilmiş ve bilgisayar elektroniğinden kaynaklanacak gürültü ve elektromanyetik girişimden daha iyi korunmuştur. Bu durumda radyo, yayılım için daha az duyarlıdır (Rogers vd., 2003).



Şekil 2.4. 802.11a/b AMC için alüminyumdan yapılan temsili laptopa yerleştirilmiş AMC anten için örnek gösterim (Rogers vd., 2003)

Abbasi ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada yapay manyetik iletkeni (AMC) üzerinde geniş bantlı bir monopolden oluşan düşük profilli bir anten sunulmuştur. AMC, 2.0 GHz ve 5.8 GHz aralığındaki yansıma fazı ile 3,2 mm kalınlığında FR-4 substrat üzerinde üretilen çift bantlı bir yapıdır. Geniş bant baskılı dairesel diskli monopole anten, bu çift bantlı AMC'yi bir zemin düzlemi olarak kullanır ve bu da 7.8 mm yüksekliğindeki düşük profilli çok bantlı anten sistemi ile sonuçlanır. AMC, anten için bir zemin düzlemi olarak kullanıldığında, kazancın arttığı gözlenmiştir.



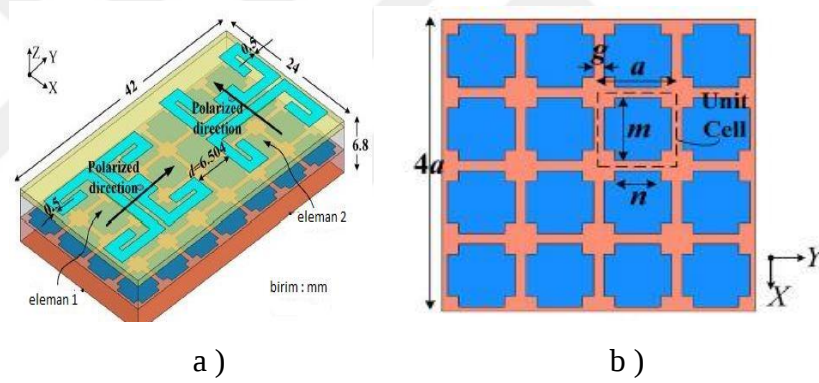
Şekil 2.5. AMC üzerinde fabrikasyon anten (Abbasi, 2010)

Agrawal ve arkadaşlarının 2017 yılında yaptığı çalışmada, GSM 1800/1900, WCDMA, Wi-Fi, kablosuz LAN, LTE gibi çok sayıda kablosuz iletişim teknolojisi için kullanılabilen çok bantlı bir MIMO anteni sunulmaktadır. L şeridine sahip düşük profilli meander hattı anteni, bir yayın elemanı olarak kullanılmıştır. Çok bantlı bir işlem elde etmek için, bu antenin zemin düzleminde iki düzlemsel U yuvası açılmış, zemin düzlemindeki genel akım dağılımı değiştirilmiş ve % 69'a kadar minyatürleşme rapor edilmiştir. MIMO'nun iki yayıcı elemanı arasındaki yalıtımı arttırmak için, yüzey dalgalarının yayılmasını önleyen iki eleman arasındaki zemin düzleminde bir çizgi yuvası kazınmış ve böylece -57 dB kadar yüksek bir izolasyon elde edilmiştir. Kazanç, 2.4 GHz'de maksimum kazanç ile tüm rezonans frekansları için 4,47 dBi ila 8,35 dBi arasında değişmektedir. Anten prototipi üretilmiştir ve ölçülen sonuçlar simülasyon sonuçlarıyla iyi bir uyum içinde çıkmıştır. Ayrıca, sunulan anten çok kompakt, düşük maliyetli, uyumludur ve çalışma frekansı bantları üzerinde çok iyi özellikler gösteren çok basit bir tasarıma sahiptir.



Şekil 2.6. Sunulan antenin fabrikasyonu a) Ön yüzey b) Arka yüzey (Agrawal, 2017)

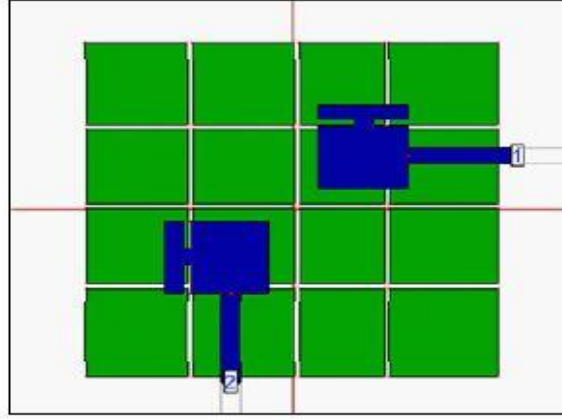
2015 yılında Li vd., genişbant kapalı baz istasyonu anteni yapay manyetik iletkeni (AMC) yüklü (5.275 GHz WLAN ve 5.5 GHz WIMAX'da çalışan) MIMO sistemi için önermişlerdir. MIMO sistemi 16 elemanlıdır. Tek yönlü radyasyon ve düşük profilli elde etmek için periyodik AMC yüzeyleri dipol elemanlarının altına yerleştirilir. Ayrıca anten minyatürizasyonuna ve bant genişliğinin artmasına da katkıda bulunurlar. MIMO sistemi, tümü kompakt bir hacimde geniş bant genişliği, iyi izolasyon, gelişmiş radyasyon ve düşük korelasyon avantajlarına sahiptir. MIMO dizisini üretip, test etmişlerdir. Sonuçlar, simülasyonlar ile iyi bir uyum içinde çıkmıştır. Geliştirilmiş ön radyasyon paterni ve kısıtlanmış arka lob ve elemanların altında AMC yüzeyinin tanıtılmasıyla elde edilmiştir. AMC yüzeyi ayrıca anten minyatürizasyonu, bant genişlemesi ve düşük profildeki önemli bir rol oynamaktadır. MIMO dizilerinin simülasyon ve ölçüm sonuçları, WLAN/WIMAX standartlarının memnuniyetini sağlamak için iyi izolasyon ve düşük korelasyon elde edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 2.7. İç mekan erişim noktası için önerilen AMC yüzeyi ile yüklenen düzlemsel dipol anten a) Perspektif görünüşü b) 4*4 periyodik AMC yüzeyinin geometrisi (Li vd., 2015)

Shikha vd., (2015) çalışmalarında kompakt bir MIMO anteni önerilmişler ve UWB (ultra-wideband) uygulamaları için bu çalışmada iki açık L-şekilli slot elemanı sunmuşlardır. İki L şeklinde slot anten elemanını birbirine dik yerleştirerek yüksek izolasyon elde etmişlerdir. Önerilen MIMO anteni, 32 * 32 mm boyutlarında kompakt bir yapıya sahiptir ve anten parametreleri ölçülmüştür.

Daha sonra AMC yapısı da anten ile kullanılmıştır. AMC yapısı kullanılarak antenin performansı arttırılabilmektedir. Amaç, taşınabilir UWB uygulamaları için uygun olan, kompakt baskılı MIMO antenini AMC yapısı ile tasarlamaktır.

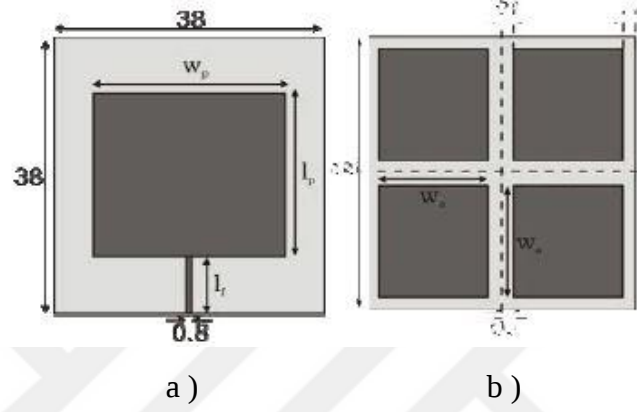


Şekil 2.8. AMC'li anten tasarımı (Shikha vd., 2015)

Rahmadani vd., 2011 yılında yapmış oldukları çalışma mikroşerit yama anten minyatürizasyonu için alternatif bir teknik ile ilgilidir. Teknik, zemin düzlemini değiştiren alt tabaka olarak kullanılan bir AMC yapısına sahip 2 katlı bir yapı kullanır. Önerilen anten, kablosuz yerel alan ağı (WLAN) uygulaması için uygun bir 2.45 MHz rezonans frekansına sahip olacak şekilde tasarlanmış ve bir FR-4 substrat üzerine yerleştirilmiştir. Optimum tasarımı elde etmek için, 3D simülasyon yazılımı kullanılarak sayısal analiz gerçekleştirilir.

Mikroşerit antenin iki katmanlı AMC yüklü alt-üstünün üstündeki karakterizasyonu sayısal olarak araştırılmıştır. Önerilen antenin 12.8 dB geri dönüş kaybı ve 1.53 dB kazanç ile 2.45 GHz rezonans frekansında çalıştığı gösterilmiştir. Önerilen antenin iyi bir bant genişliği vardır. Bu sayede 100 MHz IEEE 802.11 b/g/n uygulama standartlarına uymak için yeterlidir. Bir AMC yapısının eklenmesi, anten yamasının minyatürleştirilmesinin % 31'den fazla sonuçlandığını göstermiştir. AMC yapısının değişen birkaç anahtar parametresinin etkileri de araştırılmaktadır.

Daha büyük AMC yamaları kullanılması yanı sıra, en uzaktaki yamaların alt tabaka merkezinden uzağa yerleştirilmesinin daha düşük rezonans frekansı ile sonuçlanacağı, dolayısıyla daha büyük bir yama minyatür oranının ortaya çıktığı gözlenmiştir. Uygun bir şekilde eşleşmeyen bir besleme empedansı nedeniyle geri dönüş kayıp değerlerinin oldukça sığ olduğu gözlenmektedir ve çeyrek dalga boylu bir transformatörün dahil edilmesiyle geliştirilebilir.



Şekil 2.9. Tasarlanan anten a) Yama yapısı b) AMC yapısı (Rahmadani vd., 2011)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Anten tasarımıda kullanılan simülasyon programı ve malzeme

Dual bantlı mikroşerit yama anteninin tasarımı için öncelikle kullanılacak malzeme türü, anten geometrisi, boyutları, çalışma frekansları gibi özellikler belirlenmiştir. Kitaplar, makaleler ve tezler bu çalışmanın ana referans kaynaklarını oluşturmaktadır.

Bu özelliklere karar verildikten sonra CST Microwave Studio simülasyon programı kullanılarak anten tasarımı yapılmıştır. Simülasyon yapılırken, anten parametreleri olan ışıma örüntüsü, bant genişliği, kazanç ve geri dönüş kaybına dikkat edilmiştir. Bu parametrelerde istenilen değerlere ulaşmaya kadar simülasyonlar tekrarlanarak, optimize edilmiştir. Hedeflenen değerler elde edildiğinde antenin baskı devresi gerçekleşmiştir. Mikroşerit anten için kullanılan malzeme FR4'dür. Çizelge 3.1'de FR4 malzemenin özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. FR4 malzemenin özellikleri

Malzeme	Dielektrik sabiti	Kayıp tanjant	Dielektrik kalınlığı	Bakır kalınlığı
FR4	4.6	0,0035	1,6 mm	1µm

Bu çalışma için mikroşerit dual bandda çalışan iki farklı geometride antenler tasarlanmıştır. CST (Computer Simulation Technology) Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi anlamına gelmektedir. CST programı elektromanyetik tasarım ve analiz için doğru bir şekilde verimli hesaplama çözümleri sunar. Üç boyutlu elektromanyetik simülasyon yazılımı kullanıcı dostudur ve çok çeşitli frekanslarda çalışan cihazların tasarımı ve optimizasyonu için en uygun yöntemi seçmenizi sağlamaktadır.

CST MWS, antenler, filtreler, kuplörler, düzlemsel ve çok katmanlı yapılar gibi yüksek frekanslı (HF) aygıtların hızlı ve doğru analizini mümkün kılmaktadır. Son derece kullanıcı dostu olan CST MWS, hızlı bir şekilde yüksek frekanslı tasarımlarınızın elektromanyetik davranışları hakkında bir fikir verir.

3.1.2. Yapay manyetik iletken

Yapay manyetik iletken (AMC), belirlenmiş bir frekans bandı için manyetik iletken yüzeyli, elektromanyetik bant boşluğu malzemesi veya suni olarak tasarlanmış malzeme türüdür. AMC yüksek empedans yüzeyi olarak da bilinir; son yıllarda önemli derecede ilgi görmektedir. Yüksek empedans özelliği ve belirli bir frekans aralığı içinde faz yansıması AMC yüzeylerini benzersiz hale getirir. Bu gibi yüzeyler, bir antenin bant genişliğini ve radyasyon performansını arttırmak ve boyutunu azaltmak için kullanılabilir.

AMC hem yüzey dalgalarının bastırılmasından hem de olağandışı yansıma evresinden yararlanır. Bu, genellikle yüzey dalgalarının etkilerinden etkilenen yama antenleri de dahil çeşitli anten tasarımlarına uygulanabilir. AMC yüzeyleri, teğetsel manyetik alanın yüzey boyunca geniş bir elektrik alanı olsa bile küçük olduğu belirli bir sınırlı frekans aralığında çok yüksek yüzey empedansına sahiptir. AMC yüzeyi, düşük profilli tel antenler için yeni bir toprak düzlemi işlevi görebilir ve bu da birçok kablosuz iletişimde istenilen bir durumdur.

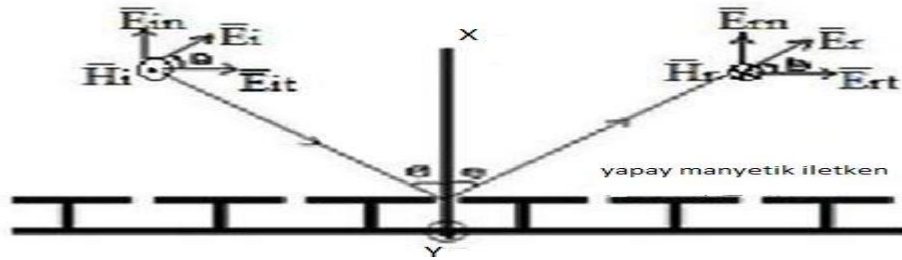
AMC yapısının karakteristikleri;

- Antende kullanılan AMC yapısı anten kazancını artırır.
- Yönlülüğü geliştirir
- Band genişliğini artırır.

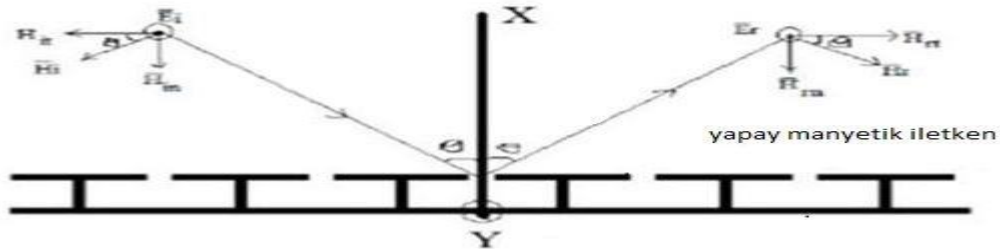
Elektromanyetik bakış açısına göre bir yapay manyetik iletken ile (AMC), mükemmel elektrik iletkeni (PEC) benzer ikilidir. Tasarım ve analiz amacıyla, AMC durum (ideal bir kayıpsız durumda) büyüklüğü 1 ve 0°'lik bir faz ile bir yansıma katsayısı ile gösterilir.

AMC düzlemindeki yansıma fazı frekansla ilişkili olarak -180° ile 180° arasında değişir ve rezonans frekansında sıfırdır. Bir AMC'nin yüzey empedansı, AMC performansının bant genişliğinde çok yüksek olduğu için, aynı zamanda yüksek empedans yüzeyleri olarak da bilinir.

Böylece, anten boyutunu küçültmenin bir yolu olarak, yüksek empedanslı yüzey yapısı doğada var olmayan mükemmel manyetik iletken (PMC) gibi davranır. Yapısı yapay olarak tasarlandığından yapay olarak manyetik iletken olarak adlandırılır. AMC veya PMC durumu, yansıma katsayısının büyüklüğünün 1 olduğu ve fazının 0° olduğu frekans veya frekanslarla karakterize edilir. Yüzey empedansı (Z_s) yüksektir ve faz tersine çevirmeden harici elektromanyetik dalgaları yansıtır. AMC ayrıca bir metalik plaka olarak, zemin düzlemi gibi kullanılabilir ve arka radyasyon yönlendirilir, antenlerin koruması sağlanır.



Şekil 3.1. Yapay manyetik iletken üzerinde dikey kutuplanmış bir dalga olayı (Frank B. Gross, 2011)



Şekil 3.2. Yapay manyetik iletkene paralel polarize dalga olayı (Frank B. Gross, 2011)

3.2. Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO)

MIMO sistemi, yüksek veri hızı, yüksek kapasite sunar ve bir iletişim kanalının daha iyi bir spektrum kullanımını sağlar. Kablosuz iletişim sistemlerinin veri aktarım hızı son yıllarda multimedya servislerinin yüksek veri aktarımı gereksinimi nedeniyle hızla artmıştır. MIMO sistemler, sınırlı kanal kapasitesini aşabildiği için modern kablosuz iletişim sistemleri için yeni bir dönem başlatmıştır.

Çoklu Giriş-Çoklu Çıkış sistemleriyle uyumlu çalışabilen taşınabilir cihazlarda, küçük boyut, düşük ağırlık, düşük maliyet, üretim kolaylığı ve birleşik devrelere kolay yerleşimi gibi avantajlarından dolayı genellikle mikroşerit antenler tercih edilmektedir.

MIMO antenler, karşılıklı iletişim yapabilen, birbirinden ayrı besleme girişlerine sahip birden fazla anten elemanının aynı altaş üzerinde elektriksel olarak yalıtılmış ve yüksek spektral verim sağlayan antenlerdir. Elemanlar üzerinde fiziksel değişiklik ile yapılarak farklı geometrilere sahip anten yapıları da elde edilebilir. Aynı özelliklere sahip kanallar elde edebilmek için anten elemanları genellikle özdeş tasarlanırlar ve birbirine göre simetrik olarak ana karta yerleştirilirler. Gezgin terminal cihazlarının boyutlarının küçülmesi ile birlikte kullanımının yaygınlaşması, bu cihazlara uyumlu mikroşerit antenlerin de yapı ve performans olarak bu gelişmeye ayak uydurmasını gerektirmiştir.

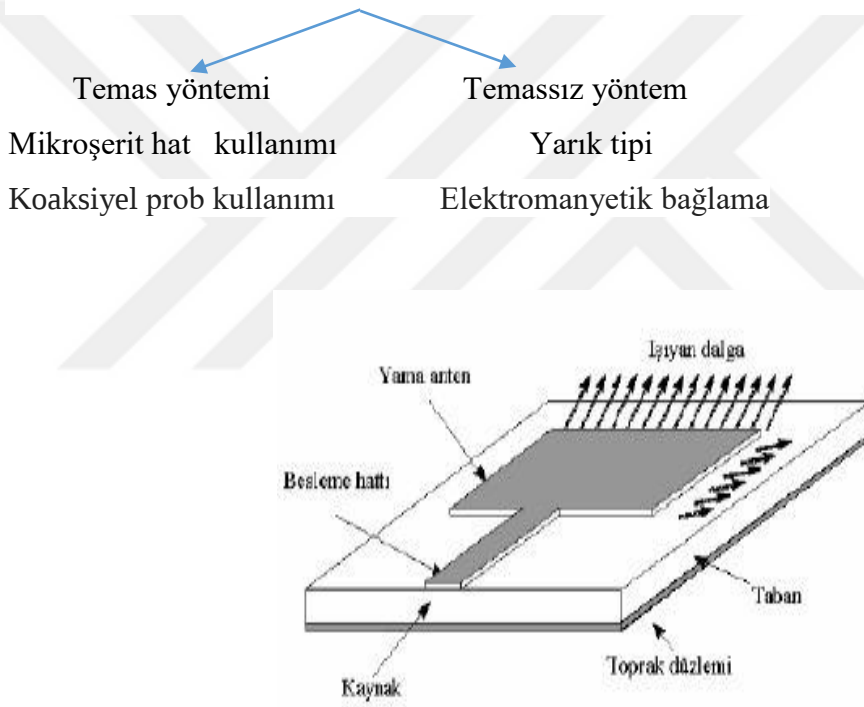
Çoklu giriş çoklu çıkış teknolojisi hem alıcıda hem de vericide birden fazla antenin kullanılması ile haberleşme performansını arttırmayı sağlayan bir teknolojidir. Bu ayrıca akıllı anten uygulamalarından da biridir. MIMO teknolojisi, daha fazla güç veya bant genişliği gerekmeksizin iletim hızını ve kalitesini arttırdığı için büyük ilgi gördü. Bu, artan yüksek verimlilik, hat uygulaması ve azalan sönümlenme ile sağlanmaktadır. Bu özelliklerden dolayı, MIMO, güncel Uluslararası kablosuz iletişim araştırmalarının en önemli konusudur.

3.3. Yöntem

3.3.1. Mikroşerit antenlerin besleme teknikleri

Mikroşerit yama antenler çeşitli yöntemlerle beslenebilir. Yöntemler temas eden ve temas etmeyen olarak iki kategoriye ayrılabilir. Temas yönteminde, RF gücü ışıma yamasına mikroşerit hat gibi doğrudan bir bağlantı elemanı kullanılarak beslenir. Temassız yöntemde, güç aktarmak için mikroşerit hat ve yama arasında elektromanyetik bağlama yapılır.

4 tane en popüler besleme teknikleri şunlardır:

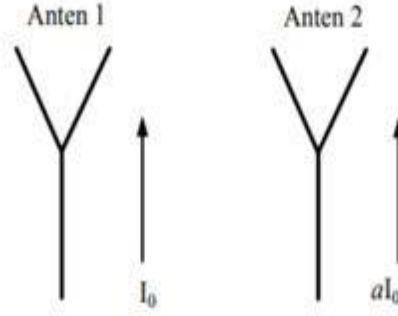


Şekil 3.3. Besleme hattı mikroşerit anten yapısı (Karazeybek, 2011)

3.3.2. Anten elemanları arasındaki yalıtımın artırılması

Birbirine yakın mesafede yerleştirilmiş anten elemanları arasında elektromanyetik ortak etkileşim olmaktadır. Şekil 3.4 iki elemanlı bir MIMO sistemi gösterilmiştir.

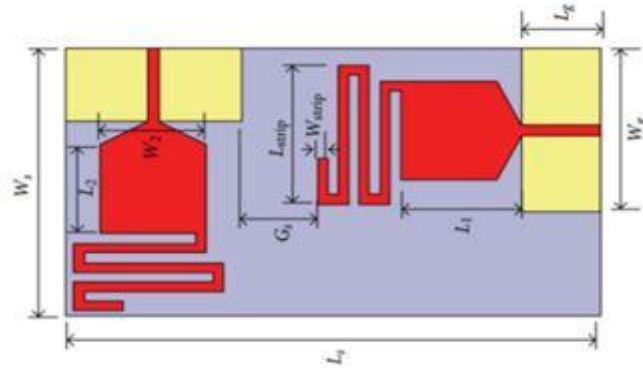
Birbirine yakın yerleştirilmiş birinci antene verilen I_0 akımı ile meydana gelen ışıma, ikinci antenin iletkeninde ilave bir I_0 akımının indüklenmesine neden olmaktadır (Zhengy, 2012; Toktaş, 2014).



Şekil 3.4. İki elemanlı bir MIMO sisteminde anten elemanları arasındaki ortak etkileşim(Zhengy, 2012; Toktaş, 2014)

Anten elemanları arasındaki ortak etkileşimi azaltmak amacıyla literatürde farklı teknikler önerilmiştir. Bu tekniklerden en çok kullanılanlar; elemanların birbirine göre dikey olarak yerleştirilmesi, parasitik eleman kullanılması ve toprak düzlemde boşlukların açılması olarak sıralanabilir.

Aynı polarizasyona sahip antenler aynı düzlemde, birbirine göre dikey olarak yerleştirilerek ortak etkileşim azaltılabilmektedir (Yao vd., 2012; Toktaş, 2014). Bu yöntem uygulanarak elde edilen bir MIMO anten, Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

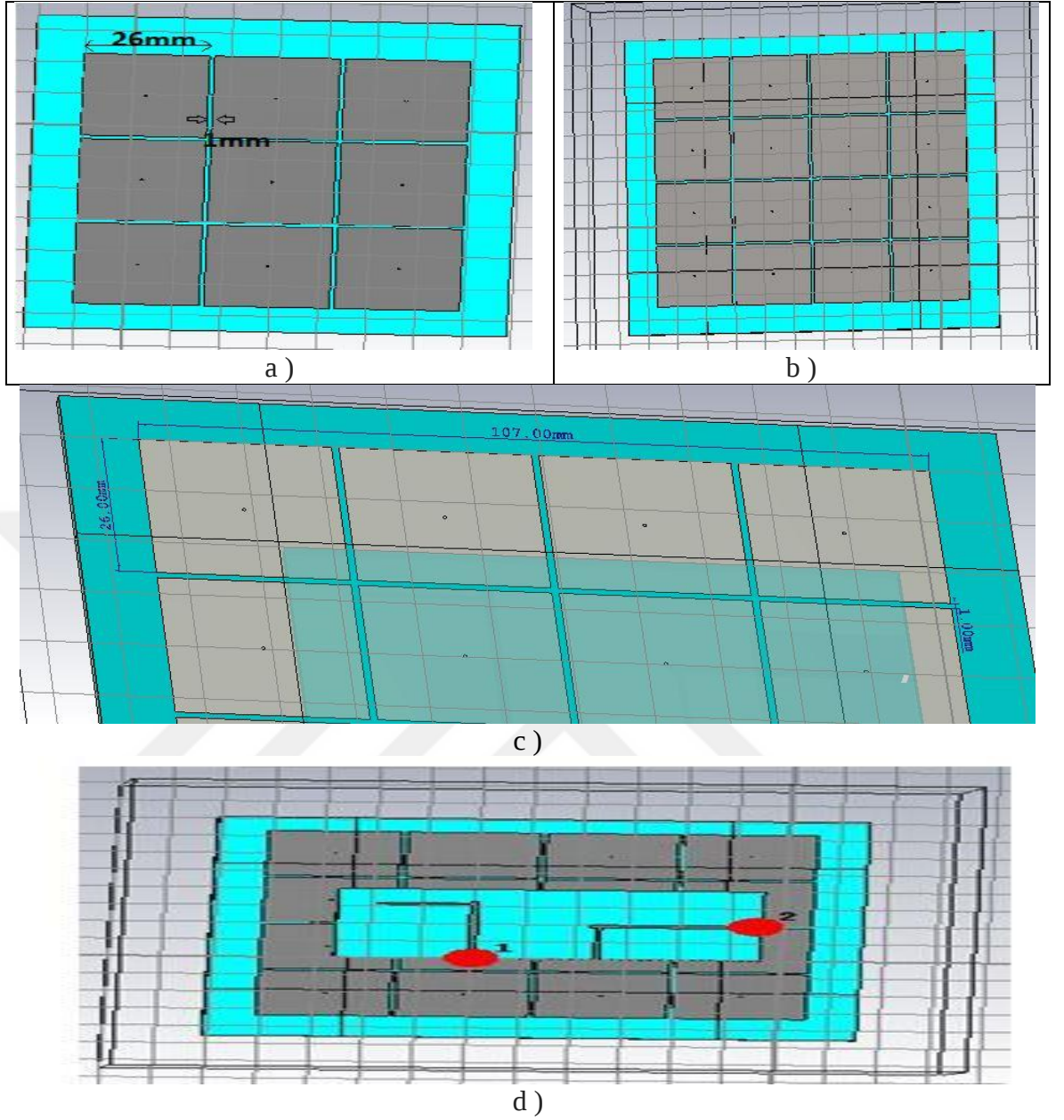


Şekil 3.5. Dikey elemanlı bir MIMO anten yapısı (Yao vd., 2012; Toktaş, 2014)

3.3.3. Yapay manyetik iletken tasarımı

Bu çalışmada yapay manyetik iletken yüzey T mikroşerit antenin çalışma frekansları olan 2.4 GHz – 5.2 GHz ve L mikroşerit antenin çalışma frekansları olan 2.4 GHz - 5.8 GHz frekans bandları için tasarlanmış olup, bu band aralıklarında manyetik iletken yüzey özelliği göstermektedir. MIMO mikroşerit anten tasarımında kullanılan materyal (FR4) kullanılmıştır.

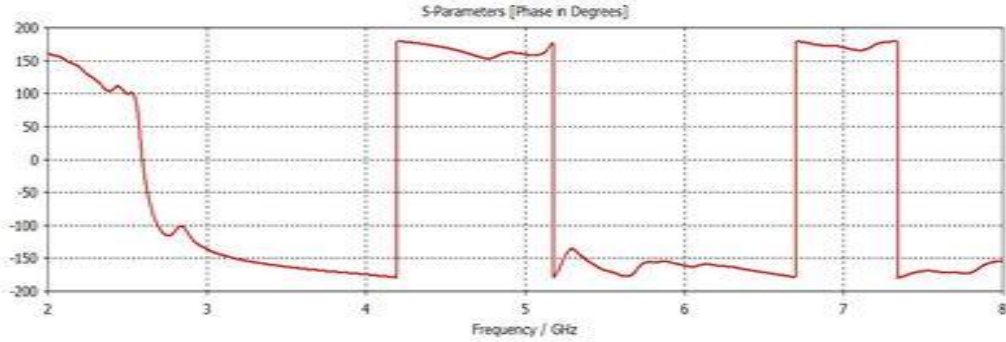
Burada yansıtıcı yüzey olarak yapay manyetik iletken kullanılmıştır. Yapay manyetik iletken yüzeyler yüksek dirence sahip oldukları için yansıyan dalgada 180° faz farkı gözlenmez. Bu sebeple ışınlam yapan elemanlar ile yansıtıcı arasında $\lambda/4$ kadar mesafe kalmasına gerekmez. Bu tasarımdaki boşluk; 5.8 GHz için $\lambda/6$, 2.45 GHz için $\lambda/15$ i kadar olan mesafe 8 mm dir. T mikroşerit anten için her bir hücre $26 \times 26 \text{ mm}^2$ boyutlarında olup aralarında 1 mm boşluk bulunmaktadır. AMC ızgara yapısı 3×3 birim hücreden oluşmaktadır. L mikroşerit anten için ise yine her bir hücre $26 \times 26 \text{ mm}^2$ boyutlarında olup aralarında 1 mm boşluk bulunmaktadır. AMC ızgara yapısı 4×4 birim hücreden oluşmaktadır. Her hücre toprağa kısa devre durumundadır. Şekil 3.6’da AMC reflektör simülasyon resimleri gösterilmiştir. Birim hücre sayısı, küçük bir profil ile en iyi performansı verecek şekilde seçilmiştir. AMC daha sonra MIMO mikroşerit antenin altına reflektör olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 3.6. AMC reflektör simülasyon görüntüsü a) T mikroşerit anten için reflektör b) L mikroşerit anten için reflektör c) Boyutlar d) L mikroşerit antenin AMC reflektör yapısı ile görünüşü

Önerilen AMC yapısı şu şekilde birçok avantaja da sahiptir; bant genişliği, küçük boyut, basit yapı, düşük fiyat ve kolay imalat.

Aşağıda Şekil 3.7’de AMC reflektöre ait yansıma evreleri grafiği gösterilmiştir.

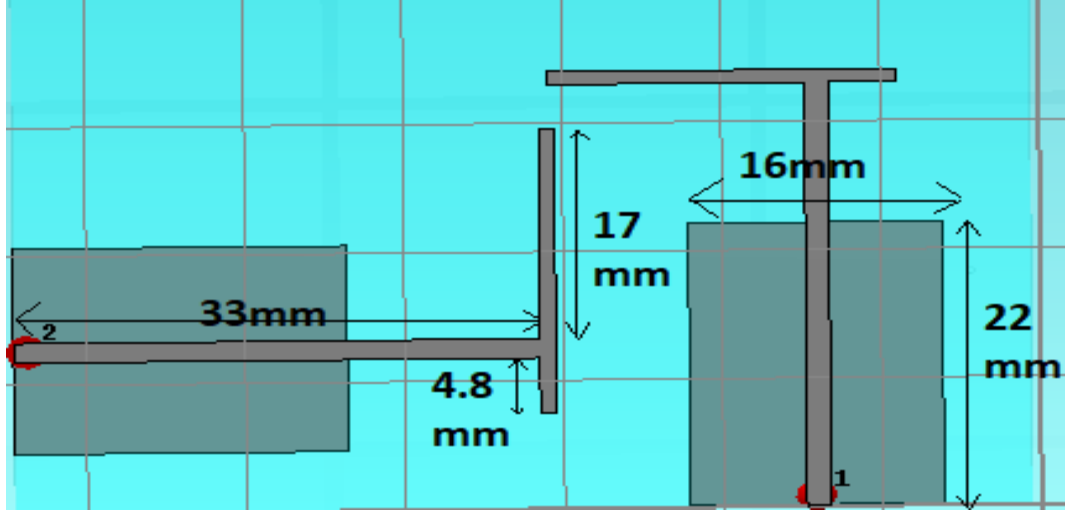


Şekil 3.7. AMC reflektör yapısı için normalde gelen bir düzlem dalga için simüle edilmiş yansıma evreleri grafiği

3.3.4. T mikroşerit anten tasarımı

Anten geometrisin tasarım aşaması öncelikle malzeme seçimi ile başlamıştır. FR4 ucuz ve kolay erişilebilir olması sebepleri ile tercih edilmiştir. T geometrili dual band 2.45 GHz ve 5.2 GHz rezonans frekanslarında çalışan yüksek izolasyonlu mikroşerit MIMO anteni önerilmiştir.

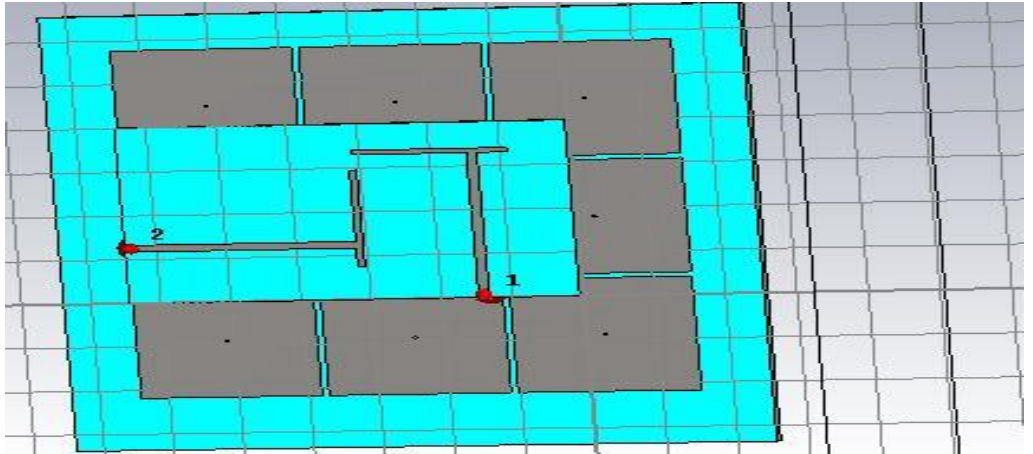
Şekil 3.8'de gösterildiği gibi dielektrik malzemenin yukarı tarafında T şeklindeki yayıcı elemanlar vardır. T şeklinin uzun kolu 17 mm, bu değer 2.4 GHz frekansın çeyrek dalga boyu; T şeklinin kısa kol uzunluğu yaklaşık 4,8 mm, bu değer 5.2 GHz uzunluğundaki çeyrek dalga boyu, dielektrik malzemenin uzunluğa etkisinin dikkate alınmasıyla dielektrik sabiti 4,5'in karekök oranıdır. Yayılan elemanlar sıralı rotasyon ile yerleştirilmiştir. Bu düzenleme tipi, elemanlar arasında yüksek yalıtım oluşturur. Şekil 3.10'da anten baskı devresi görülmektedir. Antenin altında bir AMC reflektör vardır. Bu hava aralığı 8 mm'dir ve bu uzunluk 5.2 GHz'de yaklaşık $\lambda/8$ 'dir ve 2.4 GHz'de $\lambda/15$ 'dir. Özdeş iki T anten birbirlerine göre 90°'lik döndürme açısıyla yerleştirilmişlerdir. Bu yöntem yukarıda belirtilen yöntemi kullanmadan yüksek izolasyona sahip olmak için CST simülasyon programı ile optimize edilmiştir.



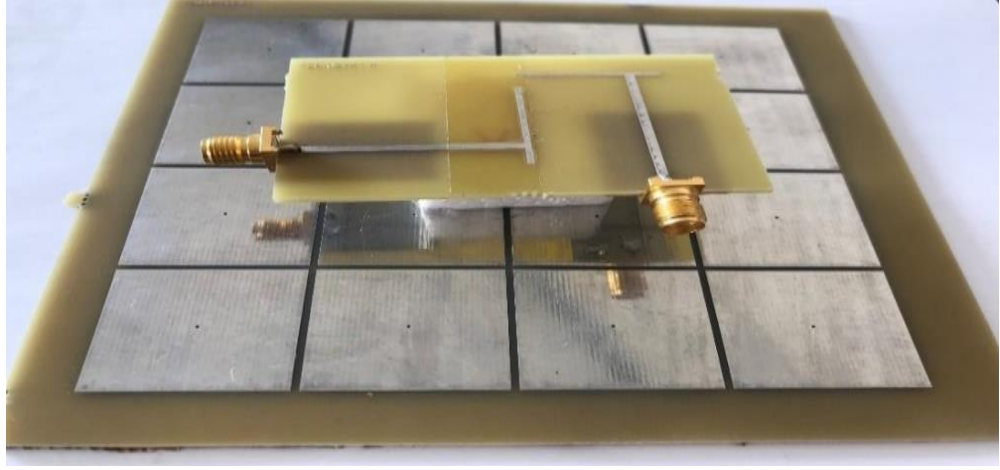
Şekil 3.8. T antenin simülasyon görüntüsü ve boyutlarını

Antenin boyutları T'nin uzun kenarı 4,8 mm ve kısa kenarı 17 mm olacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Bu sayede iki farklı frekansta çalışması sağlanmıştır. Mikroşerit antenin alt tabakasının boyutları 16*22 mm olacak şekilde tasarlanmıştır.

Anten bir PEC zemini ile desteklendiğinde, PEC zemini ve ışınlama elemanı arasındaki mesafe 28 mm'dir ve bu da 2.4 GHz'de çeyrek dalga boyundadır. AMC yüzeyi ile antenin hava boşluğu yüksekliği azaltabilmektedir ve radyasyon özellikleri geliştirilebilmektedir.



Şekil 3.9. T antenin AMC reflektör ile simülasyon görüntüsü



Şekil 3.10. 2.45 ve 5.2 GHz frekansında çalışan T geometrili mikroşerit antenin AMC reflektör ile baskı devresi

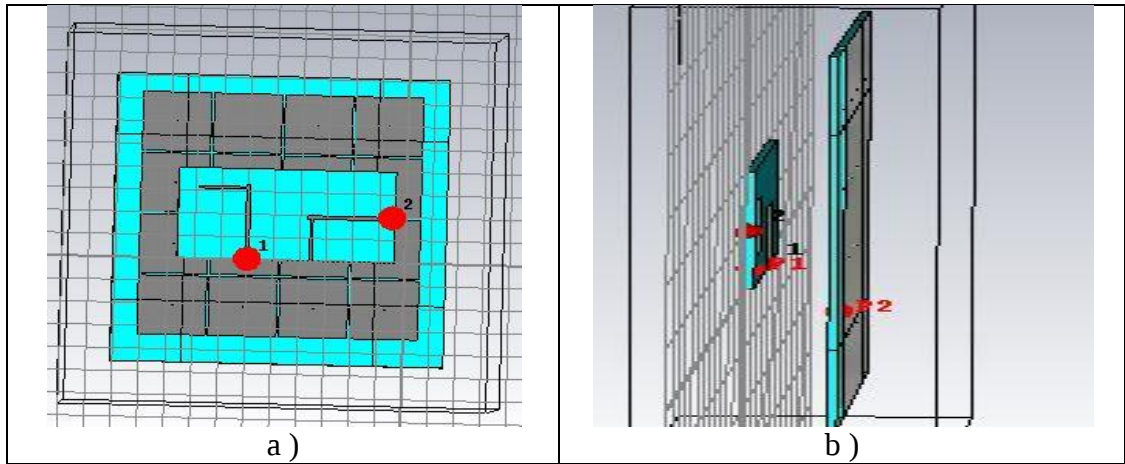
3.3.5. L Mikroşerit Anten Tasarımı

T şeklindeki antenin tasarımından sonra 2.45 GHz ve 5.8 GHz frekanslarında çalışan dual band anten tasarımı için anten boyutlarında gerekli değişiklikleri yaparak L geometrisinde anten tasarımı yapılmıştır. Anten boyutları Şekil 3.11'den görülmektedir. Tasarımda malzeme olarak FR4 kullanılmıştır. Yukarıdaki kısımda FR4 ün bahsedilen özelliklerine ek olarak, diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında, daha küçük yama boyutu ile sonuçlanan daha yüksek bir dielektrik sabitine sahiptir. Bu geometrinin tasarımı da CST simülasyon programında yapılmıştır. Anten boyutunu küçültmek ve rezonans frekansını daha düşük frekanslara indirmek için yapay manyetik iletken (AMC) toprak düzlemine sahip L şeklinde bir mikroşerit MIMO dual bant anten tasarımı aşağıdaki şekildeki gibi tamamlanmıştır.

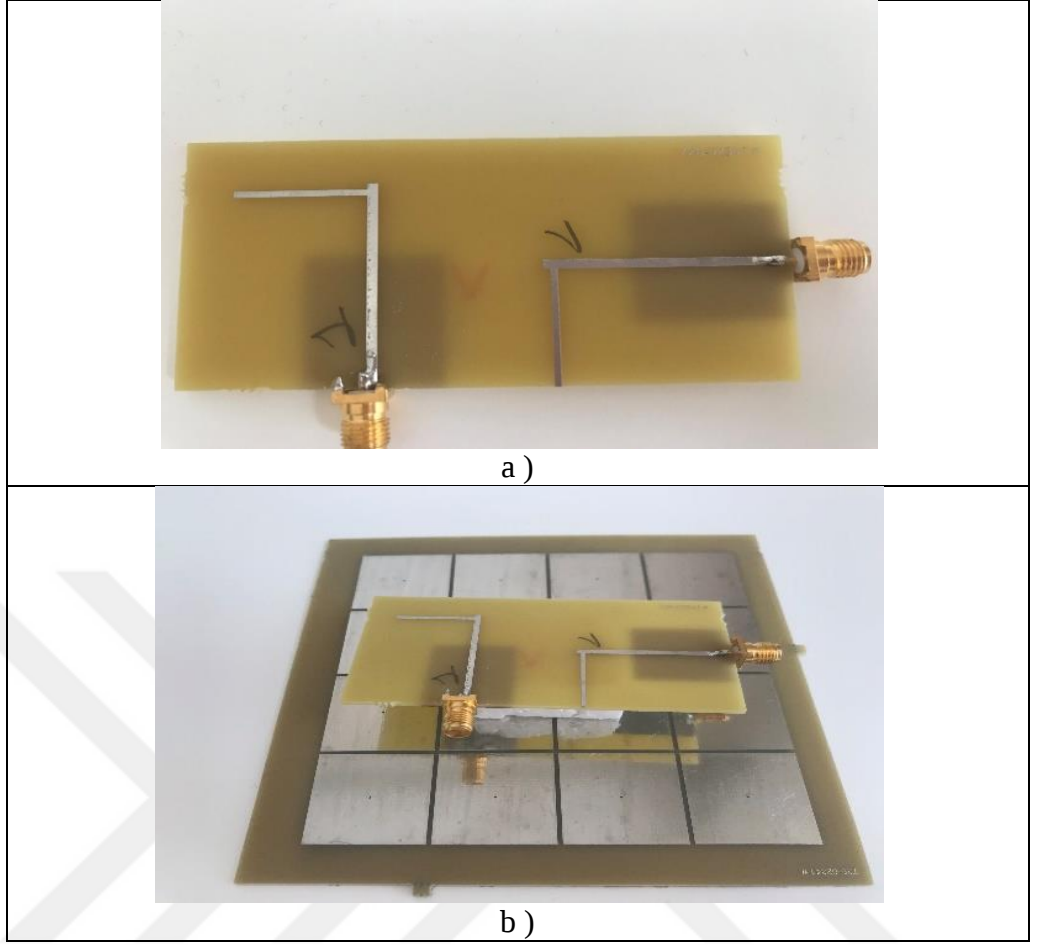


Şekil 3.11. 2.45 GHz ve 5.8 GHz frekansında çalışan anten geometrisi ve boyutları

Antenin dıştan boyutları 82.5*40 mm'dir. L kolların ölçüleri uzun kenar 33.0 mm ve kısa kenar 18.25 mm'dir. İki L kol birbiri ile özdeşdir. Birbirlerine göre 180°'lik ardışık dönme açısıyla yerleştirilmiştir. Bu konum elemanlar arasındaki izolasyonun yüksek olmasını sağlamaktadır. Şekil 3.12'de antene ait simülasyon görüntüsü görülmektedir.

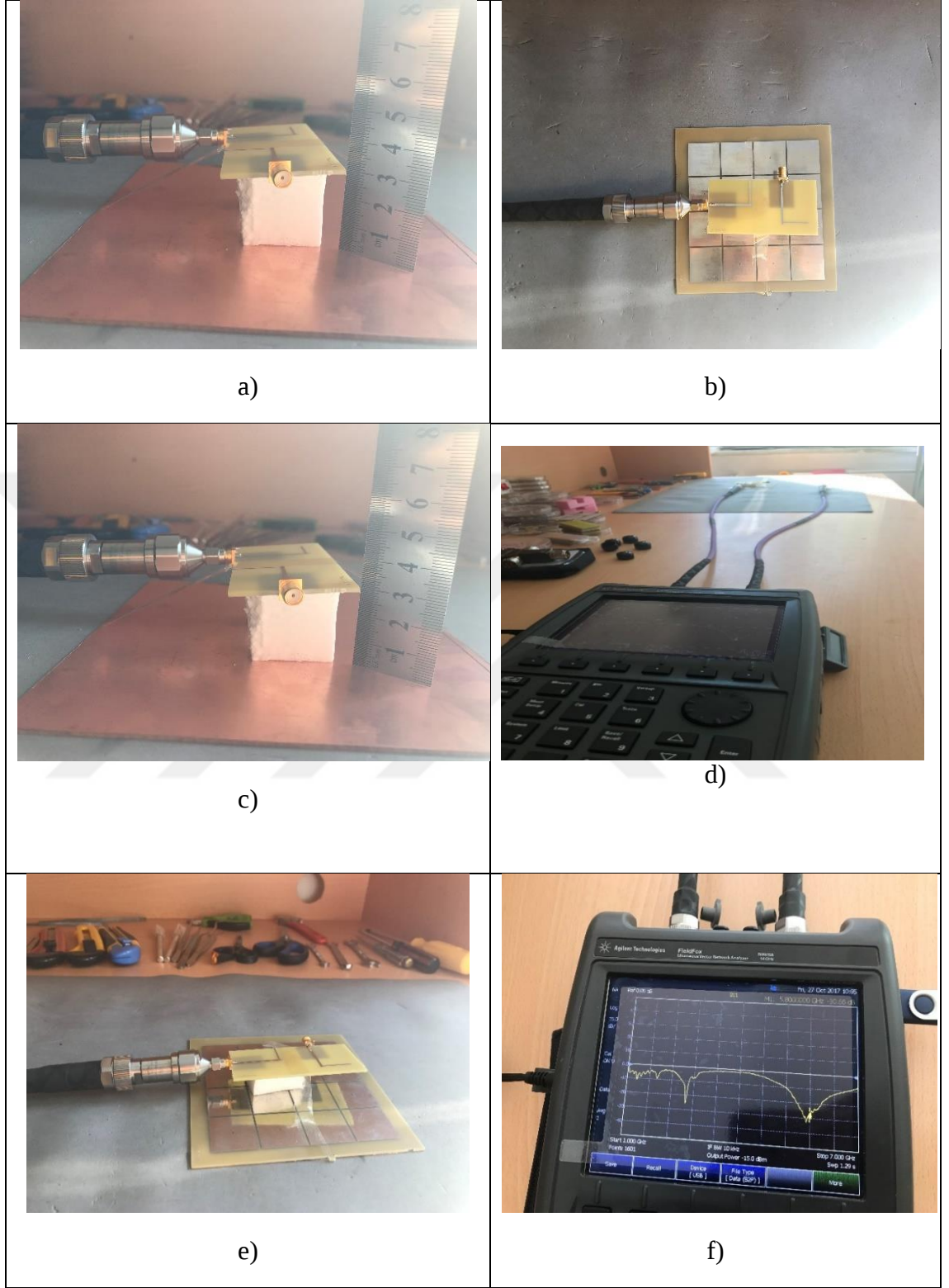


Şekil 3.12. AMC reflektörlü L mikroşerit antenin simülasyon görüntüsü a) Ön yüz b) Yan konum görünüşü



Şekil 3.13. Tasarlanan L mikroşerit antenin a) Baskı devresi b) AMC’li anten

Şekil 3.13’de tasarlanan L mikroşerit antenin baskı devresi ve AMC reflektör ile kullanışı görülmektedir. AMC reflektör ile anten arasındaki hava boşluğu 8 mm’dir ve bu uzunluk yaklaşık 5.8 GHz’de $\lambda/6$ ve 2.4 GHz’de $\lambda/15$ ’dir. Simulasyon da ve deneysel ölçümler sırasında da hava boşluğu 8 mm olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.14. Anten deney ölçüm düzeneğinden görüntüler a) PEC reflektörlü anten b) AMC 'li anten c) AMC'li anten d) Anten ölçüm düzeneği e) AMC'li anten f) FielFox Network Analizör

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bölüm 3’de anten tasarımları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Simülasyonda gerekli değerler elde edildikten sonra antenlerin baskı devresi gerçekleştirilmiştir. Baskı devresi yapılan antenlerin ölçümleri Süleyman Demirel Üniversitesi Mikrodalga Laboratuvarında FielFox Network Analyzer ile yapılmıştır. Bu cihaz kullanılarak iki antenin S_{11} (geri dönüş kaybı) ve S_{21} (izolasyon) parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. AMC reflektörlü L geometrilili antenin ayrıca kazanç ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar Matlab programı ile grafiksel olarak çizdirilmiştir. Bu sayede simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması daha rahat bir şekilde gözlenebilmiştir. Ayrıca karşılaştırmalar AMC reflektörlü anten, PEC reflektörlü anten, mikroşerit anten parametrelerinin ölçüm ve simülasyon sonuçları olarak da yapılmıştır. Buradaki amaç tasarlanan AMC reflektör yapısının sağladığı avantajı görebilmektir.

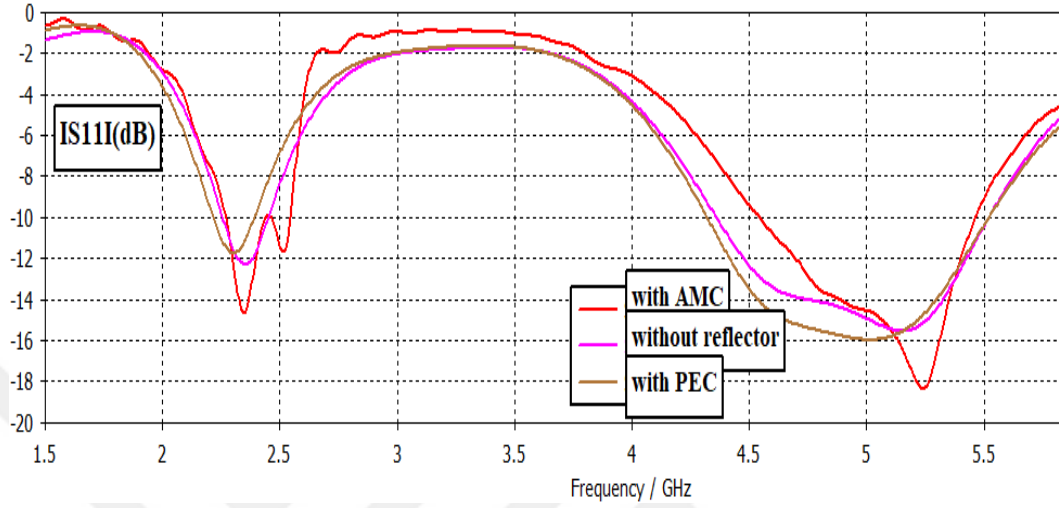
4.1. T Mikroşerit Anten Simülasyon ve Ölçüm Sonuçları

Tasarlanan T geometrilili mikroşerit dual band MIMO antene ait simülasyon ve ölçüm sonuçları grafiksel ve karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. AMC reflektörlü antenin S_{11} simülasyon sonucu

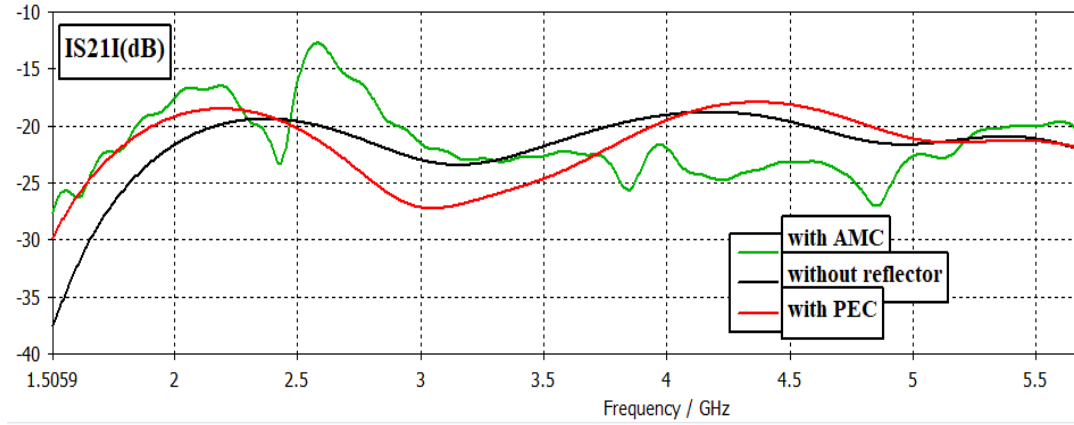
Şekil 4.1’de AMC reflektörlü T geometrili antenin yansımaya katsayısı olan S_{11} parametresinin simülasyon sonuçları 2.45 GHz için -15 dB, 5.2 GHz için -18 dB olduğu gözlenmektedir -10 dB değerinin altında olduğu için çalışma frekanslarıdır.



Şekil 4.2. Antenin farkı reflektörlerle S_{11} simülasyon sonuçları

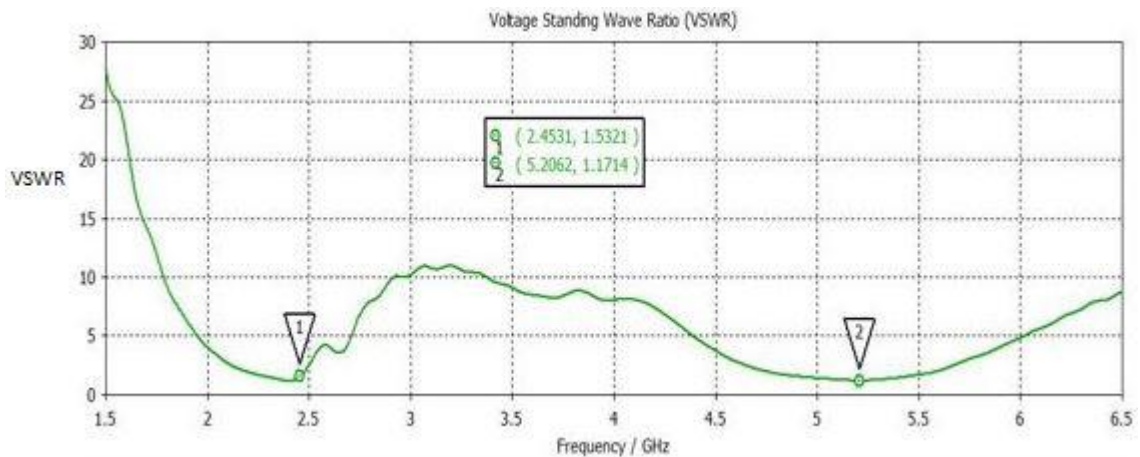
Yukarıdaki şekilde antenin S_{11} parametresinin simülasyon sonuçlarının grafiği farklı reflektör için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Kırmızı hat AMC’li anten, pembe hat mikroşerit anten, kahverengi hat PEC’li antenin sonuçlarını göstermektedir. Bu değerler AMC reflektör ile 2.45 GHz için -15 dB, 5.2 GHz için -17 dB; PEC yapılı durumda 2.45 GHz için -11 dB, 5.2 GHz için -14 dB; reflektörsüz durumda ise 2.45 GHz için -12 dB, 5.2 GHz için -15 dB değerindedir.

Antenin çalışma frekanslarındaki değerlerine bakıldığında en iyi sonucun AMC reflektörlü antende olduğu görülmektedir. AMC reflektör ile daha iyi değerlerde ısıdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3. Antenin farklı reflektörlerdeki S_{21} simülasyon sonuçları, yeşil hat AMC'li anten, siyah hat mikroşerit anten, kırmızı hat PEC'li anten

Şekil 4.3'de antenin farklı reflektörle ile olan izolasyon sonuçları verilmiştir. PEC reflektörlü durumda 2.45 GHz ve 5.2 GHz için -20 dB, reflektörsüz antende 2.45 GHz ve 5.2 GHz için -20 dB'dir. MIMO antenler iyi izolasyona sahip olmalıdır. İyi bir izolasyon içinde S_{21} parametresi -20 dB değerinin üstünde olmalıdır. Bu grafiğe göre AMC'li anten diğer antenlere göre daha iyi bir izolasyon performansı göstermektedir. AMC reflektörlü durumda 2.45 GHz için -24 dB 5.2 GHz için -23 de değerindedir. S_{21} izolasyon değeri rezonans frekanslarında -20 dB değerinin altında olduğu için MIMO anten elemanları arasındaki izolasyonun iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu değerde özdeş olan 2 T antenin birbirlerine göre 90° açılı ile yerleştirilmeleri önemli etkindir.



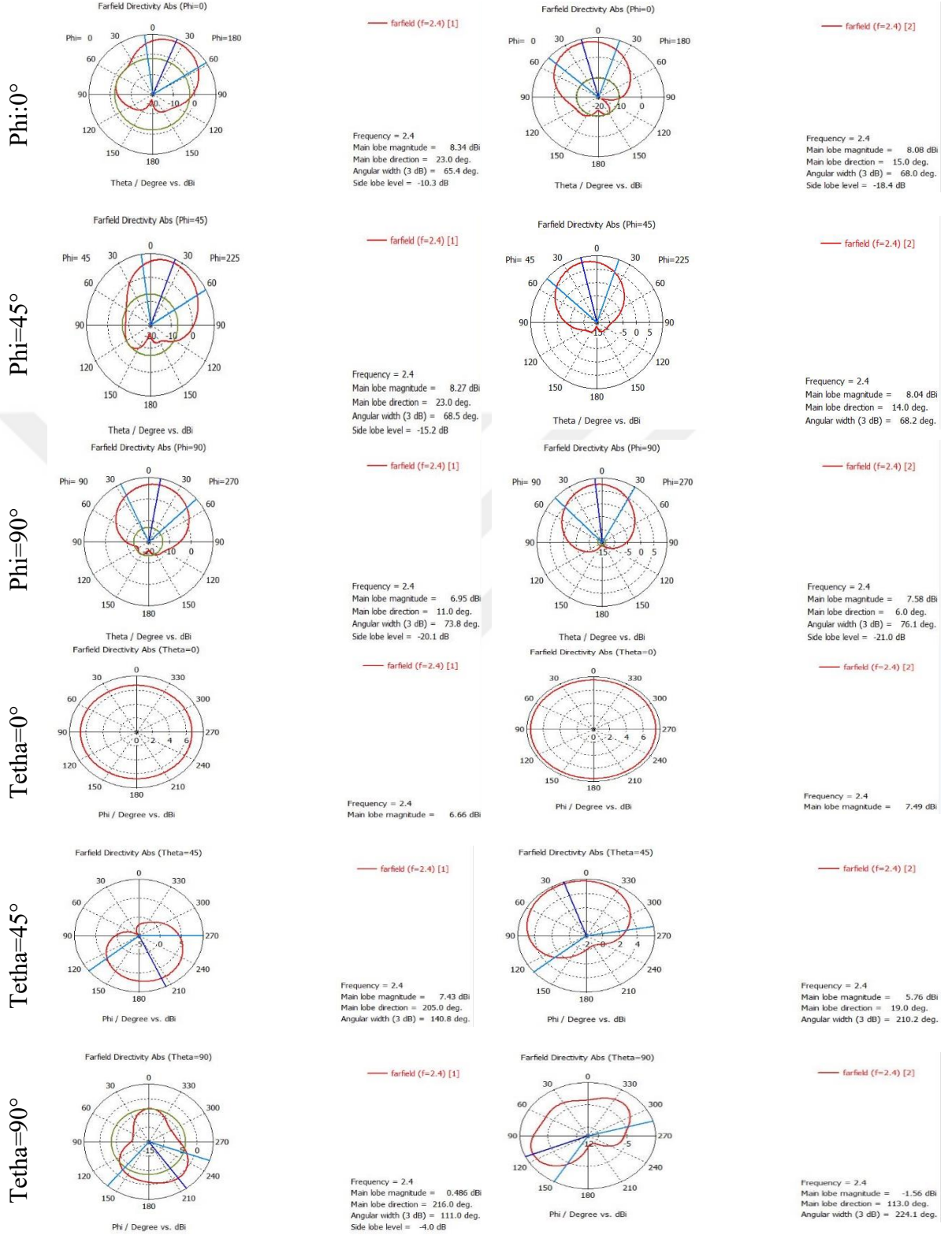
Şekil 4.4. AMC'li T mikroşerit antenin frekans-durana dalga oranı grafiği

Şekil 4.4’de T mikroşerit antenin AMC reflektör ile frekans – duran dalga oranı değişim grafiği verilmektedir. Duran dalga oranı; giden ve yansıyan sinyallerin karşılaşması ile oluşur, dezavantajı ise anten üzerinde güç kaybı oluşmasına sebep olur. Bu yüzden 2 nin altında olması istenen değerdir. Grafikten de görüldüğü gibi antenin rezonans frekansları olan 2.45 GHz’de 1,5 ve 5,2 GHz’de 1.1 değerlerine sahiptir.

Şekil 4.5 ve 4.6’da T mikroşerit anten için 2 boyutlu uzak alan örüntü sonuçları görülmektedir. Şekil 4.5’den görüldüğü gibi 2.45 GHz için 1 nolu portun maksimum ışıma yaptığı açı 23° ve sinyal seviyesi 8,3 dBi; 2 nolu portun sinyal seviyesi 8,08 dBi ve maksimum ışıma yaptığı açı 15° ’dir. Şekil 4.6’dan ise 5.2 GHz için 1 nolu portun sinyal seviyesi 8 dBi ve ana lobu 17° yönünde ışıma yapmaktadır, 2 nolu portun ana lobu 21° yönünde ışıma yapmaktadır ve sinyal seviyesi 8,8 dBi’dir.

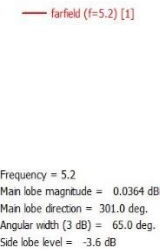
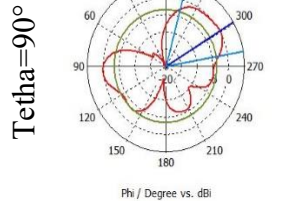
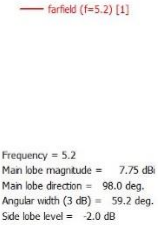
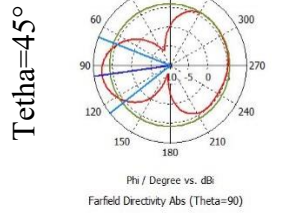
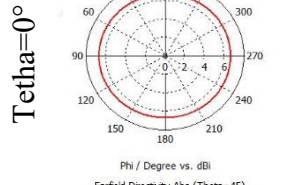
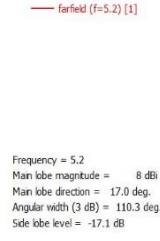
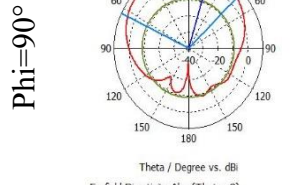
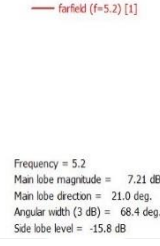
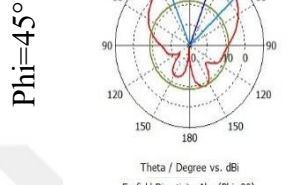
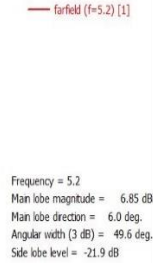
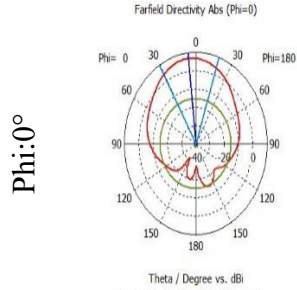
Port 1

Port 2

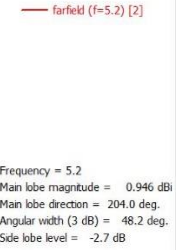
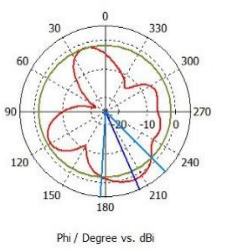
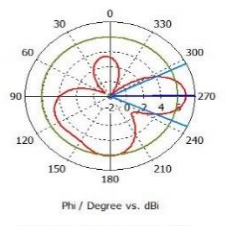
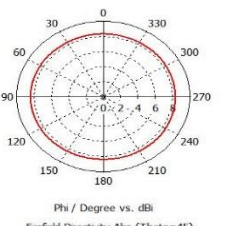
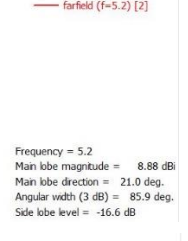
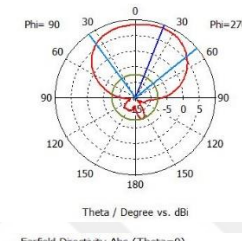
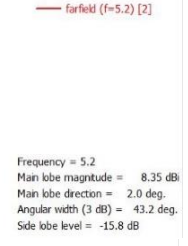
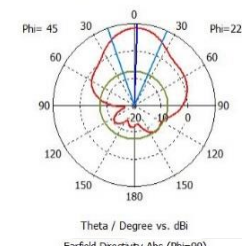
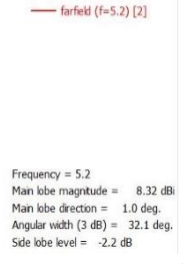
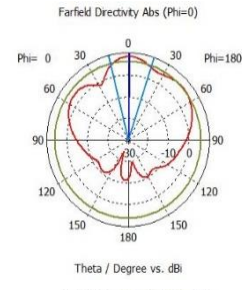


Şekil 4.5. T mikroşerit antenin 2.45 GHz için uzak alan örüntü sonuçları

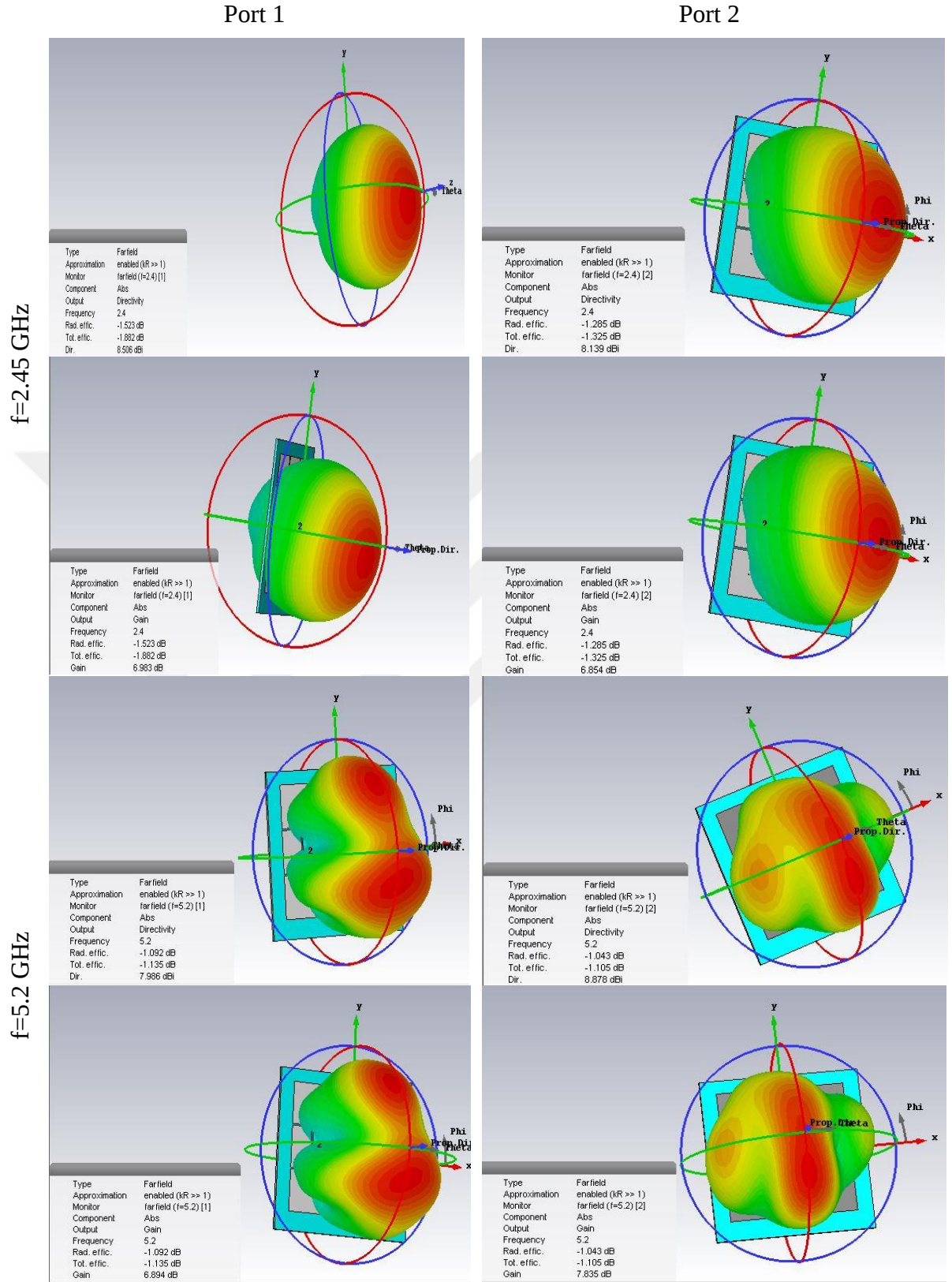
Port1



Port 2



Şekil 4.6. T mikroşerit antenin 5.2 GHz için uzak alan örüntü sonuçları



Şekil 4.7. T mikroşerit anten yönlülük ve kazanç değerleri

Şekilde 4.7' den T mikroşerit anten yönlülük ve kazanç değerleri gözlenmektedir. 2.4 GHz için yönlülük değerleri port 1'de 8,5 dBi, port 2'de 8,1 dBi değerindedir; 5.2 GHz için port 1'de 7,9 dBi, port 2'de 8,8 dBi' dir. Kazanç sonuçlarını incelendiğinde, 2.4 GHz için port 1'de 6,9 dB, port 2'de 6,9 dB; 5.2 GHz için port 1 6,8 dB, port 2 7, 8 dB değerlerindedir. Literatürle karşılaştırıldığında kazanç ve yönlülük değerlerinin mikroşerit antenler için oldukça iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

4.2. L Mikroşerit Anten Simülasyon ve Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde L geometrili mikroşerit antene ait simülasyon ve ölçüm sonuçları incelenmiştir.



Şekil 4.8. AMC'li antenin geri dönüş kaybı simülasyon ve ölçüm sonucu

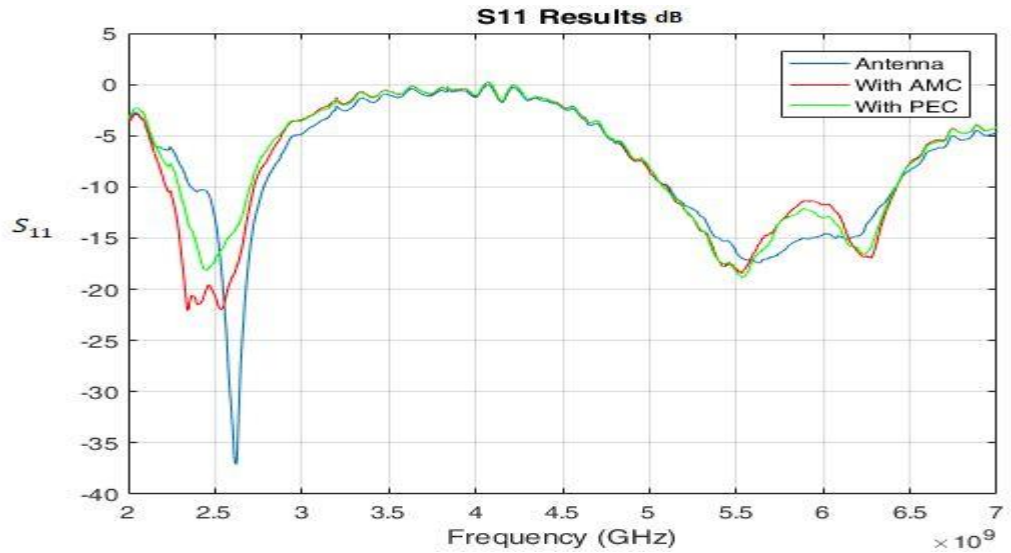
Şekil 4.8'de grafiksel olarak, tasarlanan L mikroşerit antenin S_{11} yansıma katsayısının ölçüm ve simülasyon sonucu gösterilmiştir. Kırmızı hat antenin geri dönüş kaybının simülasyon, mavi hatta ölçüm sonuçlarını göstermektedir.

Simülasyon değerleri 2.45 GHz ve 5.8 GHz'de -13 dB, ölçüm sonuçları; 2.45 GHz'de -14 dB, 5.8 GHz'de -25 dB değerleri elde edilmiştir. Antenin çalışma frekanslarında rezonansa girdiği için kabul edilir değerlerdir.



Şekil 4.9. AMC'li antenin S_{21} simülasyon ve ölçüm sonuçları grafiği

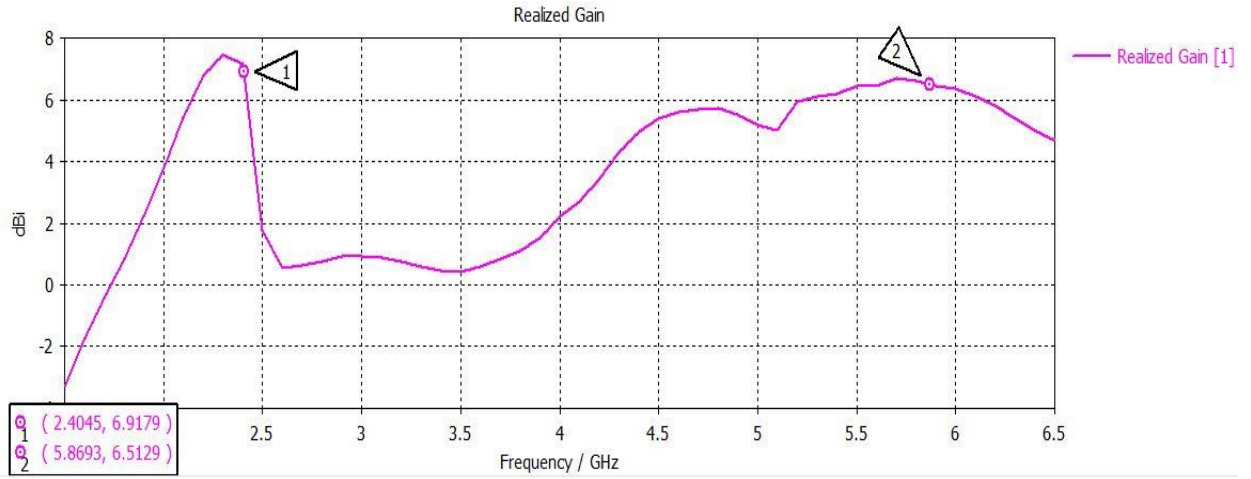
Şekil 4.9'da S_{21} parametresinin ölçüm ve simülasyon sonuçları grafiksel olarak görülmektedir. Çalışma frekansları olan 2.45 GHz'de simülasyon değeri -26 dB, ölçüm değeri -22 dB, 5.8 GHz'de simülasyon -29 dB, ölçüm değeri -21 dB olarak elde edilmiştir. S_{21} parametresi ile MIMO antenin elemanları arasındaki izolasyon değeri gösterilir. MIMO antenler için izolasyon, en önemli parametrelerden biridir. Şekil 4.9'da AMC yapısıyla gösterilen en iyi performans 2.4 GHz ve 5.8 GHz'de 20 dB'nin ötesinde üstün izolasyon performansı sağlanmıştır.



Şekil 4.10. L antenin ve farklı reflektör ile kullanımının ölçüm sonuçları

Çizelge 4.2. Antenin ve AMC 'li antenin baskı devre ölçüm sonuçları

	2, 4 GHz				5.8 GHz			
	$f_{\min}$	$f_{\max}$	BW	S_{11}	$f_{\min}$	$f_{\max}$	BW	S_{11}
AMC'li Anten	2, 2	2, 7	0, 5	-21 dB	5.2	6, 3	1, 1	-13 dB
Anten	2, 4	2, 7	0, 3	-10 dB	5.2	6, 3	1, 1	-15 dB

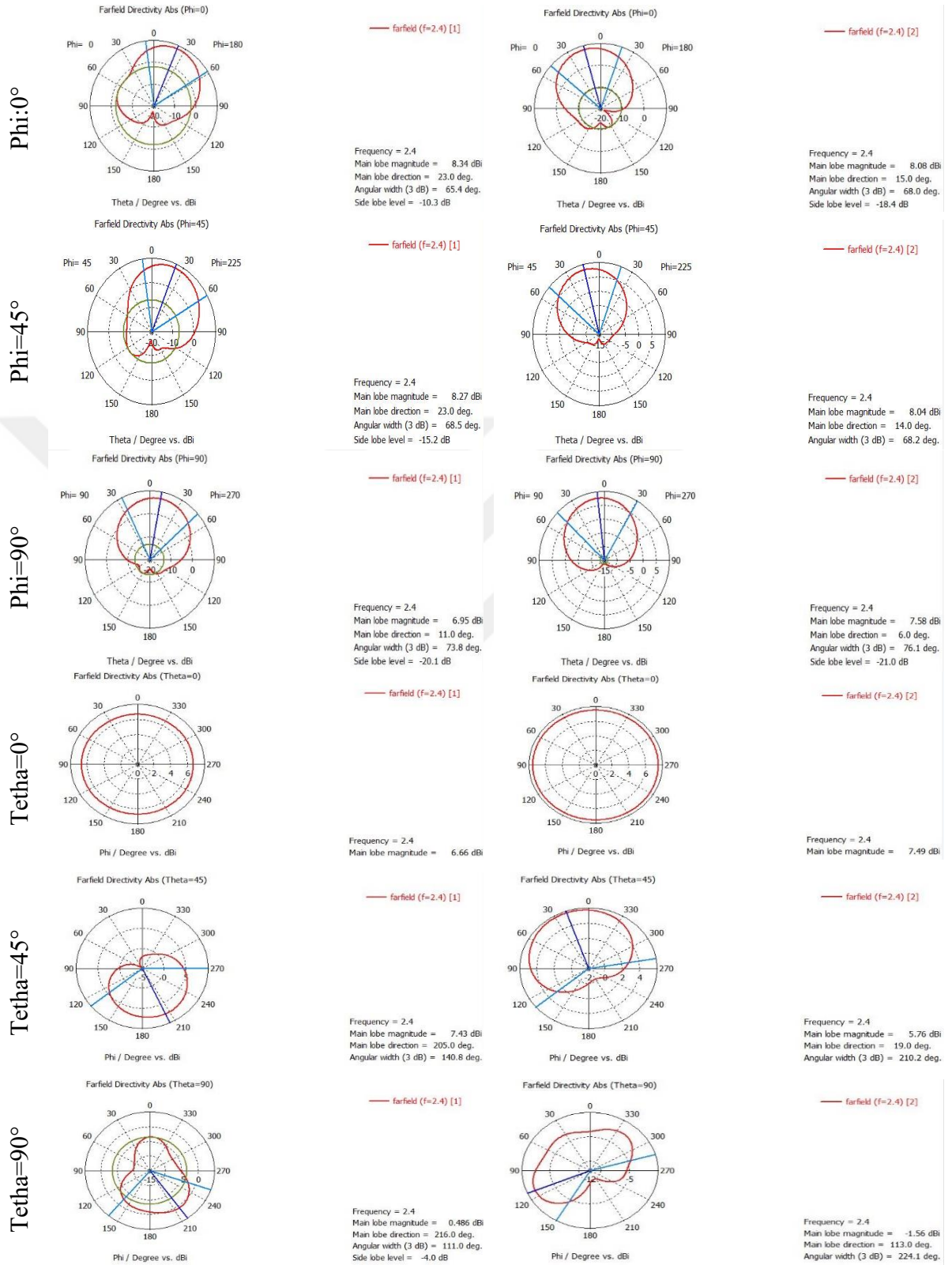


Şekil 4.11. AMC'li antenin kazanç grafiği simülasyon sonucu

Şekil 4.11'de AMC reflektörlü L mikroşerit antenin 1.portta 2.4 GHz için 6,91 dB ve 5.8 GHz için 6,5 dB kazanç değerlerine sahiptir. Bu değerler mikroşerit antenler için literatürdeki kazanç değerlerine göre yüksektir.

Port 1

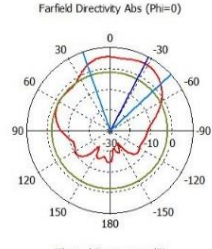
Port 2



Şekil 4.12. L anten 2.45 GHz için uzak alan örüntü sonuçları

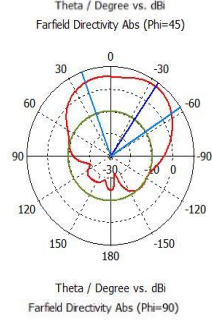
Port 1

Phi=0°



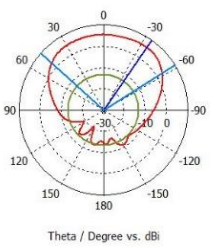
Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = -6.27 dB
Main lobe direction = -28.0 deg.
Angular width (3 dB) = 66.0 deg.
Side lobe level = -8.2 dB

Phi=45°



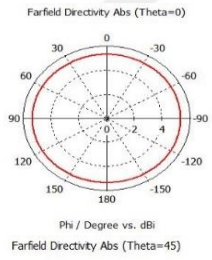
Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = -7.91 dB
Main lobe direction = -35.0 deg.
Angular width (3 dB) = 77.0 deg.
Side lobe level = -17.7 dB

Phi=90°



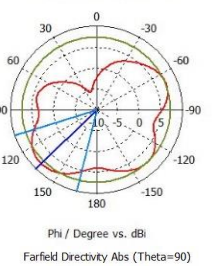
Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = -5.86 dB
Main lobe direction = -35.0 deg.
Angular width (3 dB) = 105.7 deg.
Side lobe level = -19.0 dB

Theta=0°



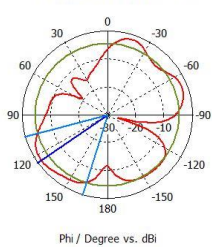
Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = 5.31 dB
Main lobe direction = 135.0 deg.
Angular width (3 dB) = 59.2 deg.
Side lobe level = -0.8 dB

Theta=45°

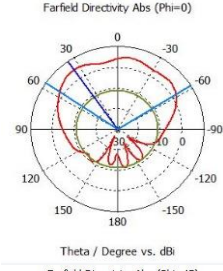


Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = -1.71 dB
Main lobe direction = 125.0 deg.
Angular width (3 dB) = 57.9 deg.
Side lobe level = -2.7 dB

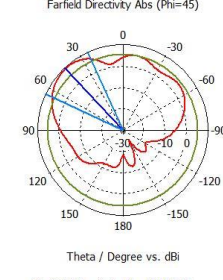
Theta=90°



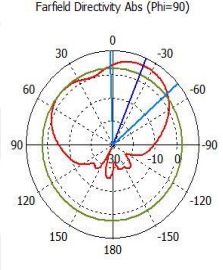
Port 2



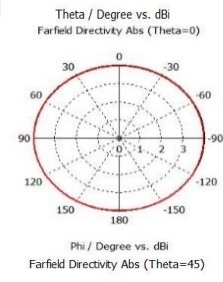
Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = -4.91 dB
Main lobe direction = 35.0 deg.
Angular width (3 dB) = 113.8 deg.
Side lobe level = -16.0 dB



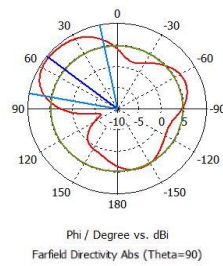
Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = -9.37 dB
Main lobe direction = 43.0 deg.
Angular width (3 dB) = 40.7 deg.
Side lobe level = -4.0 dB



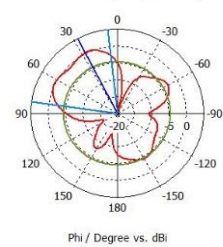
Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = -6.54 dB
Main lobe direction = -23.0 deg.
Angular width (3 dB) = 50.7 deg.
Side lobe level = -3.9 dB



Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = 3.95 dB
Main lobe direction = 52.0 deg.
Angular width (3 dB) = 52.0 deg.
Side lobe level = -4.6 dB

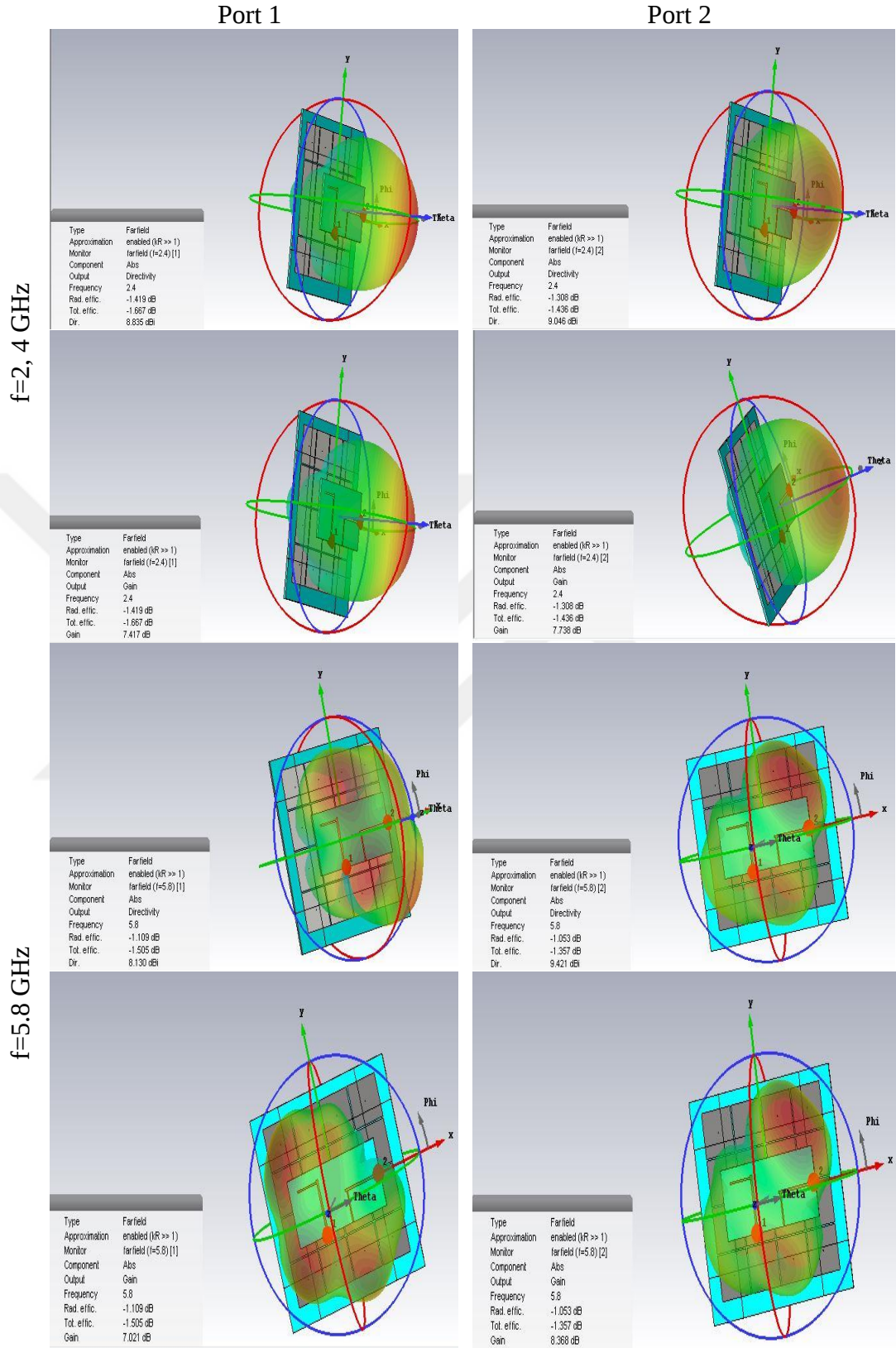


Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = 9.39 dB
Main lobe direction = 52.0 deg.
Angular width (3 dB) = 68.3 deg.
Side lobe level = -4.6 dB



Frequency = 5.8
Main lobe magnitude = 0.22 dB
Main lobe direction = 27.0 deg.
Angular width (3 dB) = 75.9 deg.
Side lobe level = -4.7 dB

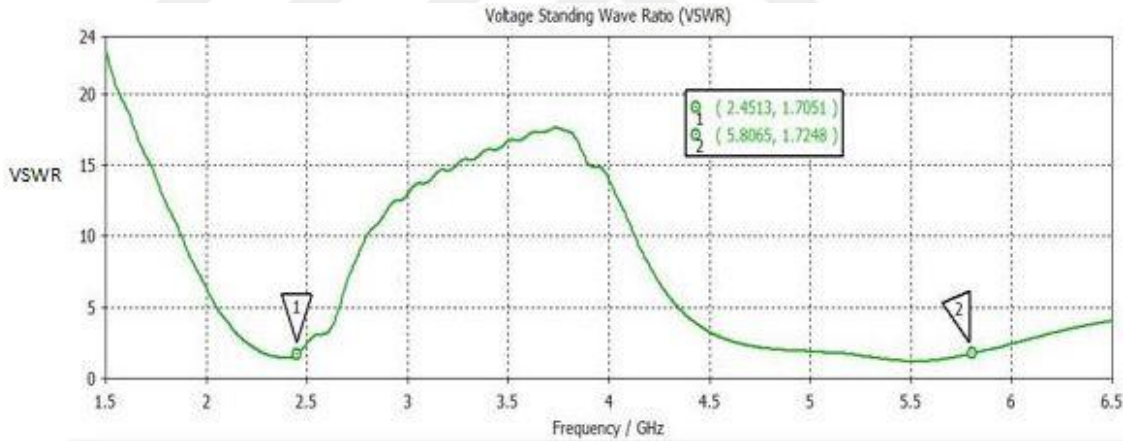
Şekil 4.13. L mikroşerit antenin 5.8 GHz için uzak alan örüntü sonuçları



Şekil 4.14. L mikroşerit anten için yönlülük ve kazanç sonuçları

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de L mikroşerit anten için 2 boyutlu uzak alan ışıma örüntüsü sonuçları görülmektedir. Şekil 4.12’deki sonuçlara göre 2.45 GHz için 1. portun maksimum ışıma yaptığı açı 20° ve maksimum sinyal seviyesi 8,75 dBi; 2. portun maksimum sinyal seviyesi 9,04 dBi ve ana lobu -20° yönünde ışıma yapmaktadır. Şekil 4.12’ye göre 5.8 GHz için 1. portun maksimum ışıma yaptığı açı -35° ve maksimum sinyal seviyesi 7,91 dBi; 2. portun sinyal seviyesi 9,37 dBi ve ana lobu 43° ’lik açı ile ışıma yapmıştır.

Şekil 4.14’de L mikroşerit antenin yönlülük ve kazanç değerleri görülmektedir. 2,4 GHz için yönlülük port 1’de 8,8 dBi, port 2’de 9,0 dBi; 5.8 GHz için port 1’de 8,1 dBi, port 2’de 9,4 dBi değerlerindedir. Kazanç 2.4 GHz için port 1’de 7,4 dB, port 2’de 7,7 dB; 5.8 GHz için port 1’de 7,0 dB, port 2’de 8,3 dB değerlerine sahiptir. Yönlülük ve kazanç sonuçları literatürdeki mikroşerit antenlere göre yüksek değerlerde olduğu anlaşılmaktadır.

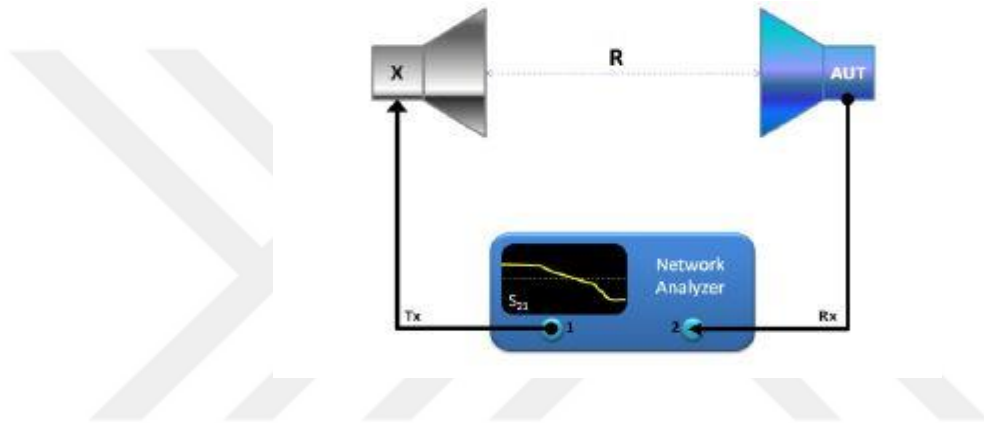


Şekil 4.15. AMC reflektörlü L mikroşerit antenin frekans – duran dalga oranı (VSWR) değişimi

Şekil 4.15’de tasarlanan L mikroşerit antenin AMC reflektör ile frekans- duran dalga oranı (VSWR) grafiği verilmektedir. Duran dalga oranında istenilen değer 2 nin altında olmasıdır, antenin çalışma frekansları olan 2.45 GHz ve 5.8 GHz’de 1,7 değerindedir.

4.2.1. L mikroşerit anten kazanç ölçümü

Antenlerin performansının iyiliğini anlaşılmasını sağlayan parametrelerden biri de kazançtır. Ölçüm için çeşitli metotlar vardır. Uygulanabilirliği ve kolaylığı sebebiyle iki anten metodu kullanılmıştır. Değeri bilinen referans anten kazanç ölçümünde kullanılmıştır. Antenler R kadar mesafe ile karşılıklı yerleştirilirler. Burada R mesafesi antenlerin uzak alan ölçütlerini sağlayacak bir değerde olmalıdır. Ölçüm düzeneği Şekil 4.16'da gösterilmiştir (Karazeybek, 2011).



Şekil 4.16. Referans anten ile kazanç ölçümü düzeneği (Karazeybek, 2011)



Şekil 4.17. Kazanç ölçümü yapılan referans anten

Şekil 4.17’de kullanılan kazanç değeri bilinen referans anten görülmektedir. Şekil 4.16’daki gibi tasarlanan anten ve referans anten karşılıklı birbirini görececek şekilde yerleştirilmiştir. Auran anteni referans olarak kendi antenimizin $\theta=0$ ’da kazanç değerleri hesaplanmıştır. Alıcı olarak kullanılan tasarlanan L mikroşerit antenin aldığı sinyallerin güç farkı bize antenin kazancı hakkında bilgi vermiştir.

Çizelge 4.3. Anten kazanç ölçüm değerleri

F (GHz)	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	5.6	5.7	5.8	5.9
Kazanç (dB)	6.1	7	6.4	2.1	(-3)	6	5.8	7.1	5.3

Çizelge 4.3’de L mikroşerit antenin AMC reflektör ile kullanımının kazanç ölçüm değerleri gösterilmiştir. Çalışma frekansları olan 2.4 GHz’de 6,4 dB ve 5.8 GHz’de 7,1 dB kazanç değerlerine sahiptir. Ölçülen değerler, simülasyon kazanç değerleri ile benzer yakınlık göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında MIMO mikroşerit dual band antenler CST simülasyon programı kullanılarak tasarlanmış, tasarlanan tüm antenler ve AMC reflektör yapıları baskı devre ile üretilmiştir. T geometrilili anten 2.4 GHz – 5.2 GHz; L geometrilili anten ise 2.45 GHz (IEEE-802.11b/g/n) ile 5.72 - 5.8 GHz (IEEE-802.11a) frekanslarında kablosuz haberleşme standartlarıyla uyumlu olarak çalışmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle, küçük boyutlu hale gelen cihazlar için antenlerin çoklu fonksiyonlu olmalarında önemlidir. Bu noktada farklı frekans bandında çalışmayı sağlayan kablosuz yerel ağ (WLAN) kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır.

Tezin ilerleyiş basamakları özetlenecek olursa; tezin birinci bölümünde çalışma konusuna giriş yapılmıştır. Kablosuz haberleşme sistemleri için kullanılan mikroşerit MIMO antenlerin önemi ve bu antenlerin parametrelerinin iyileştirilmesi aynı zamanda boyutlarının küçültmesi amacıyla kullanılmasının güncelliği anlatılmıştır. İkinci bölümünde güncel tez ve çalışmalardan literatür özetleri verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde anten tasarımları anlatılmış, simülasyon ve baskı devreleri gösterilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde ise her iki anteninde simülasyon ve alınan ölçüm sonuçları araştırma bulguları olarak verilmiştir. Baskı devresi yapılan antenlerin ölçümleri FielFox Network Analyzer ile Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik Haberleşme Mühendisliği Mikrodalga Laboratuvarında yapılmıştır. Tasarlanan her iki geometrilili anten içinde; farklı reflektör ile kullanılan antenlerin yansıma katsayısı (S_{11}) ve izolasyon parametresi (S_{21}) simülasyon sonuçları ve alınan ölçüm değerleri grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu parametrelerin simülasyon sonuçları da karşılaştırılmıştır. Uzak alan örüntü sonuç değerleri, deney ölçüm düzeneği olmadığından sadece simülasyon sonuçları verilmiştir. Kazanç ölçümü ise deneysel olarak yapılmıştır. Alınan deney ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının uyumlu olduğu gözlenmiştir.

PEC reflektör için hava aralığı 28 mm iken AMC yapısı için hava aralığı 8 mm'dir ve bu uzunluk 5.8 GHz'de yaklaşık $\lambda/6$ ve 2, 4 GHz'de $\lambda/15$ 'dir. Hava boşluğunu azaltarak tasarlanan AMC reflektör ile antenlerin minyatürizasyonu da sağlanmıştır.

Sonuçlara göre, iyi radyasyon özelliklerine sahip MIMO dual band antenler elde edilmiştir. Ayrıca tasarlanan antenler Çizelge 5.1'deki literatür değerleri ile karşılaştırıldığında yüksek kazanç (her 2 anten için 7-8 dB) ve iyi izolasyona (her 2 antende -20 dB'nin üstünde değerler) sahiplerdir. AMC reflektör ile anten kazanç değerlerinde PEC ve reflektörsüz durumlara göre iyileştirme sağlanmıştır. İzolasyonun ise istenilen değerlerde çıkması, anten elemanlarının birbirine göre olan konumu ile mümkün olmuştur. Önerilen tasarımlar, basitçe anteni değiştirerek mevcut WLAN/WIMAX alıcılarına kolayca entegre edebilmektedir. Böylece, geniş bir uygulama yelpazesi için büyük esneklik sağlamaktadır.

Çizelge 5.1. Literatür ile anten kazanç değeri karşılaştırılması

Yapılan çalışma	Kazanç değeri
Bağcı vd., 2016	3,8 dB
Belen, 2011	4,3 dB
Karazeybek,2011	1,2 dB
Sheikh vd., 2016	3 dB
Mevcut çalışma	8,3 dB

KAYNAKLAR

- Abbasi, N. A., Langley, R., 2010. A Wideband Printed Monopole Antenna over Dual – band AMC, Loughborough, UK, 221-224.
- Abu, M., Rahim M. K., 2012. Single Band and Dual Band Artificial Magnetic Conductor Ground Planes for Multi Band Dipole Antenna, Radioengineering, vol. 21, No.4.
- Afridi, M. A., 2015. Microstrip Patch Antenna – Designing at 2.4 GHz Frequency, Biological and Chemical Research, p. 128-132.
- Agrawal, T., Srivastava, S., 2017. Compact MIMO Antenna for Multiband Mobile Applications, Journal of Microwaves Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vvol. 16, No.2, p. 542-552.
- Al-Nuaimi, M. K., Whittow, W., 2009. Novel Planar AMC for Low Profile Antenna Applications, Loughborough Antennas & Propagation Conference, November 16-17, Loughborough, UK.
- Balanis, C.A., 1997. Antenna Theory, Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., 941s, New-York.
- Balanis, C. A., Loannides, P. I., 2007. Introduction to Smart Antennas, Morgan& Claypool, 175.
- Caloz, C., Chang, C. C., Itoh, T., 2001. A Novel Anisotropic Uniplanar Compact Photonic-Bandgap Ground Plane. The 31. European Microwave Conference, 185-187.
- Chaudhari, A. A., Jadhav V., Kharche, S. U., Gupta R. K., 2016. Compact Dual-band MIMO Antenna with High Isolation for 3/4G, Wi-Fi, Bluetooth, WIMAX and WLAN Applications, Progress In Electromagnetic Research Symposium, Shanghai, August 8-11.
- Cheng, D. K., 2009. Fundamentals of Engineering Electromagnetics. Pearson Education, 480, Wokingham.
- Çildir, A., Coskun O., Kahriman M., 2016. High Gain Microstrip Patch Antenna Array Design For ISM 2450 MHz, 3rd International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16), September 1-3, Konya, 676-678.
- Dae-Geun, Y., Dang Oh K., Che-Young K., 2014. Design of Dual Band MIMO Mono-Pole Antenna With High Isolation Using Slotted CSRR For WLAN, Microwave and Optical Tehcnology Letters, Vol.56, No.10, 2252-2257.
- Deschamps, G. A., 1953. Microstrip Microwave Antennas, 3rd USAR Symposium on Antennas.
- Dindha, S., Dindha R., 2015. Design of a Compact Printed MIMO Antenna with AMC, International Journal of Advanced Research ,Vol. 2, Issue 3,52-54.

- Foschini, G. J., Gans, M. J., 1998. On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment When Using Multiple Antennas. *Wireless Personal Communications*, 311-335.
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., Ittipiboon, A., 2001. *Microstrip Antenna Design HandBook*, Artech House, p. 8, Boston- London.
- Gnanagurunathan, G., Selvan K., 2013. Artificial Magnetic Conductors on Wide-Band Patch Antenna, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol.36, 9-19.
- Gross, F. B., 2011. *Frontiers In Antennas Next Generation Design & Engineering*, The McGraw-Hill Companies, 512, Inc.
- Gutton, H., Baissinot, G., 1995. Flat Aerial for Ultra High Frequencies, French Patent No. 703113.
- Hanzo, L., Akhtman, Y., Wang, L. and Jiang, M., 2011. *MIMO-OFDM for WIFI and WiMAX*, John Wiley & Sons Ltd.
- Howell, J. Q., 1975. Microstrip Antennas, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 90-93.
- Huang, J., 2001. A Review of Antenna Miniaturization Techniques for Wireless Applications, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.
- James, J. R., Peter S., Wood C., 1981. *Microstrip Antenna Theory and Design*, IEEE and Peter Peregrinus, 304, London and New York.
- Jan, M. A., Aloï, D. N., Sharawi, M. S., 2012. A 2x1 Compact Dual Band MIMO Antenna system for Wireless Handheld Terminals, 2012 IEEE Radio and Wireless Symposium, January 15-19, Santa Clara, USA, p.23-26.
- Kahrman, M., 2014. Tangent Circles Antenna Design for RFID Applications in ISM 433 Mhz, *Optoelectronics and Advanced Materials Rapid Communications*, Vol.8, No.1-2, p. 127-130.
- Kaise, T., Zheng, F., 2010. *Ultra Wideband Systems With MIMO*, John Wiley & Sons Ltd, 266.
- Kavitha, K., Rajan, S.P., 2016. Design of Dual Band MIMO Antenna for Wlan/Wimax Application, *International Journal of Research in Electronics and Communication Technology*, vol. 3.
- Kumar, G., Ray, K. P., 2003. *Broad Band Microstrip Antennas*, USA, Artech House, 424.
- Li, Q., Li, G., Lee, W., Lee, M. I., Mazzaresse, D., Clerckx, B., & Li, Z. 2010. MIMO Techniques in WiMAX and LTE: A Feature Overview. *IEEE Communications Magazine*, 86-92.

- Li, G., Zhai H., Li, L., Liang C., Yu, R., Liu S., 2015. AMC-Loaded Wideband Base Station Antenna for Indoor Access Point in MIMO System. *IEEE Transaction on Antennas And Propagation*, Vol. 63, No. 2, 525-533.
- Ling, X., Li, R., 2011. A Novel Dual-band MIMO Antenna Array with Low Mutual Coupling for Portable Wireless Devices, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, p. 1039-1042.
- Luo, C. M., Hong, J. S., Amin M., 2017. Mutual Coupling Reduction for Dual Band MIMO Antenna with a Simple Structure, *Radioengineering*, vol. 26.
- Munson, R. E., 1973. Single Slot Cavity Antennas Assembly, U.S. Patent No. 3713162.
- Nawale, P. A., Zope, R. G., 2015. Rectangular Microstrip Patch Antenna for 2.4 GHz Communication Using Defected Ground Structure, *International Journal of Advance Foundation and Research in Computer*, vol. 2.
- Pozar, D. M., 1998. *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., 716s. New York.
- Proc. Workshop on Printed Circuit Antenna Technology Paper 31, 1979. New Mexico State University, Las. Cruces, pp. 480.
- Rahmadani, F., Munir, A., 2011. Microstrip Patch Antenna Miniaturization Using Artificial Magnetic Conductor, *The 6th International Conference on Telecommunication Systems, Services and Applications*, October 20-21, Denpasar, Indonesia, p. 219-223.
- Rogers, S., Marsh J., McKinzie W., Scott J., 2003. An AMC-Based 802.11a/b Antenna for Laptop Computers, *IEEE Antennas and Propagation Symposium*, June 22-27, Columbus.
- Sheikh, J. A., Ahmad, Z., Paraha, S. A., Bhat, G. M., 2016. A Compact Dual Band MIMO Antenna for WLAN Applications, *2016 IEEE Annual India Conference (INDICON)*, December 16-18, Bangalore, India, 1- 4.
- Sievenpiper, D. F., Zhang, L., Boras, R. F. J., Yablonovitch, E., 1999. High –Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, November, vol. 47, no. 11.
- Singh, B. V., Agarwal, M., Meshram M. K., 2016. F-Shaped Monopole Based MIMO Antenna for WLAN Applications, *2016 IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics Engineering*, December 9-11, Varanasi, India.
- Sutinah, M. A., 2010. Study on Microstrip Patch Antenna Based –on Metamaterials. *Indonesia-Malaysia Microwave Antenna Conference (IMMAC)*, Jakarta, Indonesia.
- Taher, Al-Nuaimi, M. K., Whittow W. G., 2011. Novel Planar AMC for Low Profile Antenna Applications, *Antennas & Propagation Conference*, Loughborough, UK, 145-148.

- Wong, K. L., 2002. Compact and BroadBand Microstrip Antennas, John Wiley & Sons, Inc.
- Yang, F. R., Ma, K.-P., Qian Y., Itoh, T., 1999. A Uniplanar Compact Photonic-Bandgap Structure and Its Applications for Microwave Circuits. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Aug., 1509-1514.
- Yang, F., Samii, Y. R., 2007. Wire Antenna on an EBG Ground Plane vs. Patch Antenna: A Comparative Study on Low Profile Antennas. Electromagnetic Theory Symposium, 26-28 July, Ottawa, Canada.
- Yang, F., Mosallaei, H., Rahmat-Samii, Y., 2007. Chapter 34. Volakis, J.(Ed.), Low Profile Antenna Performance Enhancement Utilizing Engineered Electromagnetic Materials, Antenna Engineering Handbook. McGraw-Hill.
- Yang, F., Samii, Y. R., 2009. Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering, Cambridge University Press, Cambridge.
- Yu, C. C., Huang, M. H., Lin, L. K., Chang, Y. T., 2008. A Compact Antenna Based on Metamaterial for Wimax. Microwave Conference (APMC), December, Asia – Pacific, 1-4.
- Zhang, Y., Von Hagen, J., Younis, M., Fischer, C., & Wiesbeck, W. 2003. Planar Artificial Magnetic Conductors and Patch Antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, October, 2704-2712.
- Zhouhdi, S., Sihvola, A., Vinogradov, A. P., 2008. Metamaterials and Plasmonics: Fundamentals, Modelling, Applications, Springer Science & Business Media.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :SERAP KILINÇ EVRAN

Doğum Yeri ve Yılı :Burdur, 1988

Medeni Hali :Evli

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :skilinc@nku.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise :Burdur Anadolu Lisesi, 2008

Lisans :SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği

Mesleki Deneyim

NKÜ Mühendislik Fakültesi Araştırma Görevlisi 2013-...

Yayınları :

Kılınç Evran, S., Coşkun, O., 2017. A Novel MIMO Antenna Design with AMC Reflector, 25th Telecommunications forum TELFOR 2017, Belgrad/Sırbistan.

Kılınç Evran, S., Coşkun, Ö., Gün, İ., Yalçın, H., 2018. Akım Darbelerinin Staphylococcus Aureus'un Gelişimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 1. Uluslararası Sağlık Bilimleri ve Yaşam Kongresi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur/Türkiye.